

No. 164

THYGAN
Beschreibung der Funktion und der Technik

von

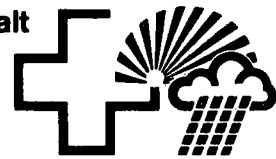
Paul Ruppert, Wetzikon

Juni 1991

Thermo-Hygrometer

551.508.29 : 551.508.79

Arbeitsberichte der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt
Rapports de travail de l'Institut Suisse de Météorologie
Rapporti di lavoro dell'Istituto Svizzero di Meteorologia
Working Reports of the Swiss Meteorological Institute



No. 164

THYGAN
Beschreibung der Funktion und der Technik

von

Paul Ruppert, Wetzikon

Juni 1991

Thermo-Hygrometer

551.508.29 : 551.508.79

Zusammenfassung

Der vorliegende Bericht beschreibt das mikrocomputer-gesteuerte Thermo-Hygrometer THYGAN. THYGAN misst die Temperaturen mit einem hochentwickelten Thermoelement-Messverfahren. Dank besonderer konstruktiver und softwaremässiger Verfahren ist es gelungen, das im Labor bewährte Taupunktspiegel-Feuchtemessverfahren in einem autonom im Messfeld arbeitenden Hygrometer anzuwenden. Der Sensor meldet neben den Temperatur- und Feuchte-Messwerten in einem Statuswort seinen Betriebszustand. Der robuste Aufbau des präzise messenden Gerätes erlaubt seinen Einsatz auch an klimatisch schwierigen Standorten, wie z.B. auf Bergspitzen der Alpen. Im Bericht werden alle 'THYGAN'-Komponenten sowie die verwendeten Auswerteverfahren detailliert erklärt.

Summary

The present report describes the microprocessor controlled thermohygrometer, called THYGAN. Temperatures are measured by thermo couples in a sophisticated measuring system. By the combination of a miniaturized dew point mirror with special housing construction and software control, it has been possible to apply this successful laboratory humidity measuring method to a field hardened and autonomously working hygrometer. In addition to temperature and humidity values, the sensor provides a status number which contains all important information related to the performance of the instrument. The sturdy construction allows its use in climatically difficult locations, such as on mountain peaks in the Alps. All the THYGAN components and the applied evaluation procedures are explained in a detailed manner.

Résumé

Le présent rapport donne une description du Thermo-hygromètre THYGAN commandé par un micro-ordinateur. Le THYGAN mesure les températures à l'aide d'un procédé de mesure par thermocouple hautement développé. Grâce à des procédures spécifiquement constructives et informatiques, il a été possible d'utiliser un hygromètre travaillant de manière autonome sur le terrain, fondé sur le principe de l'hygromètre à miroir éprouvé en laboratoire. Le capteur donne en plus la température et l'humidité au moment de son fonctionnement en code spécial. La construction robuste de cet appareil précis de mesure permet de le placer dans des endroits climatiquement ardu, comme par exemple sur un sommet isolé des Alpes. Toutes les composantes du THYGAN y sont décrites dans le détail, de même que la procédure de dépouillement utilisée.

Riassunto

Il presente rapporto descrive il funzionamento e le proprietà del termoigrometro a microprocessore THYGAN (Thermo-Hygrometer ANETZ). Questo apparecchio misura la temperatura con un procedimento molto sofisticato basato su termocopie. Grazie a particolari accorgimenti costruttivi e di programmazione è stato possibile applicare a un igrometro operativo il procedimento di misura dell'umidità basato sul principio dell'ipsometro a punto di rugiada, metodo questo provato con successo in laboratorio. Oltre ai valori di temperatura e di umidità il sensore riporta un segnale sul suo stato di funzionamento. L'apparecchio, di solida costruzione, misura molto accuratamente e può essere impiegato anche in ubicazioni climaticamente sfavorevoli, come per esempio sulle cime delle Alpi. Nel rapporto vengono illustrati in dettaglio tutte le componenti e i procedimenti per l'elaborazione delle misure.

Inhaltsverzeichnis

Seite

1. Gesamtsystem	1
1.1 Einleitung	1
1.2 Anwendungen	2
1.3 Thermohygrometrische Messverfahren	2
1.4 Komponenten	3
o Messwertgeber	3
o Steuerung	3
1.5 Daten	4
2. Messwertgeber (Sensor)	4
2.1 Thermometrie	4
2.1.1 Funktion	4
2.1.2 Daten des Luftthermometers	4
2.1.3 Mechanischer Aufbau	5
2.1.4 Elektronik	5
a) Absolutthermometer	5
b) Luftthermometer	5
2.1.5 Programmteile	6
a) Messung	6
b) Berechnungen aus den Messzeiten	6
2.2 Hygrometrie	7
2.2.1 Funktion	7
2.2.2 Daten	8
2.2.3 Mechanischer Aufbau	9
2.2.4 Elektronische Schaltung	9
a) Optoelektronik	9
b) Regelsystem	9
c) Putzmotorsteuerung	10
d) Spiegelheizung	10
2.2.5 Programmteile	10
a) Messungen	10
b) Berechnungen	10
1. Taupunkttemperatur	10
2. Relative Feuchtigkeit	10
3. Wasser/Eis-Unterscheidung	11
4. Spiegelreinigung	11
2.3 Gehäuse, Ventilation und Heizungen	12
2.3.1 Funktion	12
a) Gehäuse	12
b) Ventilation	12
c) Gehäuseheizung	12
2.3.2 Daten	12
a) Gehäuse	13
b) Ventilation	13
c) Gehäuseheizung	13
2.3.3 Mechanischer Aufbau	13
a) Gehäuse	13
b) Ventilator	14
c) Gehäuseheizung	14
2.3.4 Elektrische Schaltung	14
a) Gehäuse	14
b) Ventilator	14
c) Gehäuseheizung	14

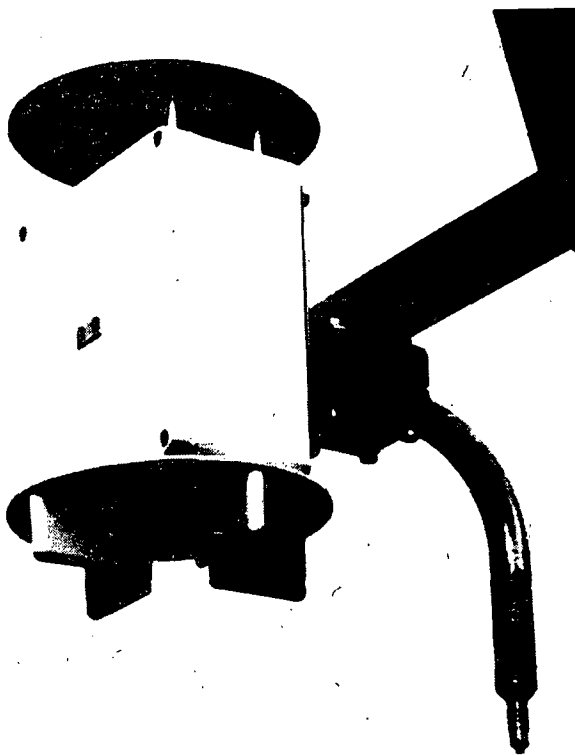
2.3.5	Programmteile	14
a)	Gehäuse	14
b)	Ventilator	14
c)	Gehäuseheizung	16
2.4	Blitz- und Störspannungsschutz	16
2.4.1	Funktion	16
2.4.2	Daten	16
2.4.3	Mechanischer Aufbau	17
2.4.4	Elektrische Schaltung	17
2.4.5	Programmteile	17
2.5	Stromversorgung	17
2.5.1	Funktion	17
a)	Stromversorgung ab 12V	17
b)	Stromversorgung ab 48VAC	18
2.5.2	Daten	18
a)	Stromversorgung ab 12V	18
b)	Stromversorgung ab 48VAC	18
2.5.3	Mechanischer Aufbau	18
2.5.4	Elektrische Schaltung	18
a)	Stromversorgung 12V	18
b)	Stromversorgung ab 48VAC	18
2.5.5	Programmteile	19
a)	Stromversorgung 12V	19
b)	Stromversorgung ab 48VAC	19
2.6	Kommunikation Geber - Steuergerät	19
2.6.1	Funktion	19
2.6.2	Daten	20
2.6.3	Mechanischer Aufbau	21
2.6.4	Elektrische Schaltung	21
2.6.5	Programmteile	21
3.	Computer-Interface	21
3.1	Einleitung	21
3.2	Computerteil	21
3.3	Verbindung zum ASTA-Bus	22
3.4	Verbindung zum Geber	22
3.5	Stromversorgung des Computerteiles	22
4.	Software	23
4.1	Allgemeines	23
4.2	Arithmetik	23
4.3	Wichtige Programmetile	24
4.3.1	Hauptprogramm, Funktionsablauf	24
4.3.2	Normales 10 Minuten-Programm	25
5.	Anhang	26
5.1	Format der Daten	26
5.2	Bedeutung der Zahlen	26
5.3	Verwendete Abkürzungen	27

✓ Datenblatt des THYGAN, VTP6

1. Gesamtsystem

1.1 Einleitung

THYGAN (Thermo-HYGrometer-ANETZ) ist ein geheiztes, ventiliertes Instrument, das die Lufttemperatur und die Taupunkttemperatur misst. Der Geber soll auch unter schwierigen Umgebungsbedingungen, wie z.B. im Hochgebirge, bessere Messwerte liefern als die klassischen Thermo-Hygrometer. Das in enger Zusammenarbeit zwischen der SMA und Meteolabor entwickelte Messgerät zielte zunächst auf den Einsatz im ANETZ (daher auch sein Name). Die bei Projektbeginn definierten Ziele konnten erreicht werden. Alle ANETZ-Stationen der SMA sind mit THYGAN ausgerüstet, und es liegen bereits die Betriebserfahrungen von einigen Jahren vor. THYGAN VTP6 ist in verschiedenen anderen Messprojekten im In- und Ausland als Präzisions-Thermohygrometer eingesetzt.



