



Projekt AuWe: Entwicklung einer automatischen Wetterstation

Prof. Dr.-Ing. Martin Löffler-Mang

Inhaltsverzeichnis

1.	Zusammenfassung	2
2.	Einleitung	2
3.	Datenlogger	2
4.	TDF-Sensor	3
5.	Regensensor	5
6.	Windsensor	6
7.	Nebelsensor	6
8.	Hagelsensor	7
9.	Schlussfolgerungen und Ausblick	8
10.	Autoren	9
11.	Literaturverzeichnis	9



Projekt AuWe: Entwicklung einer automatischen Wetterstation

Prof. Dr.-Ing. Martin Löffler-Mang

1. Zusammenfassung

Ziel des Vorhabens war die Entwicklung einer preiswerten automatischen Wetterstation. Das Gerät sollte keine beweglichen Teile enthalten und somit wartungsfrei sein und auch unter schwierigen Umgebungsbedingungen fehlerfrei arbeiten.

So entstanden um einen zentralen Datenlogger herum folgende Sensoren, die jeweils in einem kurzen Kapitel beschrieben werden: TDF-Sensor (Temperatur, Druck, Feuchte), Regensensor (Niederschlagsmenge, Niederschlagsartart), Nebelsensor (Nebelart, Sichtweite), Windsensor (Windrichtung, Windgeschwindigkeit) und ein Hagelsensor. Für den Nebelsensor und den Hagelsensor waren Vorarbeiten bereits in früheren Projekten erfolgt. Für den Hagelsensor besteht ein Patent und eine Lizenzvereinbarung mit einer Firma, für den Nebelsensor befindet sich eine Patentanmeldung in Arbeit.

2. Einleitung

Aktuelle Umwelt-Messstationen arbeiten oft mit mechanischen Messwertgebern. Diese Geräte sind nicht wartungsfrei. Hier kann mit rein elektronisch oder auch optisch arbeitenden Sensoren Abhilfe geschaffen werden. Die wichtigsten Messwerte, die mit den Stationen erfasst werden, sind Temperatur, Luftdruck, Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeit, Windrichtung, Niederschlagsmenge, Taupunkt und Sonneneinstrahlung. Aufgrund moderner Messtechnik kommen seit einigen Jahren zusätzliche Informationen dazu. Dies sind z.B. UV-Strahlung, Radioaktivität, Ozongehalt oder Luftverschmutzung. Einige Größen, wie z.B. Wolkengattung oder Bedeckungsgrad, werden momentan immer noch durch Beobachter bestimmt.

Ziel des Projektes war einerseits die Verbesserung bestehender Systeme hinsichtlich Wartungsfreiheit und Zuverlässigkeit, auch unter schwierigen Bedingungen. Des weiteren war die Neuentwicklung von Sensoren erforderlich, um Messwerte automatisch bestimmen zu können, die bisher von Beobachtern erfasst werden.

3. Datenlogger

Aufgabe war die Entwicklung eines Datenloggers für eine automatische Wetterstation. Die Wetterstation kann über verschiedene Sensoren verfügen, die über einen SDI-12 Bus mit dem Datenlogger verbunden sind. Der Datenlogger hat dabei folgende Aufgaben:

- Verwaltung des SDI-12 Busses (Datenlogger ist Bus-Master);
- Abfrage aller angeschlossenen Sensoren in regelmäßigen, wählbaren Zeitabständen;
- Dauerhafte Speicherung der Messergebnisse;
- Ausgabe der gespeicherten Daten an den Benutzer über eine serielle Schnittstelle;
- Konfiguration von Datenlogger und Sensoren durch den Benutzer;
- Direkter Zugriff auf den SDI-12 Bus durch den Benutzer.

