

1. Einleitung

Meßgeräte für thermische Energie (z. B. Wärmezähler) bestehen üblicherweise aus 3 Teilgeräten:

- dem hydraulischen Geber (Wasserzähler)
- dem Temperaturfühlerpaar
- dem elektronischen Rechenwerk.

Mit dem hydraulischen Geber wird das Volumen, d. h. die Menge des durch die Heizung geflossenen Wärmeträgermediums (Wasser) bestimmt.

Das Temperaturfühlerpaar ermittelt die Auskühlung des Wassers beim Durchströmen des Heizungssystems (Temperaturdifferenz zwischen dem Vorlauf und dem Rücklauf).

Im elektronischen Wärmezähler-Rechenwerk wird aus den Signalen des hydraulischen Gebers - üblicherweise Impulse vom Relais des Wasserzählers- und den Meßwerten des Temperaturfühlerpaares - meist Widerstandswerte von Platinwiderständen- die thermische Energie berechnet und auf dem LC-Display des Rechenwerks angezeigt.

Wärmezähler unterliegen wegen ihrer großen wirtschaftlichen Bedeutung, z. B. bei der Heizkostenabrechnung, der Zulassungs- und Eichpflicht ¹⁾ und müssen daher umfassend geprüft werden.

2. Paarung und Prüfung von Temperaturfühlern

Um die Temperaturdifferenzen zwischen der Vor- und Rücklauftemperatur des Wärmeträgermediums in allen Meßbereichen mit der gesetzlich vorgeschriebenen Genauigkeit messen zu können, müssen die Temperatur-Widerstands-Kennlinien der Temperaturfühler für die Vor- und Rücklauftemperatur hinreichend gut übereinstimmen. Da die erforderliche Übereinstimmung von Standard-Platinwiderständen im allgemeinen nicht erreicht wird, müssen für den Einsatz im Wärmezähler geeignete Fühlerpaare aus einer Menge von Standardfühlern ausgewählt werden (Fühlerpaarung). Die Übereinstimmung der Kennlinien der Temperaturfühler ist auch später im Rahmen der eichtechnischen Prüfung der Wärmezähler regelmäßig zu prüfen.

Für diese Paarung und Prüfung werden die Widerstandswerte der Temperaturfühler bei verschiedenen Temperaturen gemessen und aus den Meßwerten die individuellen Temperatur-Widerstands-Kennlinien berechnet und verglichen. Zur Realisierung der Temperaturen werden die Fühler in entsprechend thermomatisierte Bäder getaucht.

2.1. Widerstands-Meßeinrichtung

Zur Messung der Widerstandswerte der Temperaturfühler wurden Widerstandsmeßeinrichtungen verschiedener Größe auf der Basis der Prozeßperipherie PP2 ²⁾ entwickelt. Sie bestehen aus einem 19''-Steckkartengerät, das mit einer Analogeingabeplatine PP2-AE71 und -je nach

Ausbau- mit einer oder mehreren Multiplexerplatinen PP2-MU2 bestückt ist. Die Funktionen und der Aufbau dieser Platinen sind in Referenz 2 ausführlich beschrieben.

Die wichtigsten Funktionsmerkmale sind:

- Zur Messung eines Widerstandes werden die Spannungsabfälle über diesem Widerstand und zusätzlich über zwei Referenzwiderständen -jeweils beim Fließen eines Konstantstromes- gemessen und durch lineare Interpolation ausgewertet.
- Der Konstantstrom ist gepulst (Pulsdauer gleich Meßdauer etwa 150 ms) und beträgt 1 mA (auf Pt 100 bezogen).
- Die Strom- und Spannungsmultiplexung wird mittels elektronischer Schalter realisiert.
- Durch Nullpunktsunterdrückung wird die Auflösung im interessierenden Meßbereich erhöht.
- Zur Eliminierung der parasitären Thermospannungen der elektronischen Schalter werden die Spannungsabfälle über den Widerständen auch beim Strom 0 gemessen und rechnerisch berücksichtigt (Nullstromkorrektur).
- Die Analog-Digital-Wandlung erfolgt mit einer Auflösung von 18 Bit und einer Konversionszeit von 150 ms.
- Der Meßbereich beträgt auf die Temperatur bezogen 0°C bis 200°C und die Meßunsicherheit, ebenfalls auf die Temperatur bezogen, ca. $\pm 3/1000K$.