Thermohygrometer THYGAN VTP6

Entwickelt in Zusammenarbeit
von SMA und Meteolabor AG

Hersteller: Meteolabor AG

THYGAN besteht aus einem Geber und einem Steuerinterface. Der Geber misst die Lufttemperatur mit einem ventilierten Thermoelement-Fühler kleiner Dimension. Die Luftfeuchtigkeit wird über eine Taupunkttemperatur-Messung in einem kleinen, gekühlten Spiegel erfasst. Zusätzlich werden eine Reihe von Hilfsgrößen gemessen, die Zustands- und Qualitätskontrollen ermöglichen. Die Geberelektronik digitalisiert alle Messwerte und überträgt sie zum Interface. Im Interface steuert ein Mikroprozessor den Geber und empfängt die Messdaten. Über eine Zwischenelektronik werden die Daten an den internen Bus der Wetterstation angelegt. THYGAN kann mit den Wetterstation ASTA, KLIMET oder als eigenständiger Sensor zusammen mit einem Steuergerät verwendet werden.

Das Thermohygrometer THYGAN wird ausser im ANETZ in verschiedenen Anwendungen der SMA und anderer Institutionen eingesetzt.

Das Gerät benötigt keinen kurzfristigen Unterhalt und arbeitet mehrere Jahre autonom (auch der Taupunkt-Spiegel).

Sensor oder Steuerinterface können ohne Eichung im Feld oder Laboratorium beliebig ausgetauscht werden. Die dabei entstehenden Änderungen der Messgenauigkeit sind kleiner als 0,1K.

Grosser Wert wurde neben einer guten Messleistung auf ein hohes MTBF, eine gute Verfügbarkeit, den kleinen Stromverbrauch und Robustheit gelegt.

1.2 Anwendungen

Mit THYGAN wurde ein Messsystem realisiert, das auch unter den im Hochgebirge auftretenden starken Wind- und Vereisungs-Situationen funktionsfähig bleibt. Vor allem soll das Gerät nach Abklingen der schwierigen Wetterereignisse rasch wieder seinen normalen Betriebszustand erreichen und seine Messleistungen erbringen. Bewährt hat sich THYGAN auch in Mikroklima-Messstationen für die Waldschadenforschung und im Zusammenhang mit anderen Luftverschmutzungsuntersuchungen. THYGAN eignet sich auch als Referenz-Thermohygrometer im Feldeinsatz. Mit dem neuen Messgerät sollen die Mängel der Vorgänger-Instrumente behoben werden. Ausserdem vermeidet die direkte Messung der Taupunkttemperatur verschiedene Schwierigkeiten durch das Messprinzip selbst. Andererseits ist jedoch das Taupunkttemperatur-Messgerät ein klassisches Labor-Instrument, das für den vorgesehenen Zweck zum autonomen Feldmesswertgeber umfunktioniert werden musste.

1.3 Thermohygommetrische Messverfahren

Es ist ein Temperaturmessverfahren (Thermoelemente) gewählt worden, das den Bau eines geheizten Thermometerfühlers mit kleinen mechanischen Abmessungen ermöglichte. Damit konnten der Strahlungseinfluss gering gehalten sowie Psychrometer- und Vereisungs-Messfehler vermieden werden.

Das für die Feuchtemessung gewählte Verfahren des gekühlten Taupunktspiegels zeichnet sich durch seine gute physikalische Definition aus. Mit konstruktiven und computergestützten, messtechnischen Verfahren ist es gelungen, das Taupunktspiegel-Messprinzip für den autonomen Langzeitbetrieb im Felde anzuwenden. Den sonst üblichen Absorptionsverfahren (z.B. Haar, kapazitive Fühler) ist der Taupunktspiegel besonders bei starker Luftverschmutzung, grosser Feuchtigkeit und tiefen Temperaturen sowie in der Langzeitstabilität überlegen.

Durch das Arbeiten am THYGAN wurden schon bald Möglichkeiten für zusätzliche Nebenmessungen sichtbar: Detektion von Nassnebel und Erfassung von Strahlungsvorgängen (z.B. Abstrahlung in der Nacht). Z.Z. liegen Erfahrungen zum ersten vor, während das Strahlungsverhalten bis jetzt noch nicht untersucht wurde. An speziellen Stationen für die Waldschadenforschung wird die Nebeldetektion seit mehreren Jahren mit Erfolg genutzt.

1.4 Komponenten

Das Messsystem THYGAN besteht aus zwei Teilen, dem Messwertgeber und dem Steuerungsteil. Die Elektronik wurde mit Blick auf Betriebssicherheit, Anzahl Verbindungsdrähte und Stromverbrauch auf die beiden Systemteile aufgeteilt. Das MTBF einer Geberelektronik ist wegen der klimatischen Beanspruchung erfahrungsgemäss etwa zehnmal schlechter als jenes einer Elektronik, die im Raumklima betrieben wird. Deshalb wurde die Elektronik im Geber möglichst klein gehalten. Für den gesamten Datenverkehr in beiden Richtungen werden nur drei Drähte benötigt.

Messwertgeber

Die Sensoren für Luft- und Taupunkt-Temperatur sind zusammen mit ihren Hilfsaggregaten in einem robusten, weiss lackierten Leichtmetall-Gehäuse untergebracht. Der Sensor misst die folgenden Grössen:

- a) Lufttemperatur
- b) Taupunkttemperatur
- c) Gehäusetemperatur
- d) Ventilatorspannung
- e) Ventilatorstrom
- f) Spiegellicht

Im Geber sind Stromversorgung, Steuercode-Empfänger, Analog-Digital-Wandler, Steuer- und Regelelektronik eingebaut. Als Sensoren werden ein geheiztes, rasch reagierendes Thermoelement-Luftthermometer und der elektrisch gekühlte Taupunktspiegel mit seinen Zusätzen Optoelektronik und Putzmechanismus verwendet. Nebenaggregate sind der geheizte Ventilator, die Gehäuseheizung, der Blitzschutz und der Schutz gegen Hochfrequenzstörungen.

Steuerung

Die Steuerung ist in Funktion und mechanischem Aufbau an die ANETZ-Station angepasst. Ein Mikroprozessor steuert den Messwertgeber, verarbeitet die von diesem eintreffenden Rohdaten und gibt die Messwerte über eine Zusatzelektronik an den internen Stations-Bus ab. Die drei Signaldrähte zum Messwertgeber sind über Blitzschutzschaltungen geführt.

Die Rechnungs- und Entscheidungsmöglichkeiten des Rechners werden vielfältig genutzt:

- Erhöhung der Messgenauigkeit
- Qualitätskontrolle und statistische Bearbeitung der Messwerte
- Optimierung der Steuerung (z.B. auf kleinen Stromverbrauch)
- rechnergestützte Regelungen

1.5 Daten

Die wichtigsten Daten sind auf der Rückseite des Prospektblattes aufgeführt. Weitere Details werden in der Beschreibung der einzelnen Baugruppen angegeben.

2. Messwertgeber (Sensor)

Damit ist der im Messfeld montierte Geräteteil gemeint.

2.1 Thermometrie

2.1.1 Funktion

Das Temperaturmessverfahren im THYGAN ist die Thermoelement-Technik mit den beiden Metallen Kupfer und Konstantan. Die für Thermoelement-Messungen benötigte Absoluttemperatur wird mit einem Widerstandsthermometer aus Kupfer bestimmt.

Vorzüge der Thermoelemente:

- a) sehr kleine Dimensionen (dünne Drähte)
- b) gute Genauigkeit von Standard Eichkurven
- c) preisgünstig

Probleme der Thermoelement-Technik:

- u) sehr kleiner Ausschlag (ca 40uV pro Grad C)
- v) die Temperatur der "Kaltlötstelle" muss bekannt sein
- w) vielfache Störungsquellen in "parasitären Thermoelementen"

2.1.2 Daten des Luftthermometers

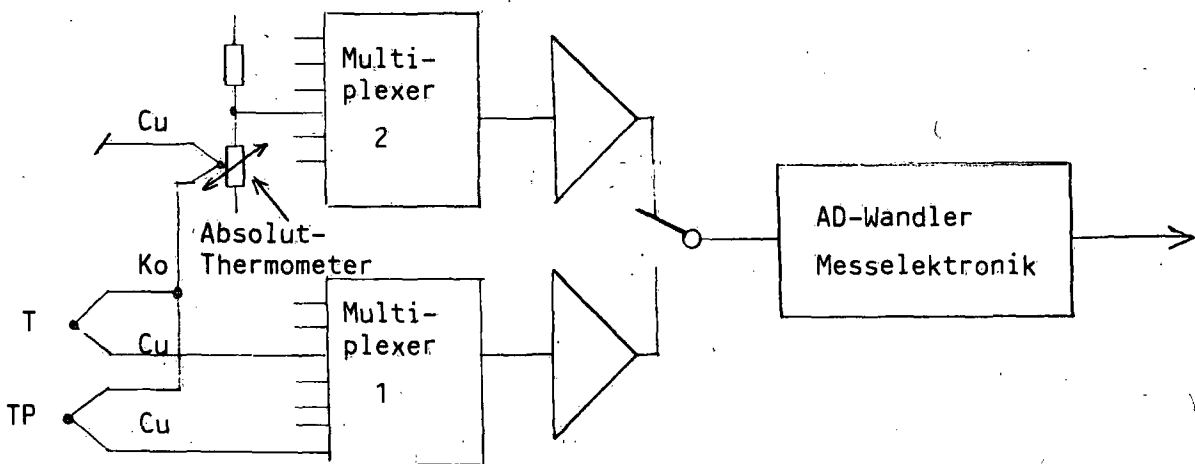
Temperaturmessgenauigkeit im Bereich -50...+50 Grad C (Laborbedingungen)	+/- 0,2 °C
thermische Zeitkonstante bei Normalventilation	ca. 5 s
Heizung ab Netzspannung (4 VAC)	ca. 1 W
Heizzeit	5 Min.
Übertemperatur gegen die Lufttemperatur am Ende der Heizzeit	ca. 28 °C

2.1.3 Mechanischer Aufbau

Das Luftthermometer ist in einem rostfreien Stahlrohr von 1,2 mm Durchmesser eingebaut. Darin sind ein glasisoliertes Thermoelement und der Heizdraht aus Konstantan in einem Zweikomponenten-Harz eingegossen. Das Thermometerrohr ist in einem Aluminiumteil gefasst und an der Seitenwand des Ventilationskanals befestigt.