Projekt AuWe: Entwicklung einer automatischen Wetterstation

Prof. Dr.-Ing. Martin Löffler-Mang

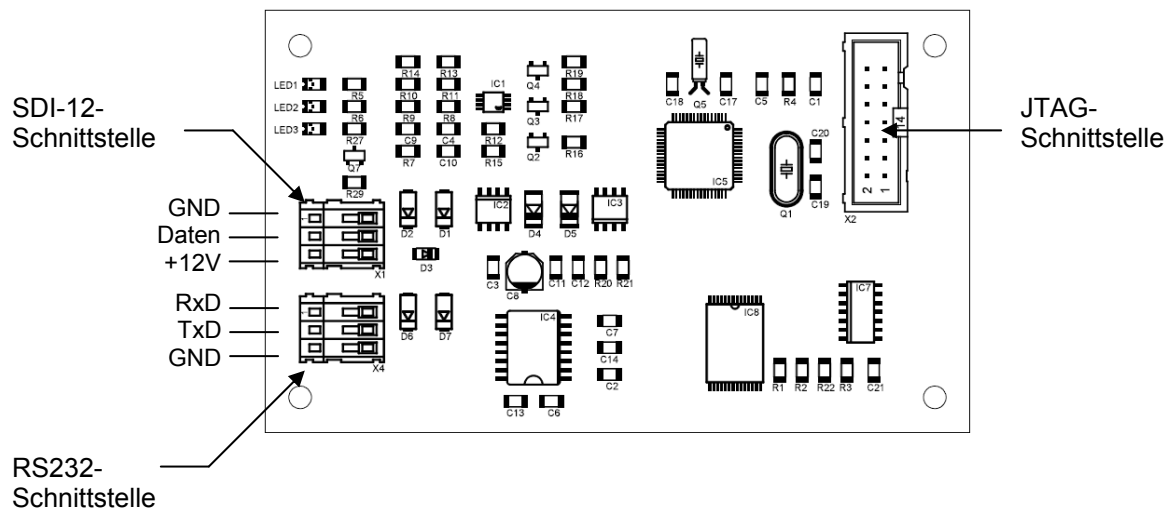


Abb. 1: Überblick über die Datenloggerplatine

Abbildung 1 zeigt die Platine des neuen Datenloggers mit den Anschlussbelegungen. Die Versorgung des Datenloggers erfolgt über die 12V-Leitung des SDI-12 Busses. Auf der Platine werden 5V und 3,3V benötigt. Diese Spannungen werden von einem 5V-Festspannungsregler LM7805 (IC2) und einem einstellbaren Spannungsregler LM317 (IC3) erzeugt.

Als Controller kommt ein MSP430F147 von Texas Instruments zum Einsatz. Er benötigt eine Versorgungsspannung von 3,3V. Als Taktquelle wird ein Uhrenquarz (Q5, 32768kHz) benötigt. Die Programmierung erfolgt über die JTAG-Schnittstelle des Controllers. Zur Erfassung der Uhrzeit ist der Datenlogger mit einer Echtzeituhr (RTC) ausgestattet.

Die Messdaten werden in einem Flash-Speicher vom Typ AT45DB321C gespeichert. Diese beiden ICs werden über einen SPI-Bus angesteuert. Da die seriellen Schnittstellen des Controllers für andere Zwecke benötigt werden, wurde der SPI-Bus softwaremäßig realisiert.

Die 2. serielle Schnittstelle des Controllers (UART1) wird für die Verbindung des Datenloggers zum PC genutzt. Hierzu werden die Sendeleitung TxD1 und die Empfangsleitung RxD1 mit Hilfe eines MAX232E als Standard-RS232-Schnittstelle ausgeführt.

Bei der Auswahl der Bauelemente wurde darauf geachtet, dass alle Bauteile für den Temperaturbereich -40 bis 85°C geeignet sind.

4. TDF-Sensor

Hier entstand ein Sensormodul zur Messung von Lufttemperatur, Luftdruck und Luftfeuchtigkeit. Die für das Projekt AuWe erstellten Forderungen waren auch für dieses Modul verbindlich. Bei der Entwicklung sollte daher besonders auf folgende Punkte geachtet werden:

- Wartungsfreiheit
- Zuverlässigkeit
- Verwendung einer digitalen Schnittstelle (SDI-12)
- Geringer Energieverbrauch

Projekt AuWe: Entwicklung einer automatischen Wetterstation

Prof. Dr.-Ing. Martin Löffler-Mang

Das Sensormodul sollte mit bestehenden Sensorelementen ausgestattet werden. Hierzu wurden für die verschiedenen meteorologischen Größen die im folgenden beschriebenen Sensoren ausgewählt. Abbildung 2 gibt einen Überblick über die Anordnung der Sensoren auf der Platine des TDF-Sensors.