2.1.1. Standardversion

Die **Standardversion** der Widerstandsmeßeinrichtung (eine Multiplexerplatine) besitzt 16 Meßeingänge in 4-Drahttechnik, von denen die Meßeingänge 14 und 15 mit den Referenzwiderständen und der Eingang 13 mit dem Fühler zur Messung der Badtemperatur (siehe oben) beschaltet sind. An die Meßeingänge 0 bis 12 können die Prüflinge eines Fühlertyps angeschlossen und gemessen werden. Die Referenzwiderstände sind fühlertypspezifisch und müssen entsprechend der jeweils zu messenden Fühler (Pt 100, Pt 500 oder Pt 1000) ausgewählt werden.

2.1.2. Erweiterte Version

Zur gleichzeitigen Untersuchung größerer Anzahlen von Temperaturfühlern kann die Widerstandsmeßeinrichtung beliebig erweitert werden. Eine **erweiterte Version** der Widerstandsmeßeinrichtung (4 Multiplexerplatinen) besitzt z. B. 64 Meßeingänge, von denen die Meßeingänge 58 bis 63 permanent mit den Referenzwiderständen für die Pt 100-, Pt 500- bzw. Pt 1000-Messung und die Eingänge 55 bis 57 mit den Badthermometern beschaltet sind. An die übrigen Meßeingänge können frei wählbar Pt 100-, Pt 500- oder Pt 1000-Widerstände (auch gemischt) angeschlossen und gemessen werden. Der jeweils erforderliche Widerstandsmeßbereich wird dabei programmgesteuert durch die Einstellung des Meßstromes und die Wahl der entsprechenden Referenzwiderstände realisiert.

2.2. Software

Für die Paarung und Prüfung der Temperaturfühler werden folgende Programme und Dateien benötigt:

- MESSUNG.BAS (Messung der Temperaturfühler)
- PAARUNG.BAS (Auswahl geeigneter Temperaturfühlerpaare)
- PAARTEST.BAS (Prüfung bereits ausgewählter Fühlerpaare)

- REF.DAT (Referenzwiderstände)
- TESTTEMP.DAT (Testwerte für Vor- und Rücklauftemperatur)
- WID.DAT (Meßwerte der Temperaturfühler)
- NUMMERN.DAT (Bezeichnung der Fühler)

Um Programmänderungen zu vermeiden, werden alle veränderlichen Daten in Dateien gespeichert.

2.2.1. MESSUNG.BAS

MESSUNG.BAS für die Standardversion der Widerstandsmeßeinrichtung

Bis zu 13 an die Widerstandsmeßeinrichtung angeschlossene Prüflinge werden in einem Durchlauf nacheinander in 3 Bädern mit unterschiedlicher Temperatur (z. B. 50°C, 80°C, 110°C) getaucht und gemessen. Die Meßwerte werden online über den Bildschirm, in einem vollständigen Meßprotokoll über den Blattschreiber und an die Datei WID.DAT ausgegeben. Dieser Vorgang kann noch dreimal wiederholt werden, so daß dann die Meßdaten von maximal 52 Fühlern in WID.DAT gespeichert sind.

Zur Erhöhung der Meßgenauigkeit werden die Temperaturfühler relativ zu 2 Referenzwiderständen (untere und obere Referenz) gemessen. Die Widerstandswerte dieser Referenzwiderstände sind in der Datei REF.DAT hinterlegt, auf die MESSUNG.BAS zugreift. Die Werte in REF.DAT sollten von Zeit zu Zeit im Rahmen einer Kalibrierung (Neuvermessung der Referenzwiderstände) überprüft und ggf. aktualisiert werden.

Das Programm ist selbsterklärend im Dialogmodus zu betreiben. Folgende die Messung spezifizierende Parameter werden über die Tastatur eingegeben:

- Fühlertyp (PT 100, PT 500 oder PT 1000)
- Fühleranzahl (bis zu 52)
- Fühlerbezeichnungen (falls keine automatische Nummerierung gewünscht wird)
- Modus für Badtemperaturen (Badtemperaturen eingeben oder messen)
- Sollwerte der Badtemperaturen
- zulässige Toleranzen der Badtemperaturen

2.2.2. NUMMERN.DAT

Die eingegebenen Fühlerbezeichnungen werden in der Datei NUMMERN.DAT gespeichert.