Das Absolutthermometer ist ein Kupferwiderstand. Darin eingebaut ist die Referenzlötstelle der Thermoelemente. Das Ganze ist in einem Aluminiumblock eingegossen. Dieser Block ist thermisch gut leitend auf dem Gussgehäuse des Gebers montiert. Das Absolutthermometer dient auch als Thermometer für die Messung der Gehäusetemperatur.

2.1.4 Elektronik



Blockschema der Temperatur-Messelektronik

Elektronische Schaltungen dienen einerseits der Speisung des Widerstandsthermometers mit einer stabilen Gleichspannung und andererseits der Messung der Thermometer-Spannungen.

a) Absolutthermometer

Der Kupferwiderstand ist Teil einer Brücke, die mit besonders hochwertigen Widerständen (TK kleiner als 4ppm/K) aufgebaut ist. Diese Brücke wird mit der stabilisierten 5 Volt-Spannung gespeist. Der AD-Wandler (Bereich 2: -0,1..+0,9V) misst die Brückenspannung. Der AD-Wandler dient auch noch der Messung verschiedener Hilfsspannungen. Mit dem Abgleich der Brücke wird die gesamte Thermometrie justiert.

b) Luftthermometer

Das Kupfer-Konstantan-Thermoelement im Luftthermometer liefert eine Spannung von ca. 40uV pro Grad C. Diese Spannung wird zunächst um einen Faktor 620 verstärkt und dann digitalisiert. Ueber den gleichen Vorverstärker werden in Zwischenphasen 0V und 2000uV Eingangsspannung gemessen, um den AD-Wandler laufend neu zu eichen. Eine individuelle Eichung des Gerätes im Feld oder Laboratorium ist nicht notwendig.

2.1.5 Programmteile

a) Messung

Der Messvorgang wird durch Ausgabe der Stellung des Eingangsmultiplexers, der den Vorverstärker vorgeschaltet ist, begonnen. Damit wird der zu messende Parameter ausgewählt (Zuordnung der Steuerdatenbits siehe 2.6.1). Durch Ausgabe von Steuerbit 0C (Hexadezimal) wird ein Messvorgang gestartet, und die Länge des Geberantwortimpulses als Mass für den Wert wird in einem Register des Prozessors gespeichert.

b) Berechnungen aus den Messzeiten

- 1) $B1 = Ur / (tr - to)$ Ur: Referenzspannung
tr: zugehörige Messzeit
- 2) $A1 = -B1 \cdot to$ to: Messzeit für 0V Eingangsspannung
A1, B1: Eichparameter des AD-Wandlers
- 3) $Un = A1 + B1 \cdot tn$ Un: gesuchte Spannung
tn: zugehörige Messzeit

Daten der beiden Bereiche des AD-Wandlers:

Bereich 1:	ca -2000uV...+1000uV	Ur = -2000uV
Bereich 2:	ca -100mV...+ 900mV	Ur = + 500mV

Zunächst wird die Absoluttemperatur (ist gleichzeitig die Gehäusetemperatur) berechnet:

- 4) $D = (tr - to) / (tTG - to)$ D: Hilfsgrösse
TG: Absoluttemperatur
- 5) $TG = A (1 + 0,9 / (0,1 - D))$ tTG: Messzeit der Absolut-Thermom-Spg
A: -232,016 Grad C
- 6) $Ua = TG(38,397 + TG(43,74 \cdot 10^{-3} - TG \cdot 58,9 \cdot 10^{-6}))$ (uV)
Ua: Thermoelement-Spannung für TG

Die Thermoelement-Spannung dU in uV wird mit der Gleichung 3 berechnet.

- 7) $UT = Ua + dU$
- 8) $T = UT(26,015 \cdot 10^{-3} + UT(-810 \cdot 10^{-9} + UT \cdot 87 \cdot 10^{-12}))$ (Grad C)
T: gesuchte Temperatur

Die Lufttemperatur wird korrigiert mit einer aus Versuchen ermittelten Grösse, die von der Differenz der Gehäusetemperatur und der gemessenen Lufttemperatur abhängt:

- 9) $TL = TL' - dt \cdot c$ TL : korrigierte Lufttemperatur
TL' : mit Formelsatz 4) bis 8) berechnet
dt : Differenz TG - TL'
c : Ventilatorkonstante:
Netzbetrieb (24V) c=0,09
Batteriebetrieb (12V) c=0,20

Im Normalbetrieb (Zehnminutenzyklus) werden während 40s etwa 10 Messwertsätze der Temperaturen gemessen. Daraus wird der lineare Mittelwert gebildet und als Temperatur (und Taupunkt) ausgegeben. Ausserdem werden die Standardabweichungen für die beiden Temperaturen berechnet und falls grösser als 2 Grad C im Statuswort gemeldet.

2.2 Hygrometrie

2.2.1 Funktion

THYGAN misst die Feuchtigkeit auf der Basis des gekühlten, optisch kontrollierten Taupunktspiegels. Es wird also primär die Taupunkttemperatur gemessen und aus dieser (falls gewünscht) die relative Feuchtigkeit berechnet. Die bereits früher erwähnten Vorteile dieses Messverfahrens müssen mit einem gewissen Aufwand apparateseitig und auch in der Auswertung erkauft werden.

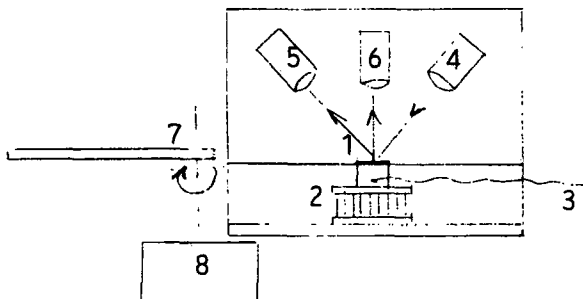
Taupunktspiegel-Messgeräte werden vorwiegend als Eichgeräte in Labors verwendet. Es wurde verschiedentlich versucht, solche Geräte im Freien zu betreiben. Dabei treten die folgenden Probleme auf:

1. Die Messfühler widerstehen i.a. den Klimabedingungen im Freien nicht, da sie für den geschützten Bereich eines Labors gebaut sind.
2. Je nach Verschmutzungsgrad der Luft muss der Spiegel mindestens einmal pro Woche von Hand gereinigt werden, was im Betrieb an einer automatischen Station nicht möglich ist.
3. Der hohe Stromverbrauch des Fühlers - dazu noch in einer ungünstigen Form grosser Strom/kleine Spannung - erlaubt keine langen Leitungen zwischen Steuergerät und Fühler und erschwert einen Batteriebetrieb bei Netzausfall.
4. Der übliche Dauerbetrieb der Labor-Fühler hat sich im Freien nicht bewährt.
5. Die Fühler sind nicht gegen Vereisung geschützt.
6. Bei tiefen Temperaturen kann auf dem Spiegel Eis (Reif) statt Wasser deponiert werden. Dies muss für die Auswertung bekannt sein.

Um das Messprinzip für automatische Wetterstationen verwendbar zu machen, mussten diese Probleme gelöst werden:

1. Die Gehäusekonstruktion wurde den Gegebenheiten angepasst (robust, wasserdicht, korrosionsfest usw.)
2. Der Spiegel wird automatisch, mechanisch gereinigt.
3. Eine ausgeklügelte Elektronik und kleine Spiegeldimensionen reduzieren den Stromverbrauch.
4. Der schnell reagierende Fühler kann zyklisch betrieben werden, da sein Regelkreis genügend rasch stabil wird.
5. Mit einer geeigneten Gehäusekonstruktion und einer starken Heizung werden die notwendigen Öffnungen schnee- und eisfrei gehalten.

6. Eine Auswertung des Streulichtes erlaubt die Unterscheidung von Wasser- und Eisdepots auf dem Spiegel. Die Wahrscheinlichkeit von Eisbildung ist ausserdem wegen der im zyklischen Betrieb kurzen Kühlzeit wesentlich kleiner als in Dauerbetriebs-Messungen. (siehe auch 2.3.1, Abschn. 3. 'Wasser/Eis-Unterscheidung')
7. Der Taupunktspiegel wird in bestimmten Betriebsphasen geheizt, um ein allfälliges Wasserdepot auf seiner Oberfläche zu verdampfen.



- 1 Spiegel
- 2 Peltier-Element
- 3 Thermoelement im Spiegel
- 4 IR-Lichtquelle
- 5 Photosensor für direkt reflektiertes Licht
- 6 Photosensor für Streulicht
- 7 Putzscheibe
- 8 Motor mit Getriebe

Funktionsskizze des Taupunktfühlers

2.2.2 Daten

Temperaturmessgenauigkeit im Bereich -50..+50 Grad C	+/- 0,2 Grad C
maximale Abkühlgeschwindigkeit	ca. 5 Grad/s
maximale Temperaturdepression bei Raumtemperatur	ca. 45 Grad
Leistungsbedarf bei maximaler Kühlung	ca. 1,5 Watt
Leistungsbedarf bei 50% relativer Feuchtigkeit	ca. 0,3 Watt
Umlaufzeit der Putzscheibe	ca. 4 s
Temperaturanstieg gegen Gehäuse durch Spiegelheizung	ca. 32 Grad
minimale Autonomie des Spiegelreinigungssystems	6 Jahre

2.2.3 Mechanischer Aufbau

Der Spiegel ist eine Kreisfläche von 2mm Durchmesser aus Kupfer, das mit mehreren galvanischen Ueberzügen gegen mechanische und chemische Beanspruchung geschützt ist. Dieser Spiegel ist direkt auf dem zur Kühlung verwendeten Peltierelement montiert. Im Spiegel ist das Thermoelement eingelötet. Das Peltier-Element und die Optoelektronik sind auf einem Aluminiumteil montiert, das für guten thermischen Kontakt zum THYGAN-Gehäuse sorgt. An diesem Al-Teil ist auch die Putzvorrichtung montiert. Sie besteht aus einem kleinen Gleichstrommotor, der über ein Reduktionsgetriebe die Putzscheibe antreibt. Diese ist mit einem Reinigungsbelag versehen, der den Spiegel während einer vollständigen Umdrehung abwischt.