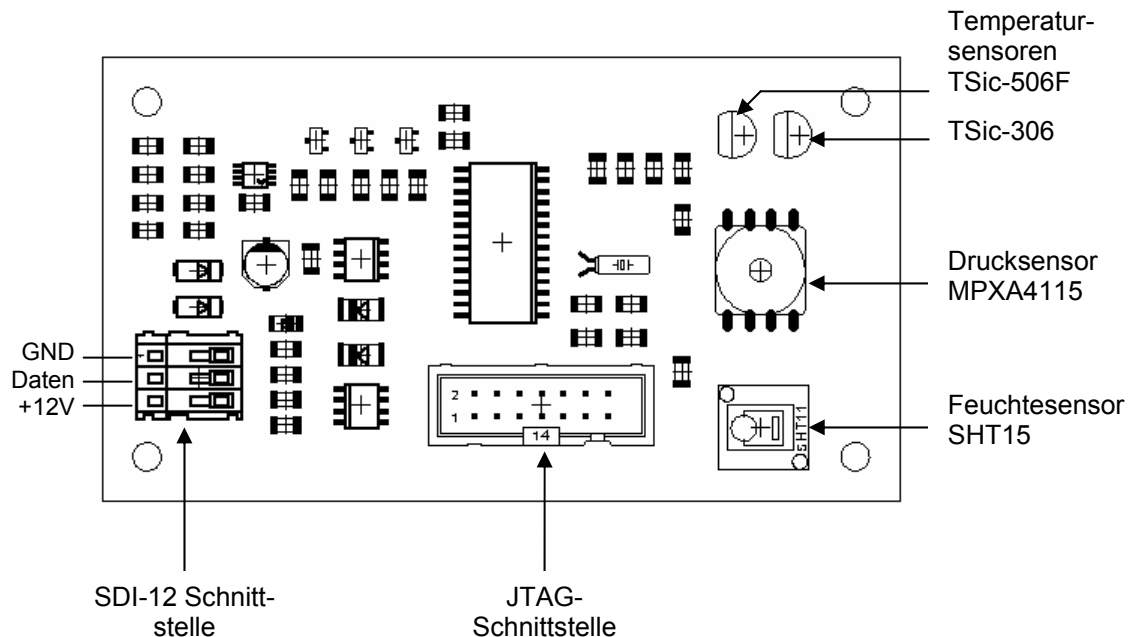


Abb. 2: Überblick über die TDF-Platine

Für die Messung der **Lufttemperatur** war eine Genauigkeit von $0,1^{\circ}\text{C}$ im Messbereich von -30 bis $+70^{\circ}\text{C}$ gefordert. Um diese Genauigkeit erreichen zu können wäre bei Verwendung eines Temperaturabhängigen Widerstandes (z.B. Pt100, Pt1000 oder KTY10) eine aufwendige Auswerteelektronik sowie eine exakte Kalibrierung über den gesamten Messbereich erforderlich gewesen. Um diese zeit- und kostenintensive Kalibrierung zu vermeiden wurde auf digitale Sensorelemente der Fa. IST AG zurückgegriffen. Es wurden zwei Sensoren ausgewählt:

Typ:	TSic-306	TSic-506F
Genauigkeit:	$\pm 0,3^{\circ}\text{C}$	$\pm 0,1^{\circ}\text{C}$
Auflösung:	$\pm 0,1^{\circ}\text{C}$	$\pm 0,034^{\circ}\text{C}$
Messbereich:	-50 bis $+150^{\circ}\text{C}$	-20 bis $+50^{\circ}\text{C}$

Da keiner der Sensoren die geforderten Eigenschaften bei Genauigkeit und Temperaturbereich gleichzeitig erfüllt, wurden zwei verschiedene Sensoren eingesetzt, ein Sensor mit hoher Genauigkeit aber mit kleinem Temperaturbereich (TSic-506F) und ein zweiter Sensor mit niedrigerer Genauigkeit aber großem Temperaturbereich (TSic-306). Je nach Situation wird dann zwischen beiden Sensoren umgeschaltet. Das bedeutet, dass die Temperatur nur in einem Temperaturbereich von -20 bis $+50^{\circ}\text{C}$ mit einer Genauigkeit von $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ erfasst werden kann. Bei Temperaturen außerhalb dieses Bereiches beträgt die Genauigkeit $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$.

Der **Luftdruck** sollte mit einer Genauigkeit von $1,5\%$ erfasst werden. Ausgewählt wurde der Sensor MPXA4115A von Freescale. Er liefert im Druckbereich von 150 bis 1150hPa ein lineares und temperaturkompensiertes Analogsignal.