Im Modus „Badtemperaturen messen“ wird durch automatisches, ständig wiederholendes Messen der Badtemperatur jeweils das Erreichen einer vorgegebenen Badtemperatur festgestellt und dann die Messung der Prüflinge einer Charge durchgeführt. Nach dieser Messung wird die Badtemperatur zur Kontrolle ein weiteres mal gemessen. Bei Nichteinhaltung des Sollwertes erfolgt eine Fehlermeldung und eine Wiederholung der

Meßprozedur. Auf Wunsch kann das Programm so geändert werden, daß mit jedem Prüfling die aktuelle Badtemperatur gemessen und in der Datei WID.DAT zur späteren Auswertung mit abgespeichert wird. Dadurch kann die Anforderung an die Konstanz der Badtemperaturen auf Kosten einer längeren Meßzeit reduziert werden.

Zur Messung der Badtemperaturen sollte ein Widerstandsthermometer gleicher Bauart wie die Prüflinge benutzt werden. Dadurch lassen sich Meßunsicherheiten durch unterschiedliche Zeitkonstanten der Prüflinge und des Badthermometers vermeiden.

2.2.3. MESSUNG.BAS

MESSUNG.BAS für die erweiterte Version der Widerstandsmeßeinrichtung

An die erweiterte Version des Widerstandsmeßgerätes können gleichzeitig bis zu 48 Prüflinge angeschlossen werden, die platinenorientiert in 3 Gruppen aufgeteilt sind. Jede Gruppe kann bis zu 16 Prüflinge eines Fühlertyps (Pt 100, Pt 500 oder Pt 1000) enthalten. Der Fühlertyp der Gruppe ist beliebig wählbar. Die Fühler werden gruppenweise in 3 verschiedenen Positionen in 3 Bäder unterschiedlicher Temperatur getaucht und gemessen. In der Position 1 befinden sich die Fühler der Gruppen 1, 2, 3 in den Bädern 1, 2, 3. In den Positionen 2 und 3 befinden sie sich in den Bädern 2, 3, 1 bzw. 3, 1, 2 (zyklische Vertauschung).

Entsprechend diesem erweiterten Meßprogramm sind die oben genannten einzugebenden Meßparameter um die Anzahl der Fühler und den Fühlertyp für jede Gruppe zu ergänzen. Auch für die Abspeicherung der Meßergebnisse ergeben sich Änderungen. Die gemessenen Widerstandswerte für Pt 100-, Pt 500- oder Pt 1000-Fühler werden in separaten Fühlertypspezifischen Widerstandsdateien mit den Bezeichnungen WID100.DAT, WID500.DAT bzw. WID1000.DAT gespeichert. Dabei werden die zu speichernden Werte an die bereits gespeicherten Werte angehängt, wenn schon eine Widerstandsdatei des entsprechenden Fühlertyps existiert. Andernfalls wird eine solche Datei automatisch eingerichtet und die Speicherung der Meßdaten durchgeführt. Durch die entsprechende Auswahl der zu messenden Fühler und entsprechend viele Meßvorgänge können auf diese Weise beliebig lange Widerstandsdateien für alle Fühlertypen erzeugt werden.

Zur Bearbeitung durch die Programme PAARUN.BAS oder PAARTEST.BAS sind die Dateien jeweils in WID.DAT umzubenennen, da die Meßwerte nur aus einer Datei dieses Namens von den Programmen gelesen werden (siehe unten).

2.2.4. PAARUNG.BAS

Das Programm ermittelt aus den Temperaturfühlern, deren Meßwerte in der Datei WID.DAT abgelegt sind, Paare, mit denen die Vor- und Rücklauftemperatur unter Einhaltung der Eichfehlergrenzen gemessen werden können. Dazu wird jeder Fühler mit jedem anderen Fühler verglichen, bis ein geeignetes Fühlerpaar gefunden wird. Das gefundene Fühlerpaar wird ausgesondert und aus dem verbleibenden Rest von Fühlern das nächste geeignete Fühlerpaar ermittelt. Die ausgewählten Fühlerpaare und die Qualität der Übereinstimmung der Fühler werden online über den Bildschirm und als vollständiges Protokoll über den Blattschreiber ausgegeben. Das Programm ist für alle Fühlertypen gleichermaßen anzuwenden. Der Fühlertyp

sowie auch die Anzahl der zu paarenden Fühler werden dem Kopf der Widerstandsdatei WID.DAT entnommen.