Der Fühleraufbau ist in einem separaten kleinen Gehäuse untergebracht. In dieses wird aus der Hauptströmung des Ventilators ein kleiner Teil der Luftprobe abgezweigt. Die Luftgeschwindigkeit über dem Spiegel wurde für die Forderungen nach rascher Reaktion des Spiegels sowie kleiner Verschmutzung optimiert.

Die Optoelektronik besteht aus einer Infrarot-Lichtquelle, die in einem Winkel von 45 Grad den Spiegel beleuchtet. Gegenüber empfängt ein Lichtsensor das gespiegelte Licht im gleichen Winkel. Senkrecht über dem Spiegel ist ein weiterer Photosensor angeordnet, der das von der Spiegeloberfläche gestreute Licht empfängt, damit die Belagsart Eis oder Wasser unterschieden werden kann.

2.2.4 Elektronische Schaltung

Die Schaltungen können in einzelnen Gruppen betrachtet werden:

a) Optoelektronik

Die IR-Lichtquelle wird aus einer eingepprägten Stromquelle gespeist, deren Strom vom Rechner gesteuert wird. Damit werden Alterungen und Temperatureinflüsse auskorrigiert, indem das vom sauberen, trockenen Spiegel reflektierte Licht auf einen Sollwertstrom des Photosensors einreguliert wird. Die Stromversorgung der Optoelektronik wird nur eingeschaltet, wenn Spiegellicht benötigt wird. Auf diese Weise kann die Alterung der Bauteile reduziert sowie Strom gespart werden.

b) Regelsystem

Die vom Sensor für das direkt reflektierte Licht gelieferte Spannung von etwa 0,5 Volt wird einerseits über den Multiplexer im Bereich 2 des AD-Wandlers gemessen, andererseits als Ist-Wert in das Regelsystem eingeführt. Im Regelsystem beeinflusst die verstärkte Fehlerspannung die Breite (bei konstanter Frequenz) des Impulses, der den Leistungsschalter steuert. Der Leistungsimpuls ab 12 Volt wird mit einem Filter in eine Gleichspannung von etwa 1V bei ca. 1A transformiert. Der Strom wird begrenzt. Das Regelsystem hat grosse Stabilitätsprobleme gestellt, da die im Regelkreis vorhandenen Zeitkonstanten in weiten Grenzen variieren können. Dies kommt von der in Funktion der Taupunkttemperatur stark ändernden Geschwindigkeit der Depotbildung auf dem Spiegel.

c) Putzmotorsteuerung

Der Putzmotor wird über einen Verstärker angesteuert. Seine Laufzeit ist vom Rechner kontrolliert, indem dieser ein Signal erhält, ob Licht vom Spiegel reflektiert wird oder nicht. Kein Licht bedeutet dabei, dass die Putzscheibe den Spiegel abdeckt. Die Umlaufzeit der Putzscheibe beträgt etwa 4 Sekunden. Der Strom des Putzmotors ist begrenzt, er kann auch mit einem Oszillographen oder Registriergerät beobachtet und gemessen werden. Dies wird für die mechanische Justierung der Putzscheibe verwendet.

d) Spiegelheizung

Durch einen entsprechenden Befehl des Rechners wird der Spiegel geheizt. Der Heizstrom wird aus der Netzspannung (48VAC) abgeleitet. Ein Thyristor dient dabei als Leistungsschalter und gleichzeitig als Einweggleichrichter für einen Strom im Peltierelement. Dieser Strom ist in seiner Richtung umgekehrt zu jenem im normalen Kühlbetrieb und bewirkt deshalb eine Erwärmung des Spiegels.

2.2.5 Programmteile

a) Messung

Es werden drei Werte gemessen:

Messwert	Sensor	Funktion
U_{TP} 0,5V	Photosensor 45 Grad	direkt reflektiertes Spiegellicht
U_{str} 0,3V	Photosensor 90 Grad	diffuses Spiegellicht
U_T' 40uV/Grad	Thermoelement im Spiegel	Spiegeltemperatur

Das Verfahren für die Messung wurde unter 2.1.5 b) beschrieben.

b) Berechnungen

1. Taupunkttemperatur

Die Berechnung geschieht analog zum in 2.1.5 b) beschriebenen Verfahren für die Berechnung der Thermoelement-Temperatur.

2. Relative Feuchtigkeit

Sie wird nach ihrer Definition (Verhältnis gemessener Dampfdruck zum Sättigungsdampfdruck bei der gemessenen Lufttemperatur) berechnet. Die offizielle WMO-Tabelle für den Zusammenhang von Dampfdruck und Taupunkt-/Reifpunkt-Temperaturen wurde zwischen -70°C und $+50^{\circ}\text{C}$ durch Exponentialfunktionen approximiert. Die in den Approximationen gefundenen Konstanten a und b sind je nach Temperaturbereichen und je nachdem, ob das Spiegeldepot Wasser oder Eis ist, verschieden.

$$10) RF = 1000 / \exp. \left(\frac{a1 \cdot TL}{b1 + TL} - \frac{a2 \cdot TP}{b2 + TP} \right) \quad (0,1 \%)$$

TL	a1	b1	TP	Depot	a2	b2
0 Grad	17,368	238,83	0 Grad	Wasser	17,368	238,83
0 Grad	17,856	245,52	0 Grad	Wasser	17,856	245,52
			0 Grad	Eis	22,365	271,61

3. Wasser/Eis-Unterscheidung

Eiskristalle als Depot auf dem Spiegel streuen das Spiegellicht stärker als Wassertröpfchen. Deshalb ermöglicht die Streulichtmessung eine Wasser/Eis-Detektion. Die Lichtstreuung ist jedoch auch noch von anderen Einflüssen wie z.B. der Dicke und Struktur des Depots abhängig, die ihrerseits wieder von der Spiegelverschmutzung und von Exemplarstreuungen konstruktiver Details im Sensor beeinflusst sind. Wegen dieser sensor-individuellen Unterschiede der Spiegellichtsignale muss jeder Geber individuell geeicht werden. Die Eichung wird automatisch im Programmablauf durchgeführt. Es werden die Verhältnisse gespeichert, die sich im Fall von Wasser-Depot auf dem Spiegel einstellen. Mit diesen Werten wird über eine Periode von 100 Minuten ein gleitendes Mittel k' (eine Art Referenzwert für den Fall des Wasserdepot) gebildet, womit langsame Änderungen (Temperatur, Spiegeloberfläche) berücksichtigt werden können.

Wenn das Streulicht eine bestimmte Grösse erreicht, und die Taupunkttemperatur kleiner als -10 Grad C beträgt, wird Eis detektiert. Das Resultat wird im Statuswort (Ziffer B) angezeigt und für die Berechnung der relativen Feuchtigkeit berücksichtigt.

4. Spiegelreinigung

Bei trockener Spiegeloberfläche (mit geheiztem Spiegel) wird die Spannung U_{TP} gemessen und ausgewertet. Je nach Resultat der Kontrolle werden die folgenden Massnahmen eingeleitet:

U_{TP}	Massnahme
richtig	keine
zu gross	Licht wird neu eingeregelt
zu klein	Spiegel wird geputzt, getrocknet und Licht wird neu eingeregelt Dieser Fall wird im Status (Ziffer B = 4) angezeigt.

Der Spiegel wird in zeitlichen Abständen von 1 bis 7 Tagen jedenfalls, d.h. auch bei richtiger Grösse von U_{TP} , gereinigt.

Wenn der Lichtregler auf der Stellung 12 oder höher steht, wird als Alarmkriterium im Statuswort in der 100er-Stelle (Ziffer B) die Zahl 2 gesetzt. Der Gerätebetreuer hat dann noch genügend Zeit, das Gerät auszutauschen, bevor der Lichtregler am Anschlag 15 ankommt.

2.3 Gehäuse, Ventilation und Heizungen

2.3.1 Funktion

a) Gehäuse

Das Gehäuse soll die Sensoren und die Sensorelektronik vor den folgenden äusseren Einflüssen schützen:

- Niederschläge und Nebel
- Wind
- Sonneneinstrahlung
- Vereisung
- Hochfrequenzfelder (z.B. von Rundfunksendern)
- Blitz- und NEMP-Einwirkungen

b) Ventilation

Der Ventilator ist eine wichtige und kritische Komponente. Er dient der Ventilation des Luftthermometers, damit Einflüsse der Strahlung und des Gehäuses auf die Temperaturmessung klein sind. Der Ventilator wird nur eingeschaltet, wenn dies nötig ist, um seine Standzeit zu verlängern. Angetrieben wird er von einem Gleichstromkollektormotor von hoher Lebensdauer und gutem Wirkungsgrad. Ausgedehnte Versuche mit verschiedenen Ventilatorausführungen und unter möglichst repräsentativen Umgebungsbedingungen gingen der Auswahl des Ventilators voran. Der Ventilator wird geheizt, wenn dies notwendig ist, um eine Blockierung durch Vereisung und eine vorzeitige Alterung durch Feuchtigkeitseinflüsse zu vermeiden. Am Ventilator sind deshalb zwei Heizungen angebracht. Die eine dient der Erwärmung des Ventilatorgehäuses, die andere der Erwärmung der geförderten Luft. Ueber diese Heizungen wird auch die Betauung der Elektronik vermieden. Unter akuten Vereisungsbedingungen dreht der Ventilator dauernd, um ein Festfrieren des Rotors zu vermeiden.

c) Gehäuseheizung

Mehrere verteilt angebrachte Heizwiderstände erwärmen das Gehäuse gleichmässig. Einerseits soll diese Heizung eine Vereisung des Gehäuses vermeiden. Andererseits besteht die Gefahr, dass die Gehäusetemperatur die Luft-Temperaturmessung beeinflussen kann. Deshalb sorgt das Steuer- und Regelsystem dafür, dass das Gehäuse nicht unnötig stark geheizt wird. Bei Ausfall der 48V-Netzspannung wird nicht geheizt.