Projekt AuWe: Entwicklung einer automatischen Wetterstation

Prof. Dr.-Ing. Martin Löffler-Mang

Die geforderte Genauigkeit der **Feuchtigkeitsmessung** beträgt 2,5%. Hier wurde ein Sensor vom Typ SHT15 der Fa. Sensirion ausgewählt. Er besitzt eine Genauigkeit von 2% bei einem Messbereich von 0 bis 100% relative Feuchte. Die Signalausgabe erfolgt digital mit einer Auflösung von 12 Bit über einen seriellen Zweidrahtbus.

Zusätzlich zu den gemessenen Werten kann aus Temperatur und Luftfeuchtigkeit der **Taupunkt** berechnet werden.

5. Regensensor

Für die Niederschlagserfassung wurde ein laseroptischer Sensor entwickelt. Auf der Basis einer Lichtschranke wurde dafür sendeseitig eine Laserdiode (LD) mit einer Wellenlänge von 685 nm eingesetzt. Die LD wurde im Abstand der Brennweite vor einer Linse montiert, sie befindet sich 57mm entfernt vom rechten Rand eines Aluminiumrohres (siehe Abbildung 3). Die Linse mit einer vorgesetzten Schlitzblende befindet sich bei 144,5mm. Mit dieser Anordnung strahlt der Sender ein paralleles Lichtband mit 30mm Breite und einer Dicke von 1mm aus. Mit einer ganz ähnlichen Anordnung wie die in Abbildung 3 gezeigte wird das Licht empfängerseitig auf eine Fotodiode fokussiert. Zwischen Sender und Empfänger befindet sich die Messfläche mit einem Querschnitt von 30mm mal 160mm. Das ergibt eine Größe von knapp 50cm² zur Niederschlagserfassung und hält damit die Wahrscheinlichkeit für mehr als ein Niederschlagsteilchen im Messvolumen gering.

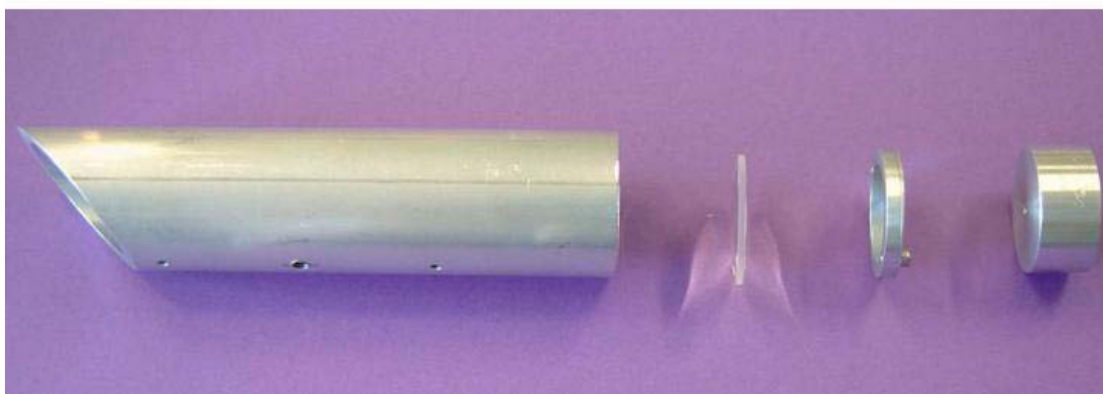
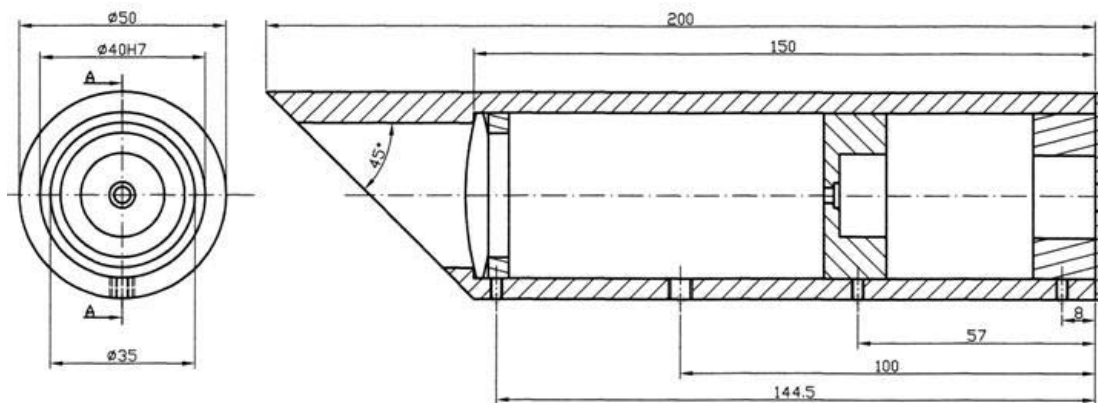