Zum Vergleich zweier Fühler werden für verschiedene Testwerte der Vor- und Rücklaufemperatur die Temperaturdifferenzen berechnet, die sich bei der Verwendung dieser Fühler als Meßfühler ergeben würden. Diese berechneten und die tatsächlichen Temperaturdifferenzen (Differenz der Testwerte) werden dann auf ihre Übereinstimmung im Rahmen der Eichfehlergrenzen geprüft.

Die Temperaturdifferenzen werden wie folgt berechnet: Für die Testwerte der Vor- und Rücklaufemperatur werden die aus den individuellen Temperatur-Widerstands-Kennlinien der Fühler folgenden Widerstandswerte bestimmt. Diese Widerstandswerte werden dann nach DIN IEC 751 ³⁾ (entsprechend der Auswertung im Wärmezählerrechenwerk) wieder in Temperaturwerte zurück gerechnet und daraus die Differenz gebildet.

Die für diese Auswertung erforderlichen individuellen Temperatur-Widerstands-Kennlinien werden für alle Fühler einzeln bestimmt. Als Näherungsfunktion wird dazu, wie in DIN-IEC 751, ein Polynom 2. Grades benutzt. Die Koeffizienten werden aus den in der Datei WID.DAT abgelegten Widerstandsmeßwerten (Werte bei 3 verschiedenen Badtemperaturen) mit Hilfe der Cramerschen Regel errechnet.

Die für die Prüfung gewünschten Testwerte der Vor- und Rücklaufemperatur werden in der Datei TESTTEMP.DAT abgelegt, die von PAARUNG.BAS gelesen wird. Die Anordnung der Werte ist: Die beiden ersten Werte stellen die erste Vor- und die erste Rücklaufemperatur dar, die beiden nächsten Werte die zweite Vor- und die zweite Rücklaufemperatur u.s.w.. Das letzte Temperaturpaar ist durch zwei nachfolgende Nullen gekennzeichnet. Die Vor- und Rücklaufemperaturen sind jeweils durch ein Leerzeichen und die Wertepaare durch CR und LF getrennt.

Die Eichfehlergrenzen sind als Konstante im Programm PAARUNG.BAS fest installiert (siehe Subroutine TEST). Eine Änderung der Eichfehlergrenzen erfordert daher eine entsprechende Programmänderung.

2.2.5. PAARTEST.BAS

Das Programm dient der Prüfung oder Nachvermessung von Fühlerpaaren. Es vergleicht, wie PAARUNG.DAT, anhand der Werte in der Widerstandsdatei WID.DAT Fühler 1 (als Vorlaufühler) mit Fühler 2 (als Rücklaufühler), Fühler 3 (als Vorlaufühler) mit Fühler 4 (als Rücklaufühler), usw.. Die Vergleichsergebnisse (Qualität der Übereinstimmung, Einhaltung der Eichfehlergrenzen) werden online über den Bildschirm und als vollständiges Protokoll über den Blattschreiber ausgegeben. Bei der Erstellung der Widerstandsdatei bzw. der Messung der Widerstände ist die Reihenfolge der Anschaltung der Fühler an das Widerstandsmeßgerät zu beachten. Entsprechend der Auswertung sind der Vorlauf- und der Rücklaufühler des ersten zu prüfenden Paares an die Meßeingänge 1 und 2, die des zweiten Paares an die Eingänge 3 und 4, usw. anzuschließen.

3. Prüfung von Wärmezählerrechenwerken

Zur eichtechnischen Behandlung von Wärmezähler-Rechenwerken werden beliebig wählbare Vorlauf- und Rücklauftemperaturen sowie Durchflußmengen simuliert und dem Rechenwerk angeboten. Die aufgrund dieser Werte vom Rechenwerk ermittelten Wärmemengen werden dann mit denen in der Prüfeinrichtung errechneten wahren Werten verglichen. Das Ergebnis wird online über den Bildschirm und als vollständiges Protokoll (mit allen Kenn- und Prüfdaten) über den Blattschreiber ausgegeben.

