



Taupunktsensor TS 2

Feuchte-Probleme mit alter, ungepflegter, aber auch neuer, nicht fachmännisch erstellter Bausubstanz sowie Betriebsfehler führen heute immer öfter zur gesundheitsschädigenden Schimmelpilzbelastung in der Wohnung, die oft genug zu spät erkannt wird. Unser Taupunktsensor TS 2 warnt rechtzeitig, noch bevor das berüchtigte Kondenswasser als Hauptursache für Schimmelbildung entstehen kann.

Zu feucht, zu kalt ...

Während der Klimafaktor „Taupunkt“ früher eher Landwirte, Gärtner oder Bauleute interessierte, zieht seine Ermittlung heute immer mehr auch in die Wohnwelt ein. Das Problem heißt feuchte Wand, und es rückt für zunehmend mehr Menschen in den Mittelpunkt ihres Wohnklimas. Denn feuchte Wände führen in den allermeisten Fällen zu einer Bildung von gefährlichen Schimmelpilzen, die sich rasend schnell in der Atemluft ausbreiten, chronische Krankheiten wie Asthma hervorrufen und im

Verdacht stehen, auch Krebs auszulösen. Das Schlimme ist, dass das Wandklima oft lange Zeit unentdeckt bleibt – der Schimmel breitet sich oft zunächst völlig unbemerkt in Wänden, Fußböden, Decken, hinter Tapeten und Schränken aus. Es gibt drei Hauptursachen für diese unangenehme und, ist es erst zum Sanierungsfall gekommen, sehr teure Erscheinung. Zum einen ist es eine ungenügende Bauwerksabdichtung besonders älterer Gebäude gegen den Untergrund oder die Umgebung sowie die Vernachlässigung durch den Besitzer. Zum anderen, und das ist bei der heutigen Bauausführung immer öfter zu beobachten, sind es Bau- und Planungsfehler bei Neubauten, die ein Eindringen von Wasser fördern. Mangelhaft ausgeführte Isolierungen sind hier ständiges Thema bei Bauherren. Durch den Temperaturunterschied der feuchten und kalten Wand zur eigentlichen Raumtemperatur kommt es bei einer bestimmten Luftfeuchtekonzentration zur Kondenswasserbildung und in der Folge schnell zum Entstehen von Schimmelpilzen. Die dritte Hauptursache fördert dies auch bei sonst trockenen Wänden – falsches Lüften und Heizen. Hier kommen dann gleich mehrere ungünstige Faktoren zusammen: Eine schlecht isolierte und

damit kalte Wand und eine wegen mangelhafter Frischluftzufuhr zu hohe Luftfeuchtigkeit im Raum führen sehr schnell zur Kondenswasserbildung. Die alte Regel, die im Übrigen auch für das extrem isolierte, aber durch falsche Belüftung umso gefährdetere Niedrig-Energiehaus gilt, dass kurzes, öfteres Lüften und gleichmäßiges Heizen die beste Methode der Schimmelvermeidung ist, ist nach wie vor gültig. Auch zentrale Lüftungsanlagen, in letzter Zeit auch immer öfter im Einfamilienhaus anzutreffen, tun hier gute Dienste.

Und hier, beim Raumklima, setzt unser Taupunktsensor an. Denn er warnt, richtig eingesetzt, rechtzeitig, bevor eine Kondenswasserbildung beginnen kann. Denn diese ist ebenfalls oft genug unsichtbar. Der Einsatz des TS 2 beugt diesem Zustand vor, so dass man rechtzeitig entsprechende Maßnahmen ergreifen kann.

Doch bevor wir uns mit der Technik des praktischen Messgerätes befassen, wollen wir die theoretischen Grundlagen betrachten.

Unsere Atemluft ...

... ist ein Gemisch verschiedenster Gase wie z. B. Stickstoff, Sauerstoff usw., aber auch Wasserdampf. Den Wasserdampfgehalt der Luft gibt die absolute Luftfeuchtigkeit in g/m^3 an, ihr Maximalwert ist abhängig von der Temperatur. Mit höheren Temperaturen wird er größer und bei niedrigeren Temperaturen entsprechend kleiner.