Abb. 3: Sendekopf des Regensensors



Projekt AuWe: Entwicklung einer automatischen Wetterstation

Prof. Dr.-Ing. Martin Löffler-Mang

Treten nun einzelne Niederschlagsteilchen (Regentropfen, Schneeflocken, Graupelkörner etc.) durch das Lichtband, wird die empfangene Leistung kurzfristig vermindert. Die Stärke der Reduzierung ist ein Maß für die Größe des Teilchens, die Dauer für seine Geschwindigkeit. Aus Größe und Geschwindigkeit lässt sich auf die Teilchenart rückschließen. So haben Regentropfen z.B. eine Größe zwischen 0,3 und 5mm mit geringen Geschwindigkeiten bei kleinen Tropfen und Werten von bis zu 10m/s für die größten Tropfen. Schneeflocken hingegen können viel größer werden als Regentropfen und sind praktisch im gesamten Bereich deutlich langsamer als Tropfen. Aus der zweidimensionalen und gleichzeitigen Erfassung von Größe und Geschwindigkeit lässt sich also eindeutig die Niederschlagsart bestimmen.

Außerdem werden natürlich alle während der Messzeit durch das Lichtband hindurch fallenden Hydrometeore gezählt. Aus der Anzahl, der Größe und der Niederschlagsart kann dann direkt die Niederschlagsintensität berechnet werden, diese wird typischerweise in Millimeter pro Stunde (mm/h) angegeben. Auch der Regensensor erhielt für den Anschluss an die Station und zum Übertragen der Messwerte an den Datenlogger eine SDI-12 Schnittstelle.

6. Windsensor

Für die Windmessung war als aussichtreichste Methode die Ultraschall-Anemometrie (USA) gewählt worden. Da in diesem Bereich eine Reihe von Patenten existieren, musste zunächst eine mögliche Nische gefunden werden. In Kooperation mit dem Institut für Biomedizinische Technik (IBMT) der Fraunhofer-Gesellschaft in St. Ingbert gelang schließlich ein einfacher, kreuzförmiger Aufbau mit vier US-Piezoschwingern zur Messung der horizontalen Windkomponenten. Da die vertikale Komponente des Windes im Normalfall recht gering ist und auch keinen Einfluss auf die gewünschten Größen Windrichtung und Windgeschwindigkeit (gemessen mit Schalenkreuz-Anemometer und Windfahne) hat, war dieser Aufbau ausreichend.

Die Ansteuerung der Piezoschwinger und die Auswertung der Laufzeitdifferenzen erwies sich leider als so aufwändig, dass im Rahmen der durchgeführten Arbeiten (Diplomarbeit) keine eigenständige Elektronik mit entsprechender Busschnittstelle entwickelt werden konnte. Allerdings wurde der Diplomand direkt vom Fraunhofer-Institut angestellt und es ist geplant, zusammen mit einem Kollegen und einem Studierenden aus der Elektrotechnik diese Entwicklung noch abzuschließen.

Alternativ hat der Berichtersteller für das Jahr 2006 einen weiteren Antrag für ein Forschungsprojekt gestellt und bewilligt bekommen (MiniLDA). Im Rahmen dieses laufenden Projektes wird ein DFG-Antrag entstehen, der die Entwicklung eines laseroptischen Sensors zur Messung von Wind und Feinstaub zum Inhalt hat.

7. Nebelsensor

Zum Nebelsensor wurde bereits im Jahr 2004 ein Forschungsprojekt mit dem Namen Nebio-Sens durchgeführt, auf dessen Ergebnisse an dieser Stelle zurückgegriffen werden konnte. Das dort entwickelte Messprinzip nutzt die charakteristische Streuung von Licht, d. h. Beugung, Reflexion und Absorption, an den Schwebepartikeln aus, um einerseits die Sichtweite abzuschätzen und andererseits die Art der Schwebepartikel zu bestimmen. Somit kann zwischen Wassernebel, Eisnebel, feinem Staub, Rauch oder sonstigen Partikeln ähnlicher Größe unterschieden und deren Konzentration abgeschätzt werden. Für die Messung wird das Messvolumen geeignet beleuchtet und unter mehreren Winkeln die Intensität des gestreuten Lichts gemessen.