3.1. Prüfeinrichtung für Wärmezählerrechenwerke

Die ebenfalls aus Moduln der Prozeßperipherie PP2 aufgebaute Prüfeinrichtung enthält 4 Relaisplatinen PP2-R2 zur Simulation der Vor- und Rücklauf-Temperatur, eine Zählerplatine PP2-Z1 zum Zählen der Energieimpulse (die Anzahl der ausgegebenen Energieimpulse entspricht dem Meßergebnis) sowie eine Analogeingabeplatine PP2-AE71 und eine Multiplexerplatine PP2-MU2 zur Widerstandsmessung. Die Funktionen und der Aufbau dieser Platinen sind in Referenz 2 ausführlich beschrieben.

Zur Simulation der Vor- und Rücklauf-Temperatur werden Widerstände, deren Widerstandswerte nach DIN-IEC 751 den zu simulierenden Temperaturen entsprechen, erzeugt und anstelle der Temperaturfühler an die entsprechenden Eingangsklemmen des Rechenwerks gelegt.

Dabei darf die Unsicherheit der Differenz der Widerstandswerte im ungünstigsten Fall nur maximal $\pm 0,006 \Omega$ oder auf die Temperatur bezogen $\pm 0,015 \text{ K}$ betragen. Dieser geringe zulässige Fehler ergibt sich aus den bei der Zulassungsprüfung von Wärmezähler-Rechenwerken zugrundegelegten Eichfehlergrenzen. Beim kleinsten zu erfassenden Wert der Temperaturdifferenz von 3 K darf die zulässige Meßabweichung nur $\Delta F/F = \pm 1,5\%$ bzw. $\pm 0,045 \text{ K}$ betragen. Für die Unsicherheit der Differenz der Widerstandswerte des simulierten Fühlerpaares verbleiben $\pm 0,015 \text{ K}$ (kleiner gleich $1/3$ der Eichfehlergrenze).

Zur Realisierung dieser hohen Genauigkeitsanforderungen werden die Widerstände nach einem neuen 2-stufigen Verfahren zur Widerstandseinstellung⁴⁾ erzeugt. Der Vor- und Rücklaufwiderstand werden zunächst jeweils durch die Reihenschaltung eines Festwiderstand (z. B. 100Ω bei Pt 100) und Widerständen mit binär gewichteten Widerstandswerten, die mittels Relaiskontakten (Relaisplatinen 1 und 2) ein- oder ausgeschaltet werden können, zusammengesetzt. Die Widerstandswerte dieser zusammengesetzten Widerstände werden dann sehr genau gemessen und der Fehler der Differenz (Abweichung des Istwertes vom Sollwert) festgestellt. Zur Kompensation dieses Fehlers wird ein Korrekturwiderstand parallel zu einem der Festwiderstände geschaltet. Der Korrekturwiderstand wird entsprechend des zu kompensierenden Fehlers aus 8 parallel geschalteten Widerständen mit binär gewichteten Leitwerten, die mittels der Relaisplatine 3 ein- oder ausgeschaltet werden können, gebildet. Eine weitere Relaisplatine (Relaisplatine 4) dient der Umschaltung der simulierten Fühlerwiderstände zwischen der Widerstandsmeßeinrichtung und dem Wärmezählerrechenwerk. Die Relaisplatinen 1 bis 3 enthalten neben den Schaltrelais auch die

Module zur Prüfung von Wärmezählern und Paarung von Temperaturfühlern

Widerstände für 2 Fühlerarten (z. B. Pt 100 und Pt 500). Die komplette Schaltung ist in Bild 1 dargestellt.