Die relative Luftfeuchtigkeit gibt hingegen das Verhältnis zwischen aktueller absoluter Luftfeuchtigkeit und dem maximalen Dampfgehalt (Sättigungsfeuchte) an, d. h. wie viel Prozent des maximalen Wasserdampfgehaltes in der Luft erreicht sind.

$$RH = 100\% \cdot \frac{AH}{SAH}$$

AH = absolute Luftfeuchtigkeit
SAH = Sättigungsfeuchte

Die Luft kann also bei niedrigen Temperaturen weniger Wasserdampf aufnehmen als bei hohen Temperaturen. Was passiert aber, wenn die absolute Luftfeuchtigkeit konstant ist und die Temperatur absinkt?

Mit fallender Temperatur verringert sich die Aufnahmekapazität der Luft und somit erhöht sich die relative Luftfeuchtigkeit immer weiter. Erreicht sie einen Wert von 100 %, hat die Luft ihre Kapazitätsgrenze erreicht. Sinkt die Temperatur noch weiter, hat die Luft nicht mehr die Möglichkeit, den vorhandenen Wasserdampf zu speichern, und scheidet ihn ab, er kondensiert. Diesen Punkt nennt man Taupunkt. In dieser Situation würde in der Natur

Technische Daten: TS 2

Spannungsversorgung:
2 x 1,5 V Mignon (LR06/AA)
Messintervall: 30 Sekunden
Stromaufnahme:
Normalbetrieb: ca. 40 μ A
Alarmmodus: 6 mA
Abmessungen (B x H x T):
70 x 100 x 24 mm
Luftfeuchtigkeit: 0 bis 99 %,
Auflösung: 1 %
Taupunkt: 0 bis 50 °C,
Auflösung: 0,1 °C