2.3.2 Daten

a) Gehäuse

Abmessungen: H = 370mm, B = 240mm, T = 230mm (430mm mit Rohr)

Gewicht: 8kg (inkl. Inhalt)

b) Ventilation

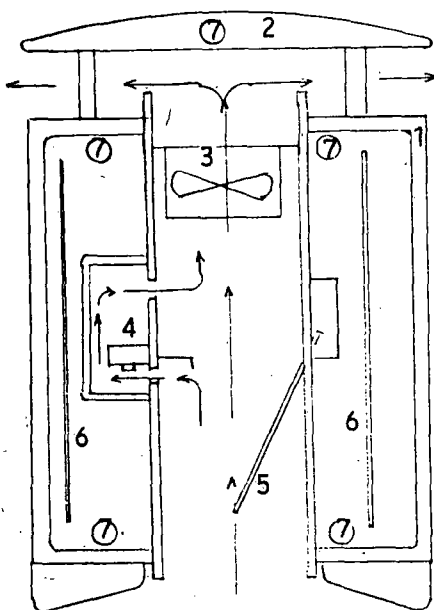
	Uv=24V (Netz- betrieb)	Uv=12V (Batterie- betrieb)
Ventilatorspannung	22V	12V
Ventilatorstrom ca.	37mA	15mA
Luftgeschwindigkeit am Thermometer ca.	4m/s	2m/s
max. Ventilatorheizleistung ca.	30W	ausser Betrieb

Die Ventilator-Heizleistung wird dosiert abhängig gemacht von der Feuchtigkeit und davon, ob der Ventilator dreht oder nicht. Da ein Betauen des Gehäuses vermieden werden soll, wird die Differenz zwischen der Taupunkt- und der Gehäuse-Temperatur als Steuerkriterium verwendet. Für die Steuerung wird das Tastverhältnis verändert. Die Tastperiode ist 80 Sekunden, innerhalb derer in Schritten von 10 Sekunden getastet wird.

c) Gehäuseheizung

Leistung bei 48V-Netzspannung ca. 130 Watt

2.3.3 Mechanischer Aufbau



THYGAN: Vertikalschnitt

- 1 Aluminium Druckgussgehäuse
- 2 Regendach aus Aluminium-Guss
- 3 Geheizter Ventilator
- 4 Taupunktspiegel mit Putzvorrichtung
- 5 Luftthermometer, geheizt
- 6 Steuer- und Messelektronik
- 7 Gehäuseheizungen

Funktionsskizze des Thygan-Gehäuses

Das Gehäuse ist aus Leichtmetall-Gussteilen gebaut. Diese sind mechanisch robust und halten durch ihre gute Wärmeleitung die Temperaturgradienten auf dem Gehäuse klein. Die spezielle weisse Lackierung soll eine unnötig grosse Erwärmung bei Sonneneinstrahlung vermeiden. Mit der Gehäuseform wird in allen Windsituationen eine Strömung von unten nach oben erzwungen. Auch ist der Thermometerkanal gegen hereinfliegende Niederschläge geschützt. Am Gehäuse ist ein

nach unten gebogenes Rohr angebracht, an dem das Gerät mittels einer isolierenden Bride montiert werden kann. Von unten am Rohrende wird der Stecker des Geberkabels eingesteckt. Im Rohr sind der Blitz- und HF-Schutz der Zuleitungen untergebracht.

b) Ventilator

Es wird ein handelsüblicher Ventilator verwendet, der zusätzlich mit einer Heizung versehen wird. Der Ventilator ist im Thermometer-Kanal eingeschoben und über einen Stecker verbunden, so dass er im geöffneten Gehäuse ohne Werkzeug auswechselbar ist. Ventilator und Ventilatorheizung bilden eine Einheit.

c) Gehäuseheizung

Die 6 Heizwiderstände sind nach thermischen Gesichtspunkten im Gehäuse verteilt. Es sind in Aluminiumgehäusen eingebaute elektrische Leistungswiderstände. Da die gesamte Elektronik auf einer herausnehmbaren Grundplatte aufgebaut ist, sind die Gehäuseheizungsanschlüsse mit Steckern angeschlossen.

2.3.4 Elektrische Schaltung

a) Gehäuse

Nur Verdrahtung

b) Ventilator

Der Ventilator wird mit einem Schaltverstärker eingeschaltet. Die Speisung liefert entweder das 48V-Netz oder die 12V-Batterie. Im 48V-Betrieb werden ab einem Transformator 24V gleichgerichtet. Fällt die 24V-Stromversorgung aus, schaltet sich die 12V-Batterie-Stromversorgung ohne aktiven Umschalter automatisch zu. Der Ventilator-Motorenstrom ist begrenzt, damit im Falle einer Blockierung des Antriebes kein Kurzschluss entsteht. Ventilator-Spannung und -Strom werden im Bereich 2 des AD-Wandlers gemessen.

Die Ventilatorheizung wird direkt ab 48V-Netz gespeist. Ein Triac-Schaltverstärker schaltet die Spannung in den Wechselspannungs-Nulldurchgängen ein und aus.

c) Gehäuseheizung

Die 48V-Netzspannung wird auch hier von einem Triac-Schaltverstärker an die Widerstände angelegt. Ein Bimetall-Thermostat sichert den Stromkreis und schaltet die Heizung jedenfalls aus, wenn das Gehäuse wärmer als 50 Grad C wird.

2.3.5 Programmteile

a) Gehäuse

Siehe Gehäuseheizung

b) Ventilator

Innerhalb des 10 Minuten-Zyklus des THYGAN-Programmes dreht der Ventilator ab Beginn der Regelung des Taupunktspiegels bis alle Messungen beendet sind.

Die Ventilator-Spannung und der Ventilator-Strom werden am Ende des Messzyklus gemessen.

Berechnung des Ventilatorstromes aus der an einem 2,2 Ohm-Shunt gemessenen Spannung (U_{iv}):

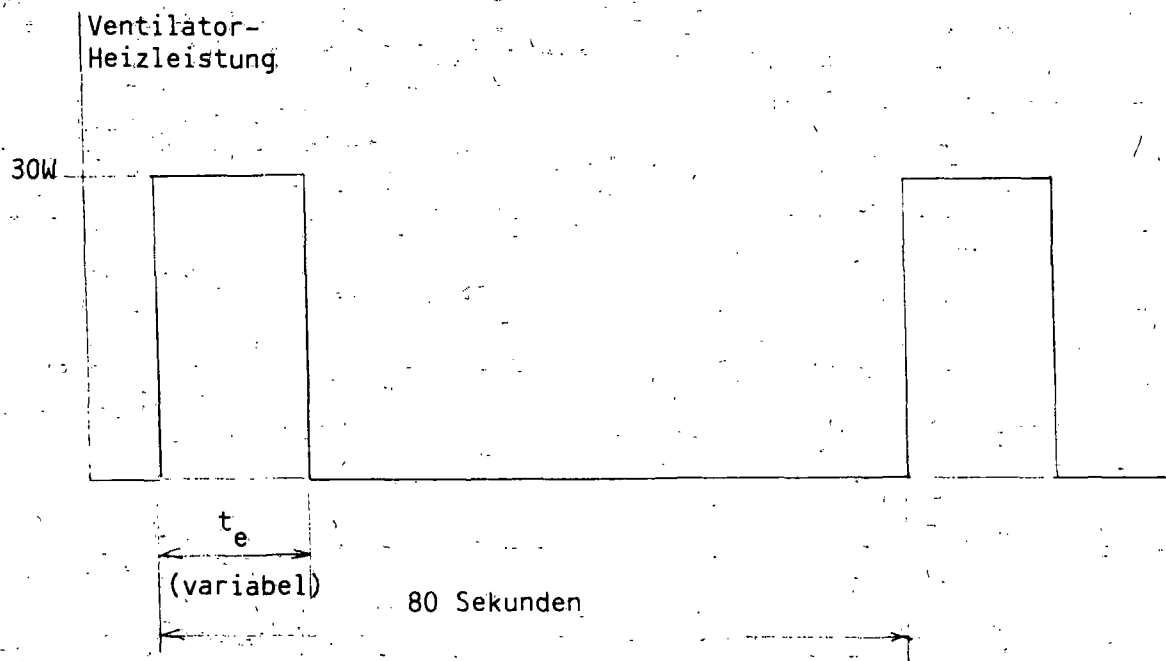
11) $I_v = U_{iv} \cdot 454$

I_v : Ventilatorstrom in mA
 U_{iv} : vom AD-Wandler gemessene Shunt-Spannung in V

Berechnung der Ventilatorspannung:

12) $U_v = U_{uv} \cdot 100$

U_v : Ventilatorspannung
 U_{uv} : vom AD-Wandler gemessene Spannung



Steuerung der Ventilatorheizung durch Variation der Einschaltdauer

Tabelle der Ventilator-Heizleistung Pm bei verschiedenen Taupunkt- und Gehäuse-Temperaturen.

TG - TP (Grad C)	Ventilator steht		Ventilator dreht	
	te (s)	Pm (Watt)	te (s)	Pm (Watt)
grösser 4	0	0	0	0
3,5 bis 4	0	0	10	3,75
3 bis 3,5	10	3,75	20	7,5
2,5 bis 3	10	3,75	30	11,25
2 bis 2,5	20	7,5	40	15
1,5 bis 2	20	7,5	50	18,75
1 bis 1,5	30	11,25	60	22,5
0,5 bis 1	30	11,25	70	26,25
kleiner 0	40	15	80	30

Während Vereisungssituationen dreht der Ventilator dauernd. Als Vereisungssituation gilt ein Zustand, in dem die drei folgenden Bedingungen erfüllt sein müssen:

- Lufttemperatur kleiner als -2 Grad C
- Luftfeuchtigkeit grösser als 95%
- Gehäuseheizung mindestens zu 20% in Betrieb

c) Gehäuseheizung

Zu Beginn des 10 Minuten-Zyklus wird berechnet, wie stark das Gehäuse geheizt werden muss. Die Steuerung erfolgt durch Einschalten der Heizung zu Beginn des 10 Minuten-Zyklus. Ausgeschaltet wird innerhalb des Zehnminuten-Zyklus entsprechend dem Heizleistungsbedarf. Dieser hängt ab vom Wärmeübergang vom Gehäuse zur Umgebung (z.B. Windstärke, Verdampfungswärme usw.)