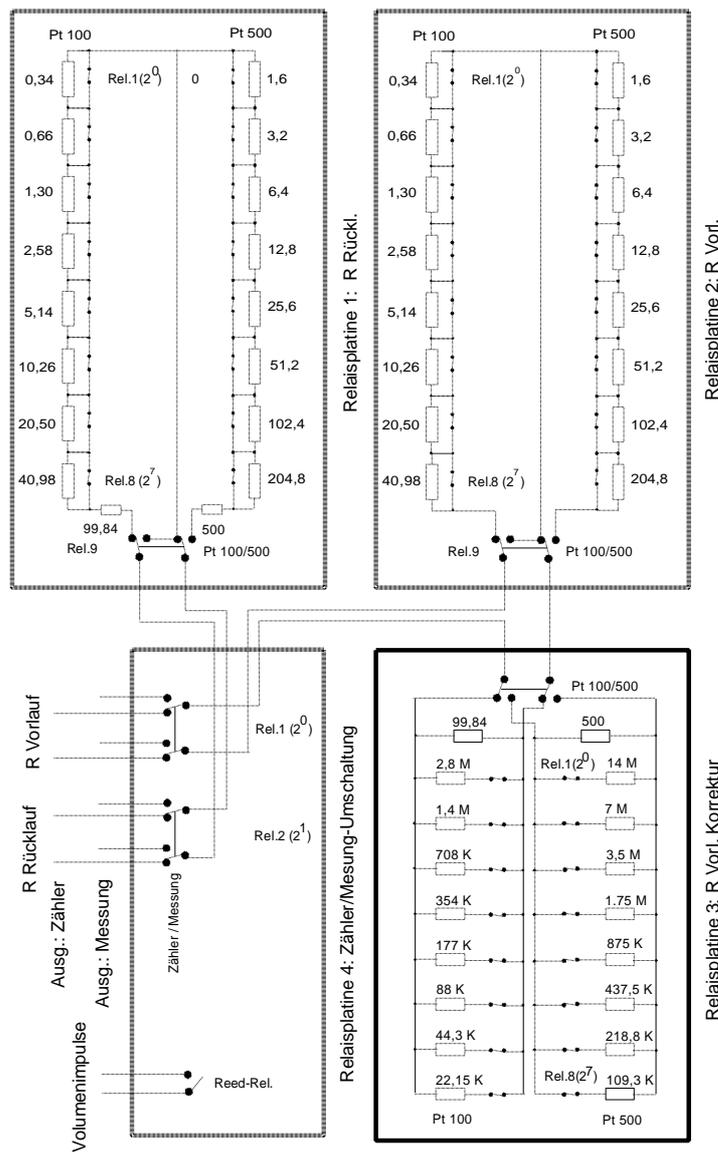


Bild 1: Schaltung zur Realisierung des Vor- und Rücklaufwiderstandes für die Temperatursimulation

Zur Messung der simulierten Temperaturfühlern besitzt die Prüfeinrichtung auch die in der Standard- Widerstandsmeßeinrichtung (siehe 2.1) enthaltenen Platinen. Daher kann bei entsprechender Nutzung aller Meßeingänge die Meßeinrichtung sowohl für die Rechenwerksprüfung als auch für die Fühlerpaarung und -prüfung verwendet werden. Das Blockschaltbild und der Verdrahtungsplan für diese Verwendung sind im Bild 2 dargestellt.

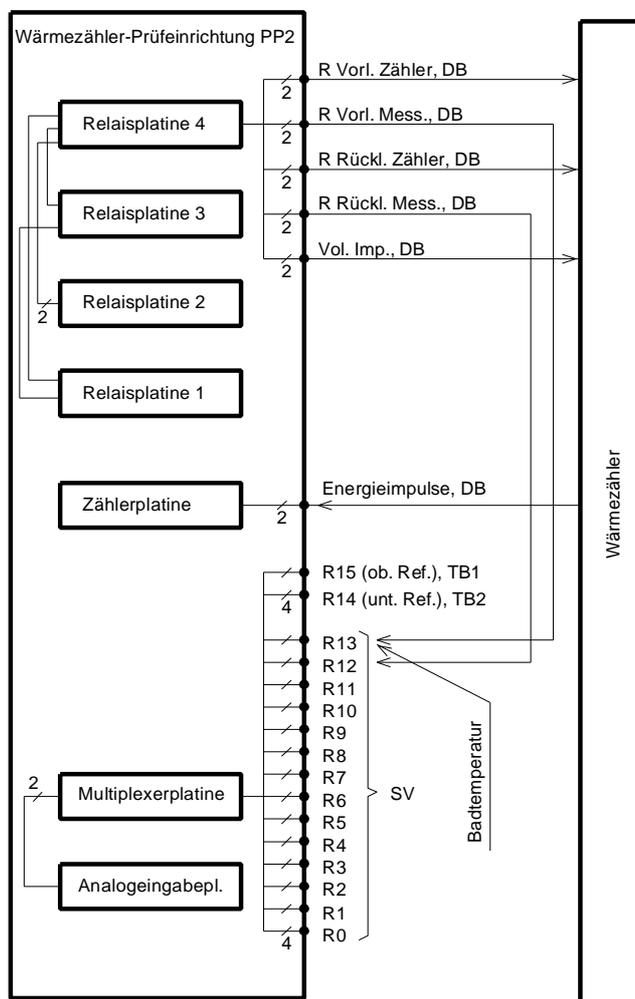


Bild 2: Prinzipschaltung der Wärmezähler-Prüfeinrichtung PP2 (SV: Schraubverbinder, TB: Tuchelbuchse, DB: Sub-D-Buchse)