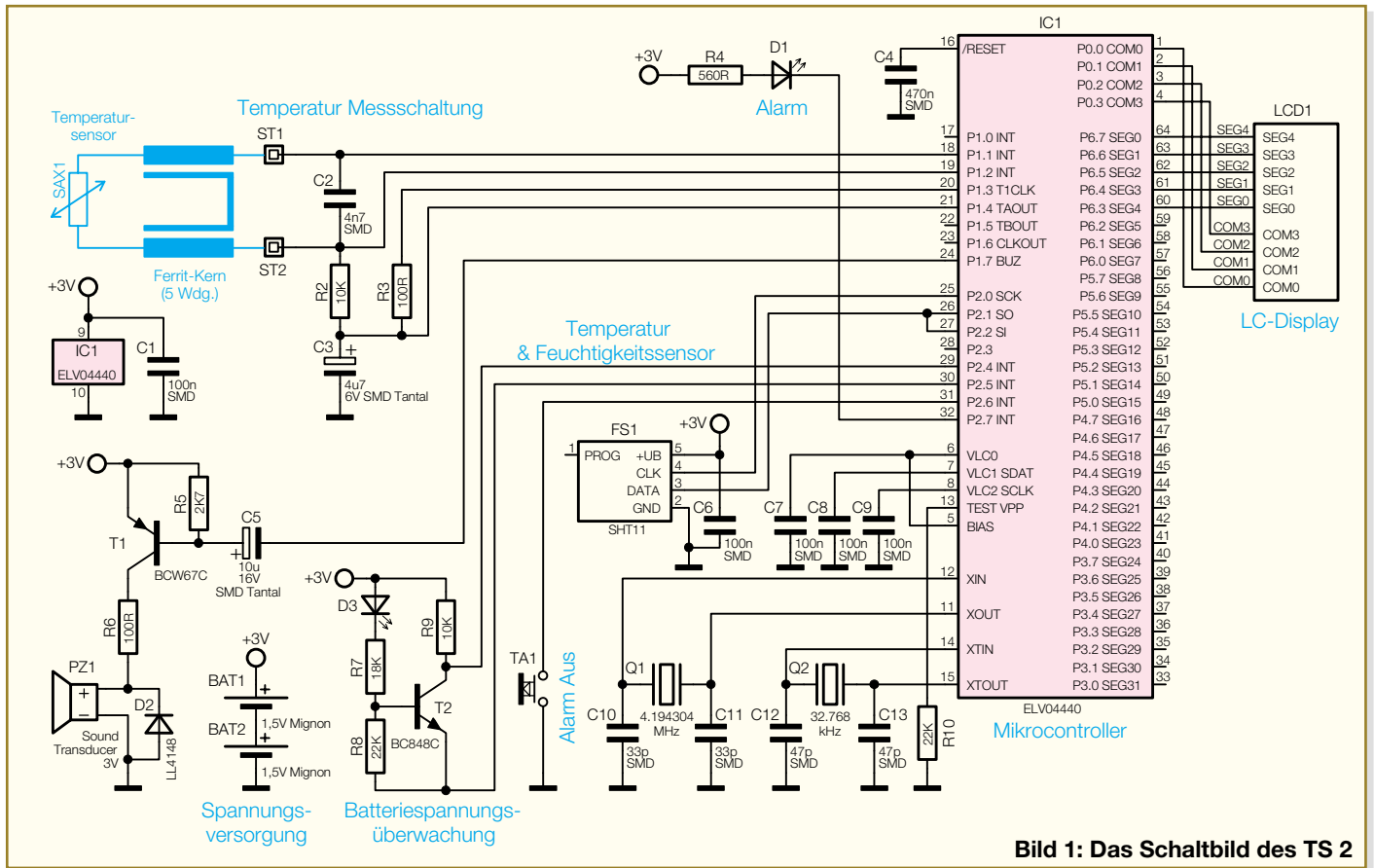


Bild 1: Das Schaltbild des TS 2

jetzt Nebel, Dunst oder Raureif entstehen.

In einem geschlossenen Raum kann es nun passieren, dass wir zunächst eine unkritische Situation haben, in der die relative Luftfeuchtigkeit kleiner als 100 % ist. Wenn sich allerdings ein Gegenstand in diesem Raum befindet, dessen Oberflächentemperatur die Taupunkt-Temperatur unterschreitet, kondensiert der Wasserdampf auf diesem Gegenstand. Einen solchen Effekt kann man sehr leicht nachbilden, indem man etwa einen sehr kalten Gegenstand in einen warmen Raum mit nicht zu niedriger Luftfeuchte holt. Die Luft um den Gegenstand kondensiert aufgrund des Temperaturgefälles sehr schnell – der Gegenstand ist beschlagen. Deshalb soll man elektronische Geräte, die der Postbote bringt, erst nach einer längeren Akklimatisierungszeit einschalten.

Die beschriebene Kondensationserscheinung führt in schlecht isolierten und/oder falsch beheizten/belüfteten Gebäuden oder Räumen zu feuchten Wänden und in der Folge zu Schimmelpilzbildung, die die Gesundheit beeinträchtigt.

Die Funktion des TS 2

Der Taupunktsensor ermittelt die aktuelle Raumtemperatur sowie die relative Luftfeuchtigkeit und berechnet daraus den sich ergebenden Taupunkt. Über einen externen Sensor wird die Temperatur an der Problemstelle ermittelt und mit der Tau-

punkttemperatur verglichen. Falls die Temperatur den Taupunkt erreicht, gibt der TS 2 ein akustisches und optisches Warnsignal aus. Dank dieser Warnung ist es nun möglich, das Auftreten von Kondenswasser, z. B. durch Lüften, zu vermeiden und in der Folge die Schimmelpilzbildung zu verhindern.

Berechnung des Taupunktes

Die Berechnung des Taupunktes wird nach folgender Näherungsformel aus [1] durchgeführt:

$$\begin{aligned} \text{LogEW} &= 0,66077 + \frac{7,5 \cdot T}{237,3 + T} \\ &\quad + \lg(RH) - 2 \\ \text{DP} &= \frac{(0,66077 - \text{LogEW}) \cdot 237,3}{\text{LogEW} - 8,16077} \end{aligned}$$

Für eine genauere Bestimmung des Taupunktes kann man unter anderem diese Formeln benutzen:

1. Sättigungsdampfdruck (Saturation Vapour Pressure). Der Sättigungsdampfdruck gibt den Druck beim Erreichen der Sättigungsfeuchte SAH an.

$$\begin{aligned} \text{SVP} &= \text{C1} \cdot e^{\frac{\text{C2} \cdot T}{\text{C3} + T}} \\ T &= \text{Temperatur in } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

	Für T >= 0	Für T < 0
C1	6,10780 hPa	6,10789 hPa
C2	17,09085	17,6
C3	234,175 °C	240,7 °C

2. Taupunkttemperatur (engl. Dewpoint-Temperature, DP)

$$\text{DP} = \frac{234,67 \cdot \lg \frac{\text{SVP} \cdot \text{RH}}{100} - 184,2}{8,233 - \lg \frac{\text{SVP} \cdot \text{RH}}{100}}$$

RH = Relative Feuchte in %

In Tabelle 1 werden die Ergebnisse bei der Taupunktformeln beispielhaft verglichen. Das Fazit aus diesem Vergleich: Die Näherungsformel ist im abgedeckten Temperaturbereich hinreichend genau, da die Temperaturmessungen ja selbst auch fehlerbehaftet sind und daher keine höhere Genauigkeit zulassen.