2.4 Blitz- und Störspannungsschutz

2.4.1 Funktion

An exponierten Standorten sind die Geber durch atmosphärische elektrische Entladungen gefährdet.

Der im THYGAN eingebaute Schutz geht recht weit, da die Geräte ausser gegen Blitzeinwirkungen auch vor der Beeinflussung durch starke HF-Felder von Rundfunk- und Fernsehsendern geschützt werden müssen.

2.4.2 Daten

HF-Felder in der Grössenordnung von 150 V/m stören die Funktion nicht.

Blitzströme von ca. 100A (1ms) pro Draht ergeben noch keine Zerstörungen.

2.4.3 Mechanischer Aufbau

Der Blitzschutz ist als mechanische Einheit mit dem 10poligen, wasserdichten Geberstecker zusammengebaut. Diese Baugruppe ist im unteren Ende des Befestigungsrohres angeordnet. Von der Blitzschutzeinheit führt ein Kabel im Rohrinne zu einem Hochfrequenz-Durchführung-Filter in der Wand des Gebergehäuses. Diese Anordnung gibt eine hohe Dämpfung für leitungsgebundene Störspannungen.

2.4.4 Elektrische Schaltung

Die Blitzschutzschaltung arbeitet in mehreren Stufen (Grobschutz, Feinschutz usw.).

Die Ueberspannungs-Schutzelemente sind zwischen den einzelnen Signaldrähten und der 0V-Speiseleitung geschaltet. Letztere ist wiederum über ein Schutzelement mit dem Kabelschirm verbunden.

Der Kabelschirm ist mit dem Gebergehäuse verbunden. Somit bilden Kabelschirm und Gehäuse einen Faraday-Käfig für die Verdrahtung und die Baugruppen. Der Kabelschirm und das Gehäuse müssen isoliert montiert werden.

Der Schutz gegen HF-Störspannungen wird über ein LC-Hochfrequenzfilter erreicht, das bis ins Gigahertz-Gebiet gute Dämpfungen aufweist.

2.4.5 Programmteile

Keine

2.5 Stromversorgung

2.5.1 Funktion

a) Stromversorgung ab 12V

Die 12V-Stromversorgung dient dem Betrieb der gesamten Elektronik. Der Geber kann mit gewissen Einschränkungen ausschliesslich aus 12V betrieben werden. Alle Funktionen ausser den Heizungen bleiben in diesem Fall erhalten. Aus den 12V werden im Geber die notwendigen Hilfsspannungen erzeugt. Ueberall ist bei der Schaltungsdimensionierung auf kleinen Stromverbrauch geachtet worden.

Erzeugte Hilfsspannungen:

- + 5 V stabilisiert
- + 0,5V stabilisiert
- 5 V stabilisiert
- 1,2 V stabilisiert
- 2 mV stabilisiert
- 12 V unstabilisiert

b) Stromversorgung ab 48VAC

Die 48V-Stromversorgung wird für sämtliche Heizungen und den Ventilator verwendet. Im Geber formt ein Transformator die 48V in die benötigten Spannungsgrößen um. Folgende Funktionen sind ab 48VAC betrieben:

- Gehäuseheizung
- Ventilator-Motor
- Ventilator-Heizung
- Spiegelheizung /
- Heizung des Luftthermometers

2.5.2 Daten

a) Stromversorgung ab 12V

zulässiger Spannungsbereich	11...15V
Strom Mittelwert (10 Min, excl. Interface) ca.	15mA
Stromscheitelwert	170mA
Strom wenn Geber ausgeschaltet (7 von 10 Min.)	weniger als 1mA

b) Stromversorgung ab 48VAC

zulässiger Spannungsbereich	+/-15%
maximaler Strom	3,8A

2.5.3 Mechanischer Aufbau

Die Stromversorgung ist zusammen mit der übrigen Elektronik meist auf gedruckten Schaltungsplatten aufgebaut.

2.5.4 Elektrische Schaltung

a) Stromversorgung 12V

Alle Stabilisierungsschaltungen sind lineare Regler, die sich auf eine gemeinsame Referenz von 1,235V beziehen. Diese Referenzspannung wird mit einer Bandgap-Schaltung erzeugt und liefert eine hochstabile Spannung auch im grossen Temperatur- und Speisespannungsbereich. Die negativen Spannungen werden aus einer mit Zerhacker erzeugten, ungestabilisierten Spannung von -12V abgeleitet. Abgeglichen wird nur die Referenzspannung von 2000uV, welche zur Eichung des AD-Wandlers benützt wird.

b) Stromversorgung 48V

Diese Spannung wird direkt benützt für die Gehäuse- und die Ventilatorheizung. Alle anderen Verbraucher werden aus Wicklungen eines Transformators gespeist, dessen Primärseite an 48V angeschlossen ist.

2.5.5 Programmteile

a) Stromversorgung 12V

Die meisten Teile der Stromversorgung werden vom Programm aktiviert. Immer wenn keine Geberfunktion nötig ist, wird die Stromversorgung ausgeschaltet. Im ausgeschalteten Zustand ist nur der Steuerdatenempfänger in Betrieb, und der Geber bezieht sehr wenig Strom.

b) Stromversorgung 48V

Das Steuerprogramm überwacht die 48V-Netzspannung, indem die Spannung am Ventilator gemessen wird. Fehlen die 48V, dann wird dies im Statuswort gemeldet: Ziffer A (1000er) wird 4 gesetzt.

2.6 Kommunikation Geber-Steuergerät

2.6.1 Funktion

THYGAN ist ein Gerät, das so viele Steuerfunktionen und Messwerte zu übertragen hat, dass ein Verfahren mit wenig Pfaden gesucht wurde. Gesamthaft sind 20 einzelne Steuerbefehle (die kombiniert werden können) vom Steuercomputer zum Geber sendbar. Andererseits schickt der Geber Messimpulse von 12 verschiedenen Quellen zum Rechner. Das gewählte Verfahren benützt 3 Adern (gegen 0V Speisung) um sämtliche Funktionen zu erfüllen. Die 3 Leitungen haben die folgenden Funktionen:

Daten-Leitung	24 Datenbits zur Steuerung des Gebers (20 benützt)
Takt-Leitung	Impulse synchron zu den Datenbits
Signal-Leitung	Antwort- (Mess-) Impulse des Gebers in Richtung Rechner

Funktionen der einzelnen Datenbit für die Steuerung des Gebers:

Bit No (Hex)	(Dez)	Funktion
00	00	Ventilator einschalten
01	01	Taupunktspiegel mit voller Leistung kühlen
02	02	Luftthermometer heizen
03	03	Taupunktspiegel heizen
04	04	Taupunktspiegel-Regelung einschalten
05	05	Putzmotor einschalten
06	06	Gehäuseheizung einschalten
07	07	Stromversorgung (ab 12V) einschalten
08	08	Messstelle Bit 0
09	09	Messstelle Bit 1
0A	10	Messstelle Bit 2
0B	11	Messstelle Bit 3
0C	12	Befehl zur Auslösung einer Messung (Start AD-Wandler)
0D	13	Signalleitungs-Umschalter: 0: AD-Wandler 1: Spiegelstatus
0E	14	Ventilatorheizung einschalten
0F	15	Reserve
10	16	DA-Wandler für Spiegellichtstärke Bit 0
11	17	DA-Wandler für Spiegellichtstärke Bit 1
12	18	DA-Wandler für Spiegellichtstärke Bit 2
13	19	DA-Wandler für Spiegellichtstärke Bit 3
14	20	Spiegelbeleuchtung einschalten
15	21	Reserve
16	22	Reserve
17	23	Reserve

2.6.2 Daten

Taktimpuls-Frequenz	500Hz
Taktimpulslänge	1ms
Datenimpulslänge	2ms
Zeit für die Ausgabe einer ganzen Steuermeldung	48ms
Antwort- (Mess-) Impuls	ca. 1...300ms
Pegel	Logisch 1: +12V (Batterie-Spannung)
	Logisch 0: 0V

2.6.3 Mechanischer Aufbau

Alle Komponenten sind auf der gedruckten Schaltung "Steuerprint" aufgebaut.

2.6.4 Elektrische Schaltung

Die Steuersignale (Takt- und Daten-Impulse) werden nach der Integration (Dämpfung von Störsignalen) an eine Kette von drei Schieberegistern angelegt. In diesen werden die Daten, von den Taktimpulsen, gesteuert in serieller Form eingeschrieben. Die Schieberegister haben $3 \times 8 = 24$ parallele Ausgänge, von denen 20 benützt sind und die Steuerbefehle gespeichert zur Verfügung stellen. Diese Ausgänge sind direkt mit den entsprechenden Elektronik-Schaltungen verbunden, welche die gewünschte Steuerfunktion bewirken.

Der Antwortimpuls entsteht im AD-Wandler, indem eine lineare Sägezahnspannung in ihrer Amplitude mit dem Messsignal verglichen wird. So wird ein Messimpuls erzeugt, dessen Länge von der Höhe der Messspannung abhängig ist. Nach einer Pegelumformung wird der Messimpuls an die Signalleitung angelegt.

2.6.5 Programmteile

Die Steuerungsimpulse (Daten und Takt) werden vom Rechnerprogramm direkt in der benötigten Form erzeugt.

Die im Rechner ankommende Messzeit wird verrechnet zu der gewünschten Grösse (siehe auch Kapitel 2.1.5).

3. Computer-Interface

3.1 Einleitung

Das Computer-Interface ist die Verbindungseinheit zwischen Geber und Datenerfassung auf dem ASTA-Bus. Es enthält den Mikroprozessor mit seiner Computer-Peripherie, die Anpassungselektroniken in Richtung Geber und in Richtung ASTA-Bus sowie die Stromversorgung des Computerteiles. Alle Logikbauteile sind in CMOS-Technik gebaut.

3.2 Computerteil

Der Mikrocomputer besteht aus der Zentraleinheit (CPU), dem ROM (Programm- und Festwertspeicher), dem RAM (Datenspeicher) und den Ein/Ausgabeschaltungen.

Die CPU ist ein CMOS-Mikroprozessor mit 8 Bit-Struktur vom Type 1802 (RCA). Dieser Prozessor hat eine etwas ungewöhnliche Architektur, die sehr viele Möglichkeiten bietet, jedoch auch sehr viel Eigenleistung im Softwarebereich verlangt. Die CPU läuft am 1MHz-Takt des ASTA-Bus.