Projekt AuWe: Entwicklung einer automatischen Wetterstation

Prof. Dr.-Ing. Martin Löffler-Mang

sen. Hieraus können anschließend die gewünschten Werte wie Sichtweite und Nebelart bestimmt werden.

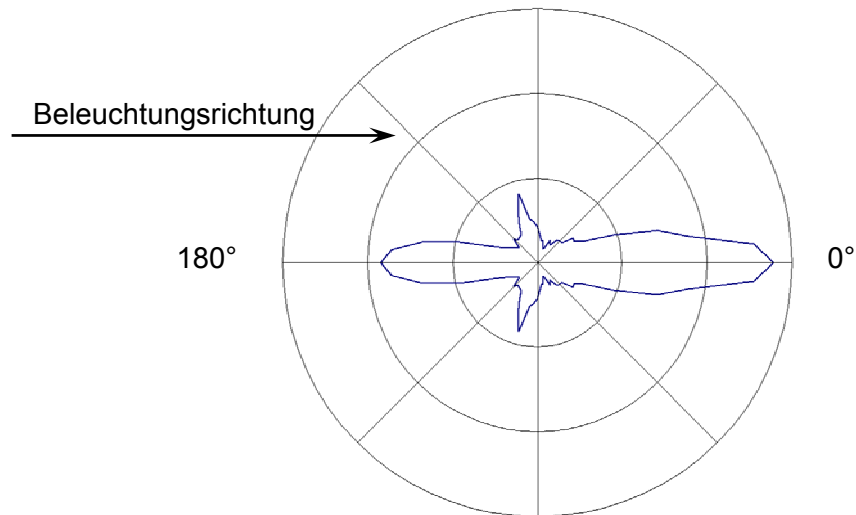


Abb. 4: Gemessene Streufunktion (qualitativ) für Aerosole im Messvolumen

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde zunächst eine Datenerfassung mit LabView realisiert und damit spezifische Streufunktionen aufgenommen, siehe Abbildung 4. Im Anschluss daran wurde für den Sensor eine eigenständige Platine mit Mikrocontroller und SDI-12 Busschnittstelle zur möglichen Integration in die automatische Wetterstation entwickelt. Außerdem wurde die Ansteuerung der Sensoren (Fotodetektoren) durch eine automatische Verstärkungsanpassung und die Unterdrückung von Störungen im Signal durch eine geeignete Filterung (Fourier-Transformation) optimiert.

8. Hagelsensor

Auch der Hagelsensor wurde bereits in einem früheren Projekt (HASE, 2003) entwickelt und dort auch patentiert. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit war zunächst angedacht gewesen, den Hagelsensor mit einer SDI-12 Busschnittstelle, wie die anderen Sensoren, auszurüsten. Aber letztlich wurde darauf verzichtet, da voraussichtlich viele Anwender des Hagelsensors (z.B. in der Landwirtschaft) nur diesen und dann autark einsetzen wollen.

Deshalb wurde die Auswerteelektronik des Hagelsensors nochmals überarbeitet. Sie wurde mit einem Mikrocontroller aus der gleichen Familie wie die der anderen Sensoren bestückt, bekam eine autarke Energieversorgung für einen Betrieb von ca. 2 Jahren und einen eigenen Mini-Datenlogger mit einer Kapazität für mindestens 1 Jahr und serieller Schnittstelle. Damit hat der Lizenznehmer nun ein fertiges, eigenständiges Produkt zur Verfügung, das aber selbstverständlich auch direkt bei einer automatischen Wetterstation betrieben werden kann.



Projekt AuWe: Entwicklung einer automatischen Wetterstation

Prof. Dr.-Ing. Martin Löffler-Mang

9. Schlussfolgerungen und Ausblick

Im Rahmen des Projektes AuWe ist es gelungen, eine Reihe von Prototypen für die Komponenten einer automatischen Wetterstation zu entwickeln. Zentrale Einheit ist der Datenlogger mit einem Mikrocontroller, ausreichendem Speicherplatz und ISD-12 Busschnittstellen für bis zu zehn anschließbare Sensoren. Dieser Logger ist fertig, er soll nun vom Industriepartner ein geeignetes Gehäuse bekommen.