Schaltung

Durch den Einsatz eines Mikrocontrollers, der sowohl die Auswertung und Berechnung der Messergebnisse als auch die Ausgabe von Daten und Signalen vornimmt, gestaltet sich der Schaltungsaufwand relativ gering, wie in Abbildung 1 zu sehen ist.

Die Schaltung benötigt eine Versorgungsspannung von 3 V, die von zwei 1,5-V-Mignon-Batterien zur Verfügung gestellt wird. Um eine korrekte Funktion der Schaltung sicherzustellen, wird die Batteriespannung mit Hilfe von T 2 überwacht, indem der Mikrocontroller Pin P 2.5 nach Masse schaltet. Bei ausreichend hoher Versorgungsspannung ist die Kollektor-Emitter-Strecke des Transistors T 2 leitend, und der Controller erkennt an Pin P 2.4 einen Low-Pegel. Erkennt er einen High-Pegel, konnte der Transistor aufgrund zu geringer Batteriespannung nicht mehr durchschalten, und es wird ein entsprechendes Symbol im Display angezeigt. Aufgrund der Dimensionierung der Widerstände R 7, R 8 und der Diode D 3 kann der Transistor nicht mehr durchschalten, wenn die Batteriespannung einen Wert von ca. 2,5 V unterschreitet.

Die Messung der Temperatur über den externen Temperatursensor SAX 1 ist mit einer kleinen Messschaltung realisiert. Denn der Widerstand des Sensors wird nur indirekt für die Messwert-Bestimmung herangezogen, indem der Controller den Ladevorgang des Kondensators C 3 auswertet. Dies funktioniert wie folgt: Zuerst werden die Ports P 1.1 bis P 1.4 hochohmig geschaltet, dann C 3 entladen. Dazu zieht der Prozessor Port P 1.3 auf Masse, so dass sich der Elko über R 3 entladen kann. Danach wird P 1.3 wieder hochohmig. Jetzt setzt der Controller P 1.2 auf High-Pegel und C 3 kann sich über R 2 aufladen, bis an P 1.4 ein High-Pegel erkannt wird. Die dazu benötigte Zeit wird im Controller als Referenzwert gespeichert und C 3, wie oben beschrieben, wieder entladen. Als Nächstes wird P 1.1 auf „high“ gelegt und C 3 kann sich über den Sensor SAX 1 und R 2 aufladen. Die dazu benötigte Zeit wird ebenfalls gespeichert. Aus dem Verhältnis dieser beiden Zeiten kann der Mikrocontroller dann die aktuelle Temperatur berechnen. Diese Berechnungsmethode macht einen zusätzlichen externen A/D-Wandler überflüssig und ist somit eine kostengünstige Alternative.

Der Temperatur-Feuchte-Sensor FS1 besteht aus einem präzisen CMOS-Sensor, der sowohl Temperatur als auch die relative Luftfeuchtigkeit erfassen kann.

Der Sensor beherbergt einen 14-Bit-A/D-Wandler, eine serielle Schnittstelle, Speicher und die beiden eigentlichen Sensoren. Die beiden Sensoren sind be-

reits vom Hersteller ausgemessen und die Abgleichdaten im internen Speicher abgelegt. Damit kann sich der Sensor vor der Messung selbst kalibrieren, ein komplizierter Abgleich des Sensors vor der ersten Inbetriebnahme und auch später als Servicemaßnahme ist nicht notwendig. Dank dieser Eigenschaft und dem digitalen seriellen Ausgang besticht dieser digitale Feuchte- und Temperatur-Sensor durch exzellente Langzeitstabilität und einfache Anwendung. Weiterhin bietet der Sensor eine schnelle Ansprechzeit bei der Messung, so dass sich Temperatur- und Feuchteschwankungen schnell im Messergebnis widerspiegeln.