Als ROM wird ein UV-löschbares EPROM mit $8k \times 8$ Bit Speicherplatz verwendet. Das ROM ist als einziges Bauteil in n-MOS-Technik gebaut, da zur Zeit der Entwicklung des Computer-Interfaces noch keine CMOS-EPROM erhältlich waren. Um den Stromverbrauch des Computers trotzdem klein zu halten, sind schaltungs- und programmtechnische Massnahmen getroffen worden.

Ein CMOS-RAM von 1k x 8 Bit Grösse wird als Datenspeicher eingesetzt.

Die Ausgabeschaltung ist eine auf die CPU abgestimmte CMOS-Port-Schaltung aus der Reihe des Prozessors. Alle übrigen Schaltungen sind übliche CMOS-Bausteine.

Hilfsschaltungen sind diverse Speicher für die Flag-Eingänge der CPU, Zähler für die Erfassung der Messimpulszeiten, eine Wachthundschaltung und die Einsekunden-Uhr (gesteuert vom 1s-Takt des ASTA-Bus). Die Stellung von zwei Betriebsartenschaltern (à je 4 Bit) wird über ein Schieberegister eingelesen.

3.3 Verbindung zum ASTA-Bus

Alle Signale, die zwischen ASTA-Bus und Computer (und umgekehrt) laufen, müssen im Pegel angepasst werden. Der Computerteil ist mit +5V (gegen die -6V-Leitung des ASTA-Buses) gespeist. Der ASTA-Bus arbeitet mit +/-6V ungestabilisiert. Da der Datenverkehr von und zum Computer durchwegs in serieller Form abläuft, sind relativ wenige Pegelanpassungsschaltungen nötig.

Geber und automatische Wetterstation dürfen 1000m von einander entfernt sein (Maximaler Widerstand pro Draht 10 Ohm),

Für die Ausgabe der drei Kennziffernwerte (2 Messwerte und 1 Statuswort) sind Schieberegister (seriell/parallel) verwendet, die gleichzeitig als Datenempfänger, Speicher und Tristate-Durchschalter dienen.

Ab ASTA-Bus werden noch eine Reihe von Steuersignalen, das 10 Minuten-Reset-Signal und die Speisung abgegriffen.

3.4 Verbindung zum Geber

Daten- und Taktsignale in Richtung Geber werden direkt aus der Portschaltung über einen Pegelumsetzer ausgegeben. Der Signaleingang mit den Messimpulsen vom Geber liegt an einer Impulsformerstufe. Von dort steuert der Messimpuls einen Zähler und stellt mit seiner Endflanke ein Flag. Die gezählten 1MHz-Perioden werden dann in ein Schieberegister übertragen (parallel/seriell) und in serieller Form in die CPU eingelesen. Die beiden Leitungen Takt und Signal können an LED beobachtet werden.

3.5 Stromversorgung des Computerteiles

Die ab ASTA-Bus abgegriffene Batteriespannung von 12V (+/-6V) wird in einem linearen Regler auf +5V stabilisiert. Dank einer Optimierung von hard- und softwaremässigen Massnahmen benötigt das Computer-Interface im Mittel nur etwa 10mA Strom (kontinuierlich, ab ASTA-Bus).

4. Software

4.1 Allgemeines

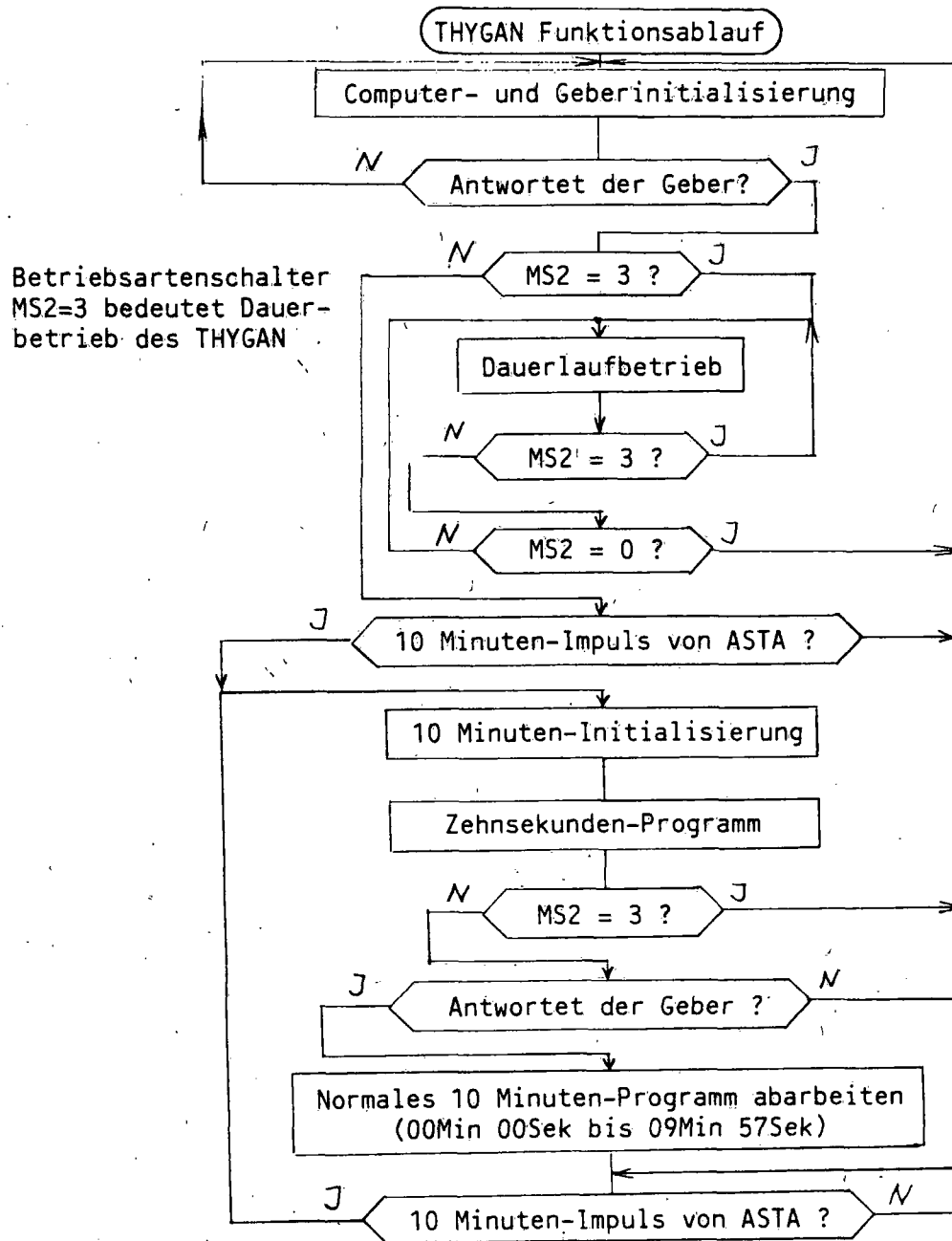
Die Software ist in Maschinensprache geschrieben. Die einzelnen Programmblöcke sind fast immer als Subroutinen ausgebildet. Eine Eigenheit des Prozessors ist die, dass viele Grundprogramme selbst erarbeitet werden mussten (z.B. die Subroutinen-Technik). Grosser Wert wurde auf eine zeitlich unkritische Software gelegt. Das Computerkonzept ist von uns deshalb so ausgelegt, dass das Programm i.a. immer 1 Sekunde Zeit zum Reagieren hat. An einem "Summenflag" liegt ein Signal an, wenn der Prozessor auf einen äusseren Einfluss reagieren soll. Es werden also keine eigentlichen Interrupts verwendet. Hingegen wurden die Möglichkeiten eines zeitlich optimalen Ablaufes dank der Maschinensprache genutzt. Das gesamte ROM enthält etwa 6kByte Programm.

4.2 Arithmetik

Die verwendete Arithmetik wurde von Meteolabor entwickelt und ist eine schnelle Gleitkomma-Arithmetik mit 16 Bit-Mantisse und 6 Bit-Exponent, mit der eine Auflösung von etwa 15ppm und ein Grössenbereich von etwa $\pm 10^{19}$ erreicht werden kann. Sowohl Auflösung als auch Bereich wurden den messtechnischen Bedürfnissen angepasst, um nicht unnötige Rechenzeit zu verbrauchen. Das Rechnen in diesem Format bedingt natürlich weitere Routinen zur Umformung in Festkomma-Binär- und Dezimal-Format. An Standardfunktionen werden noch die Exponential- und die Wurzel-Funktion benötigt (relative Feuchtigkeit und Standardabweichung).

4.3 Wichtige Programmteile

4.3.1 Hauptprogramm, Funktionsablauf



4.3.2 Normales 10 Minuten-Programm

Dieser Teil ist zeitgesteuert.