Als Standardsensor werden zu einer automatischen Station immer Fühler für Lufttemperatur, Luftdruck und relative Feuchte gehören. Deshalb wurde hier ein kombinierter TDF-Sensor für diese Messgrößen auf einer kleinen Platine entwickelt. Auch dieses Produkt konnte fertig gestellt werden und erhält vom Industriepartner ein marktgerechtes Design.

Optional kommt als weiterer Sensor ein Windmesser hinzu für die Bestimmung von Windrichtung und Windgeschwindigkeit. Ausgewählt wurde hier das Prinzip eines Ultraschall-Anemometers. Leider konnte dieser Sensor nicht ganz fertig gestellt werden, aber die Umsetzung der fehlenden Schritte ist mit dem Fraunhofer-Institut (IBMT) in St. Ingbert und einem Kollegen aus dem Fachbereich E geplant.

Die nächste Option ist ein Regensensor. Hier wurde ein laseroptisches Lichtband zur Unterscheidung der Niederschlagsarten und zur Bestimmung der Niederschlagsintensität entwickelt. Der optische und mechanische Aufbau wurde fertig gestellt, die Auswerteschaltung zeigt noch ein paar Mängel. Deshalb wird im Rahmen einer momentan laufenden studentischen Arbeit diese Schaltung optimiert. Mit dem Abschluss der Arbeiten wird für Ende Juli gerechnet, dann wird auch dieser Sensor an den Industriepartner übergeben.

Schließlich können zwei bereits in früheren Projekten entwickelte Sensoren zu der Wetterstation hinzukommen: Ein Nebelsensor und ein Hagelsensor. Beide Sensoren wurden im Rahmen des Projektes AuWe nochmals optimiert und mit entsprechenden Mikrocontrollern versehen. Der Nebelsensor kann über die SDI-12 Busschnittstelle integriert werden, der Hagelsensor arbeitet als autarkes Gerät.

Insgesamt ist ein ganzer Baukasten von Komponenten für eine automatische Wetterstation entstanden. Neben einigen oben genannten kleineren Arbeiten stehen jetzt vor allem die Erprobung der Komponenten und die Entwicklung marktgerechter Designs beim Industriepartner als nächste Schritte an.

Für die weitere Zukunft sind über die bisher entwickelten noch zusätzliche Sensoren geplant: Im Rahmen eines bereits laufenden Projektes wird an einem laseroptischen Wind- und Feinstaubsensor gearbeitet. Außerdem existieren Ideen zur Erfassung der Sonnenscheindauer und des Bedeckungsgrades, die in den kommenden Jahren umgesetzt werden sollen.



Projekt AuWe: Entwicklung einer automatischen Wetterstation

Prof. Dr.-Ing. Martin Löffler-Mang

10. Autoren

Projektleiter

Prof. Dr.-Ing. Martin Löffler-Mang
Labor: Optische Mess- und Lasertechnik
Fachbereich: GIS
E-Mail: loeffler-mang@htw-saarland.de
Homepage: <http://www.htw-saarland.de/fb/gis/mst>
Tel. 049-681-5867-247
Fax 049-681-5867-414

Wissenschaftliche Mitarbeiter

Dipl.-Ing. (FH) Markus Gier
Dipl.-Ing. (FH) Roland Steffen
Dipl.-Ing. (FH) Björn Bubel
Dipl.-Ing. (FH) Kirsten Maaß
Tel. 049-681-5867-437
Fax 049-681-5867-414

Kooperationspartner

Ketterer Feinwerktechnik, Sölden bei Freiburg

11. Literaturverzeichnis

- Roedel: Physik der Atmosphäre, Springer Verlag
- Emeis: Meteorologie in Stichworten, Gebr. Bornträger Verlag
- Joss, Waldvogel: Ein Spektrograph für Niederschlagstropfen mit automatischer Auswertung. Pageoph 68 (1967), 240 - 246
- Löffler-Mang, Joss: An Optical Disdrometer for Measuring Size and Velocity of Hydrometeors. JAOT 17 (2000), 130 - 139
- Deutscher Wetterdienst www.dwd.de
- Ketterer Meteorologie www.ketterer.net