Das zweistellige Display der Schaltung kann der Mikrocontroller IC 1 dank integriertem LCD-Controller und LCD-Speicher direkt ansteuern. Wenn der Mikrocontroller eine Unterschreitung der Taupunkttemperatur erkennt, gibt er über Port P 1.7 ein 2-kHz-Rechtecksignal aus, das der Transistor T 1 verstärkt und der nachfolgende Sound-Transducer PZ 1 ausgibt. Der Elko C 5 entkoppelt dabei die Gleichspannungsanteile vom Pin P 1.7. Zusätzlich wird Pin P 2.7 auf Masse gelegt, und die LED D 1 leuchtet. Der Widerstand R 4 begrenzt die Stromaufnahme der LED. Durch einen Druck auf Taster T 1 kann der Alarm wieder abgestellt werden.

Nachbau

Die Platine ist bereits mit allen SMD-Bauteilen vorbestückt, es brauchen daher nur bedrahtete Bauteile verarbeitet zu werden, die wir anhand der Stückliste und des Bestückungsdruckes einlöten.

Zunächst sind die Batteriekontakte (+, - beachten), der Buzzer PZ 1, die Quarze Q 1 und Q 2 und die Leuchtdiode D 3 in die dazugehörigen Bohrungen von der Bestückungsseite aus zu stecken. Bei den LEDs ist auf die richtige Einbaulage bzw. Polung zu achten, der längere Anschluss kennzeichnet die Anode (+). Sie werden bündig mit der Platine angelötet. Auf der Lötseite sind die entsprechenden Anschlüsse anzulöten und die überstehenden Drahtenden mit einem Seitenschneider abzuschneiden. Die Bestückung aller weiteren Bauteile erfolgt auf der Lötseite. Die nun folgenden 4 Komponenten des Displays werden in folgender Reihenfolge montiert:

Das eigentliche Display wird, wie in Abbildung 2 gezeigt, in den Sichtrahmen

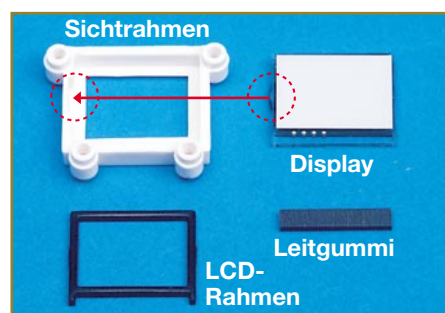


Bild 2: So wird das Display zur Bestückung vormontiert.

gelegt, dann der Streifen Leitgummi mittig in die Aussparung des Displays gesetzt und dieser mit dem zum Schluss einzulegenden LCD-Rahmen fixiert. Danach ist die so vormontierte Einheit in die vorgesehenen Löcher der Platine einzusetzen und von der Bestückungsseite aus mit den 4 mitgelieferten Schrauben zu befestigen. Nun fehlt nur noch der externe Temperatursensor SAX 1. Er wird über die Sensorleitung mit den Lötstiften ST 1 und ST 2 verbunden. Zuvor wird das Sensorleitungsende ca. 16 cm durch den Ferritkern gezogen und dann 5-mal herumgewickelt. Dies wirkt Störungen, die durch die Antennenwirkung der langen Messleitung entstehen können, entgegen und ermöglicht stabilere Messergebnisse.

Jetzt wird die Platine in die Gehäuse-Frontseite eingelegt und mit den beiliegenden Schrauben befestigt.

Die Messleitung des externen Sensors wird im Gehäuse von den Lötstiften aus nach oben und dann komplett links herum zwischen Platine und Gehäuse zur Durchlassöffnung verlegt. Der Ferritkern findet dann direkt oberhalb der Platine seinen Platz. Nun wird die Gehäuserückseite mit der Vorderseite verschraubt. Zuletzt sind die Batterien polrichtig einzulegen, und der Taupunktsensor TS 2 ist betriebsbereit.

Inbetriebnahme

Um die korrekte Arbeitsweise der Schaltung bzw. der Sensoren zu überprüfen, verfügt das Gerät über einen Testmodus, der alle gemessenen Werte darstellt. Diesen aktiviert man, indem der Taster T 1 während des Einlegens der Batterien gedrückt und danach weiter für ca. 3 Sekunden festgehalten wird. Jetzt erscheint die Versionsnummer, und der Taster kann losgelassen werden. Erfolgt die Anzeige der Versionsnummer nicht, ist der Vorgang zu wiederholen. Es erscheint nun die Anzeige „T1“ und dann die aktuelle (Raum-)Temperatur, die vom Feuchte-Temperatur-Sensor FS1 erfasst wird.