3.2. Software

Für die Rechenwerksprüfung werden folgende Programme und Dateien benötigt:

- RECHENW.BAS (Rechenwerksprüfung)
- VORGABE.DAT (Kenndaten des zu prüfenden Rechenwerkes)
- Rechenwerksspezifische Testdatei wie z. B.: B100TEST.DAT (Pollux B-100), MEGATEST.DAT (Allmess Megactr1) oder 430_10.DAT (Zenner 430)
- REF.DAT (Referenzwiderstände des Widerstandsmeßgerätes- siehe 2.2)

3.2.1. RECHENW.BAS

Das Programm steuert die Prüfung der Wärmezählerrechenwerke. Es ist selbsterklärend im Dialogmodus zu betreiben. Die erforderlichen Eingaben erfolgen über die Tastatur und die vorgefertigten Dateien VORGABE.DAT, REF.DAT und eine Testdatei (z.B. B100TEST.DAT). Die zur Prüfung erforderlichen Messungen werden vollautomatisch

durchgeführt. Das Meßergebnis wird online über den Bildschirm und als vollständiges Protokoll (mit allen Kenn- und Prüfdaten) über den Blattschreiber ausgegeben.

Die über die Tastatur einzugebenden Daten sind:

- Hersteller
- Prüfer
- Rechenwerksnummer

Folgende Informationen werden durch die Dateien übergeben:

3.2.2. VORGABE.DAT

VORGABE.DAT enthält beliebig viele Datensätze mit folgenden Daten:

- Zulassungsnummer
- Rechenwerk-Typ (z.B. Pollux B-100)
- Impulswertigkeit
- Temperaturfühler (z.B. Pt 100)
- Meßbereich
- Gebereinbau: Rücklauf oder Vorlauf
- Name der anzuwendenden Testdatei (z.B. B100TEST.DAT)

Die Datensätze der Vorgabedatei können menuegesteuert gelesen, durchgeblättert und ausgewählt werden.

3.2.3. Testdatei

Die Testdatei enthält beliebig viele Datensätze mit folgenden den Test spezifizierenden Daten:

- Vorlauftemperatur
- Rücklauftemperatur
- Wartezeit zwischen der Ausgabe des Volumenimpulses und dem Empfang der Energieimpulse in s
- Anzahl der Volumenimpulse
- Rechenwerkskonstante

Die in der Testdatei enthaltenen Datensätze werden hintereinander automatisch abgearbeitet. Nach dem letzten Datensatz wird die Testphase beendet und die Auswertung und Protokollierung eingeleitet.

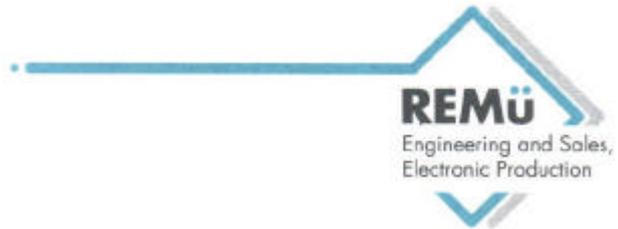
3.2.4. REF.DAT

REF.DAT enthält die Widerstandswerte der Referenzwiderstände für die Pt 100- und die Pt 500-Messung (siehe 2.2).

4. Literatur

- 1) Gesetz über Meß- und Eichwesen vom 1.3.1985, Bundesgesetzblatt Teil 1 1985, Nr.11
- 2) Schuster, H.-J., Prozeßperipherie PP2, PTB-Bericht in Vorbereitung

Module zur Prüfung von Wärmezählern und Paarung von Temperaturfühlern



-
- 3) DIN-IEC 751 Industrielle Platin-Widerstandsthermometer, Ausgabe 10/85; Beuth-Verlag, Berlin
 - 4) Einrichtung zur Temperatursimulation bei der Prüfung von Wärmezählern mit NOWA, Veröffentlichung in Vorbereitung.