Zeit

Min Sek

0 01

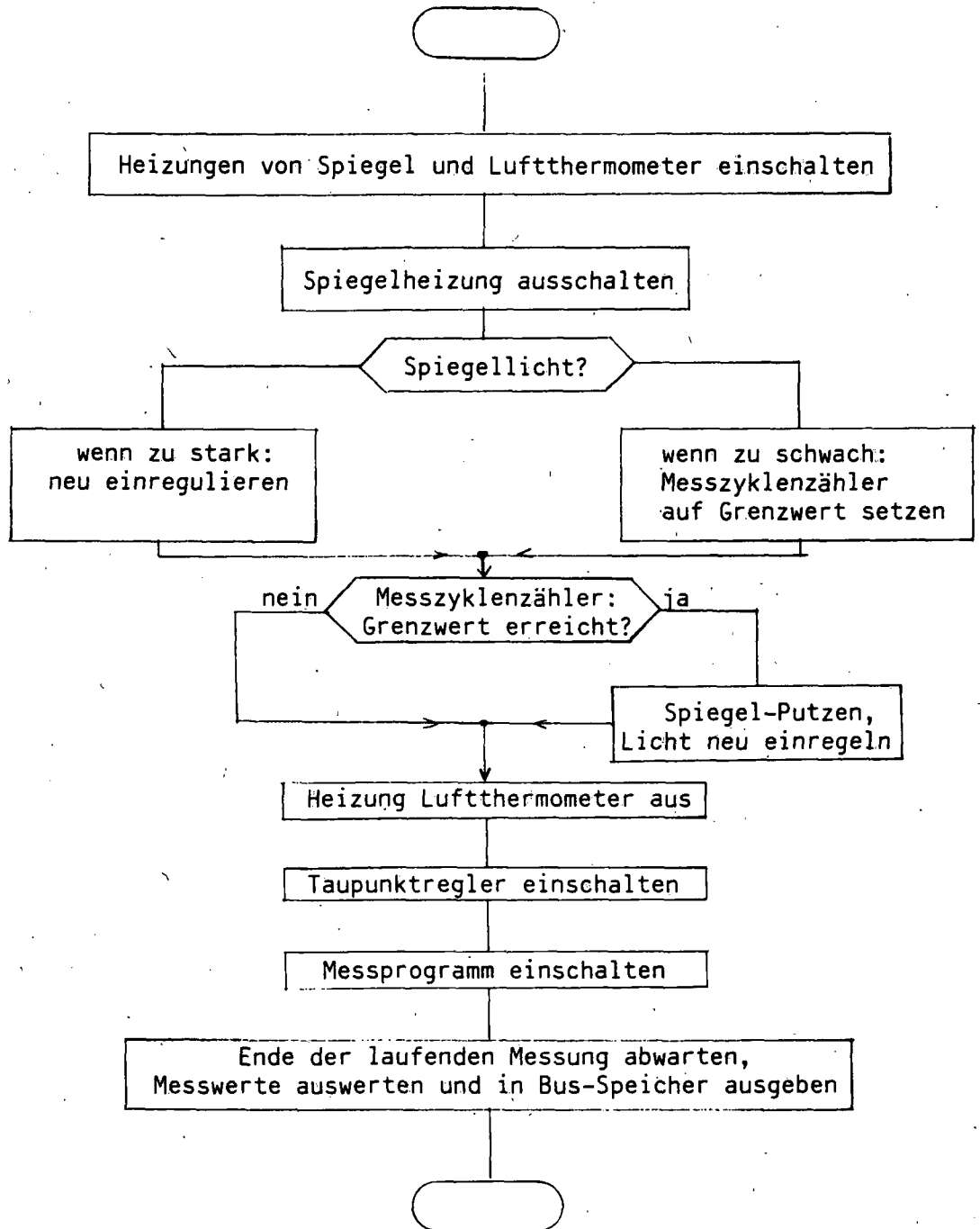
1 00

6 00

8 00

9 15

9 50



5. Anhang

5.1 Format der Daten

Die am ASTA-Bus anstehenden Daten bestehen aus 3 vierstelligen Dezimalzahlen-Werten im BCD-Code.

5.2 Bedeutung der Zahlen

1. Zahl: Lufttemperatur in 0,1 Grad C
2. Zahl: Abhängig von der Stellung des Betriebsartenschalters MS1:

Stellung MS1	Bedeutung der 2. Zahl
--------------	-----------------------

0	relative Feuchtigkeit in 0,1%
1	Taupunkttemperatur in 0,1 Grad C
2	Gehäusetemperatur in 0,1 Grad C
3	Ventilatorspannung in Volt
4	Ventilatorstrom in mA
5	Spiegellicht 0000...0015

3. Zahl: Status (Kontrollkennziffer)
Format ABCD

Ziffer A:

1	Streuung der Lufttemperatur grösser als 2K
2	Streuung der Taupunkttemp. grösser als 2K
4	Netzspannung 48V fehlt
8	Geber gibt keine Antwort

Kombinationen von 1+2+4 sind möglich

Ziffer B:

1	Eis auf dem Spiegel
2	Spiegellicht wird schwach
4	Spiegel wurde geputzt
8	Ventilator nicht i.O.

Kombinationen von 1+2+4 sind möglich

Ziffer C: Temperaturunterschiede Gehäuse zu Lufttemperatur

0	-1,5K
1	-1K
2	0K
3	+1K
4	+2K
5	+3K
6	+4K
7	+5K
8	+6K
9	+6,5K

Ziffer D: Leistung der Gehäuseheizung
 $H = \text{Int}((tg+6)/7)$
tg: Anzahl 10s-Einschaltzyklen innert 10 Minuten

Spezielles: 8000: Geber gibt keine Antwort; 9000: Geber initialisiert

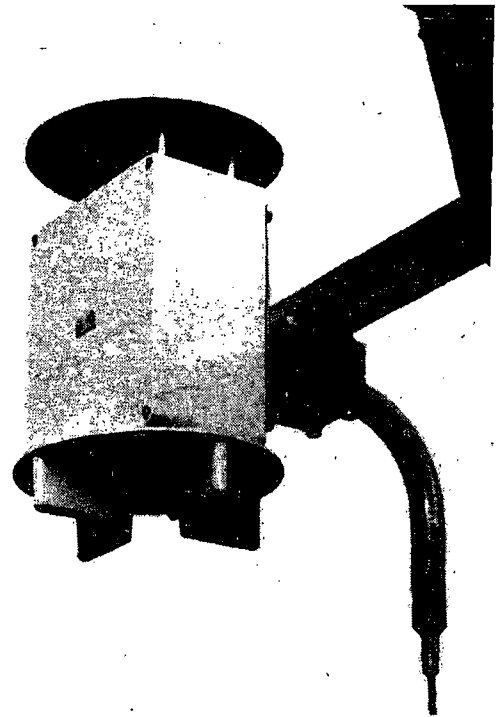
5.3 Verwendete Abkürzungen

- MTBF: Mean Time Between Failure. Die im Mittel erreichte Betriebszeit zwischen zwei Pannen. MTBF ist eine Grösse, welche die Betriebssicherheit beschreibt.
- BCD: Binär Codiertes Dezimalsystem. Ein in digitalen Systemen häufig verwendetes Zahlensystem, in dem jede Ziffer des Dezimalsystems binär dargestellt ist.
- ASTA-
BUS: Alle Interfaces der automatischen Wetterstation ASTA sind mit einem Bussystem untereinander verbunden, d.h. die Anschlüsse der Elektronikplatten sind untereinander parallelgeschaltet. Dies ermöglicht es, Interfaces an irgend einem Steckplatz der ASTA einzustecken. Der Datenbus ist für vierstellige Dezimalzahlen ausgelegt und im BCD-System organisiert.

Adresse des Autors:

Paul Ruppert
Meteolabor AG
Hofstrasse 92
CH-8620 Wetzikon 1

VENTILIERTES THERMO-HYGROMETER VTP 6 ("THYGAN")



Thermo-Hygrometer VTP 6 isoliert montiert auf dem Arm eines Meteomastes. Unten ist die Luftansaugöffnung sichtbar. Die Luft strömt oben zwischen Gehäuse und Deckel wieder aus.

VTP 6 ist ein ventilertes, geheiztes Thermometer kombiniert mit einem Taupunktspiegelhygrometer. Das Instrument ist für den Feldeinsatz gebaut und erfüllt höchste Ansprüche an die Zuverlässigkeit, Messgenauigkeit und Unempfindlichkeit gegen extreme Umweltbeeinflussungen.

Besondere Merkmale sind:

- Zyklischer Betrieb, der die automatische Kontrolle und Regelung der wichtigsten Funktionen erlaubt. VTP 6 misst alle 10 Minuten während 40 Sekunden etwa 10 Einzelwerte der Lufttemperatur und der Taupunkttemperatur. Die Mittelwerte werden verwendet, und mit der Standardabweichung wird die Qualität der Messung kontrolliert.
- Für spezielle Versuche kann der Geber auch dauernd messen (umschaltbar).
- Störeinflüsse durch Nässe (Psychrometereffekt), Strahlung, Vereisung, Wind und elektromagnetische Störfelder (Sender) werden weitgehend unterdrückt.
- Der kleine Stromverbrauch erlaubt den Betrieb aus einer Batterie (ohne Heizungen).
- Automatisch gesteuerte mechanische Reinigung des Taupunktspiegels erübrigt den sonst notwendigen Unterhalt am Taupunktspiegel.
- VTP 6 benötigt für den Anschluss wenige Drähte (3 für Messwerte, 2 für 12V- und 2 für 48V/50Hz-Stromversorgung).
- Automatische Unterscheidung von Eis- oder Wasserbelag auf dem Spiegel und entsprechende Berücksichtigung in der Berechnung der relativen Feuchtigkeit.
- Resultat der Feuchtigkeitsmessung als relative Feuchtigkeit über Wasser oder als Taupunkt/Frostpunkt (umschaltbar).
- Kontrollkennziffer gibt über den Betriebszustand des Gebers Auskunft.

VTP 6 benötigt ein Steuergerät. Dieses ist als Einzelgerät oder als Interface in unserer Wetterstation KLIMET erhältlich. Das Steuergerät kann die Messwerte digital oder als Analogspannung ausgeben.

Technische Daten

Messbereich Lufttemperatur	-50°C bis +50°C
Messbereich Taupunkt	-65°C bis +50°C
max. Taupunktdepression bei 20°C	40K
Sensoren	Thermoelemente Kupfer-Konstantan
Auflösung der Temperatur-Werte	0,1K
Auflösung der relativen Feuchtigkeit	0,1%
Messgenauigkeit	+/- 0,15K von -20°C bis +50°C +/- 0,25K von -65°C bis -20°C
Betriebsspannungen	10..15V Gleichspannung 48V/50Hz
Stromverbrauch 12V	ca. 15mA im Mittel eines 10 Min.-Zyklus Spitze 180mA
Stromverbrauch 48V	max. 3A (Gehäuseheizung)
Abmessungen	H = 370mm, B = 240mm, T = 230mm (430mm)
Gewicht	8kg

Bestellangaben

Thermohygrometer VTP 6

Zubehör (extra bestellen):

- Anschlussstecker (Kabelteil) für geschirmte Geberleitung
- Anschlussstecker mit ca. 5m geschirmtem Geberkabel
- Ersatzventilator mit Heizung