Im Testmodus kann durch wiederholtes Drücken der Taste die interne Temperatur (T1), die externe Temperatur (T2), die Luftfeuchtigkeit (HU) und die Taupunkttempe-

Tabelle 1: Vergleich zwischen den beiden Berechnungsmöglichkeiten

	T = 25 °C HU = 40 %	T = -15 °C HU = 25 %	T = 75 °C HU = 90 %
SVP	31,758 hPa	1,896 hPa	385,863 hPa
DP	10,5 °C	-30,416 °C	72,382 °C
Näherung: DP	10,469 °C	-30,55 °C	72,512 °C

ratur (dP) angezeigt sowie die Funktion des akustischen Alarmgebers und der Leuchtdiode geprüft werden. Nach dem Test der Alarmfunktion führt ein weiterer Druck auf die Taste wieder zur Anzeige „T1“. Der Testmodus kann nur durch kurzzeitiges Entfernen der Batterien verlassen werden.

Der TS 2 kann als mobiles Gerät oder an der Wand aufgehängt betrieben werden. Den externen Sensor befestigt man an der feuchten Wand oder einer anderen zu untersuchenden Stelle. Denn der Taupunktsensor ist überall dort einsetzbar, wo es zu starken Temperaturgefällen zwischen Umgebungstemperatur und Gegenständen kommen kann, z. B. in Scheunen, Abstellkammern, anderen schlecht isolierten Räumen, auf Baustellen usw.

Betrieb

Das Gerät schaltet sich mit dem Einlegen der Batterien automatisch ein und arbeitet dann im Dauerbetrieb.

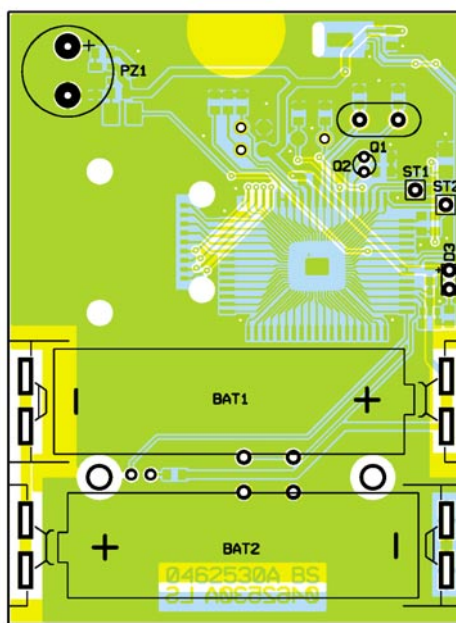
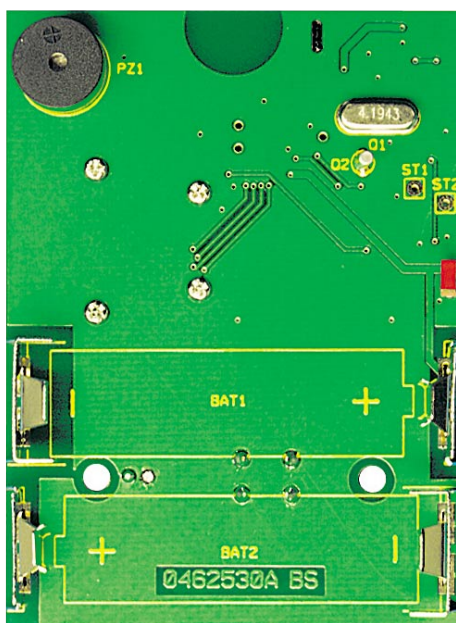
Das Display zeigt dabei die aktuelle relative Luftfeuchtigkeit des Raumes an und, falls die Batteriespannung unter ca. 2,5 V fällt, noch zusätzlich ein Batteriesymbol. Durch den Taster T 1 kann ein ausgelöster Alarm ausgeschaltet werden, daraufhin wird die Alarmfunktion für ca. 30 Min. blockiert. In dieser Zeit kann dann durchgelüftet und/oder die Heizung aufgedreht werden, um die Temperatur- und Feuchteverhältnisse zu verbessern. Falls die Bedingungen danach immer noch kritisch sind, wird erneut Alarm ausgelöst.

Falls Fehler während des Betriebs auftreten, erscheinen folgende Fehlermeldungen:

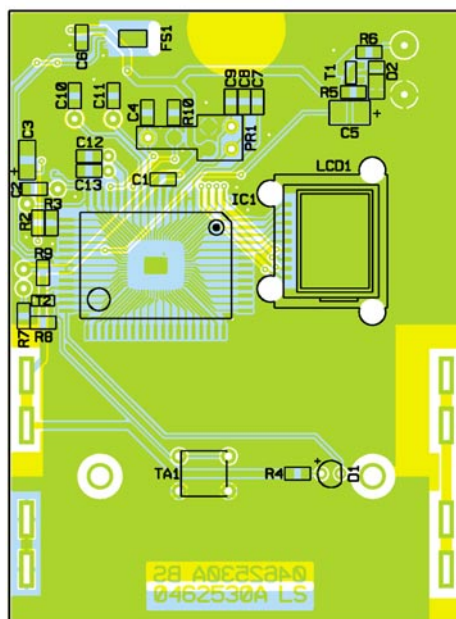
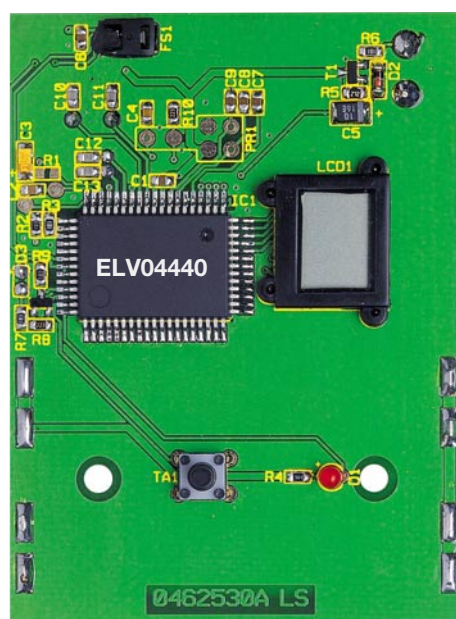
- E1: Fehler des internen Sensors
- E2: Fehler des externen Sensors
- HI: gemessene Temperatur oberhalb des Wertebereichs
- Lo: gemessene Temperatur unterhalb des Wertebereichs

Die mittlere Stromaufnahme des Taupunktsensors ist so gering, dass bei Versorgung durch hochwertige Alkaline-Batterien ein Dauerbetrieb über mehrere Jahre möglich ist. **ELV**

[1] Datenblatt des Feuchtigkeitsensors FS1: <http://www.sensirion.com>



Ansicht der fertig bestückten Platine des TS 2 mit zugehörigem Bestückungsplan, oben von der Bestückungsseite, unten von der Lötseite



Stückliste: Taupunktsensor TS 2

Widerstände:

100 Ω/SMD	R3, R6
560 Ω/SMD	R4
2,7 kΩ/SMD	R5
10 kΩ/SMD	R2, R9
18 kΩ/SMD	R7
22 kΩ/SMD	R8, R10

Kondensatoren:

33 pF/SMD	C10, C11
47 pF/SMD	C12, C13
4,7 nF/SMD	C2
100 nF/SMD	C1, C6-C9
470 nF/SMD	C4
4,7 µF/6 V/tantal/SMD	C3
10 µF/16 V/SMD	C5

Halbleiter:

ELV04440	IC1
BCW65C/SMD	T1
BC848C	T2
LL4148	D2
LED, 3 mm, Rot	D1
LED, Rechteck, rot	D3
LC-Display	LCD1

Sonstiges:

- Quarz, 4,194304 MHz, HC49U4 .. Q1
- Quarz, 32,768 kHz
- Temperatur-Feuchte-Sensor
- FS1
- Mini-Drucktaster, 1 x ein
- TA1
- Sound-Transducer, 3 V, print
- PZ1
- Temperatursensor
- ST1, ST2
- 4 Mignon-Batteriekontakte
- 1 Ferrit-Ringkern, ø10 (6) x 4 mm
- 1 Schutzkappe für Temperatur-Feuchte-Sensor
- 1 Leitgummi
- 1 LCD-Rahmen
- 1 Sichtrahmen, Schwarz
- 4 Kunststoffschrauben, 1,8 x 4 mm
- 2 Kunststoffschrauben, 2,3 x 5 mm
- 4 Kunststoffschrauben, 2,3 x 8 mm
- 1 Design-Sensorgehäuse, Weiß