



## **CVS Kalibriersystem**

### **CVS-KAL**

#### **Kurzanleitung**

Systemkonfiguration  
Gerätebeschreibung

Stand: Datum 12.01.2006

## Inhalt

1. Dokumentation und bestimmungsgemäße Verwendung
2. EG - Konformitätserklärung
3. Technische Daten
4. Geräteaufbau
5. Grundzüge der Bedienung
6. Messbereiche und Programmumschaltung
7. Verwendete Sensoren und Flow-Elemente
8. Konfiguration Steuerelektronik S320
9. Elektrischer Schaltplan
10. Messunsicherheitsbudget

## **1. Dokumentation und bestimmungsgemäße Verwendung**

<b>Teil</b>	<b>Bezeichnung</b>	<b>Inhalt</b>
<b>A</b>	CVS-KAL_man_d	Kurzanleitung zum CVS-KAL CVS Kalibriersystem: Systemkonfiguration und Gerätebeschreibung.
<b>B</b>	LMF_man_d	Betriebsanleitung zum LAMINARMASTER Flow-System LMF:Referenzdokumentation des LMF, Parametersystematik, Grundlagen der Messverfahren.
<b>C</b>	Verweise und Namen siehe CVS-KAL_man_d Abschnitt Sensoren und Flow-Elemente in dieser Kurzanleitung	Dokumentation und Betriebsanleitung zu den verwendeten Einzel-Sensoren und Flow-Elementen
<b>D</b>	CVS_appendix_d	Gerätespezifische-Dokumentation zum CVS-KAL Sensor- und Flow-Element-Daten, Kalibrierprotokolle und Prüfzeugnisse

### **Bestimmungsgemäße Verwendung:**

Das CVS Kalibriersystem CVS-KAL gehört zur Gerätefamilie der Reihe *LaminaMasterFlow* LMF - Messsysteme.

Die Geräte aus der Serie **LMF** sind ausschließlich zum Messen und Regeln von Luft-Volumen- und Massenströmen bzw. der zugehörigen Sensorwerte bestimmt. Beim Einsatz als Meßgerät in komplexen Maschinen, einem Maschinenverbund, einer Fertigungsstraße oder –Anlage, dürfen die Signalausgänge ausschließlich zur Information einer übergeordneten Steuerung (z.B. SPS) verwendet werden. Beim Einsatz als selbständiges Labormeißgerät mit Steuerungsfunktion sind die Regeln und Hinweise für Not-Aus-Funktionen und für die Spannungswiederkehr nach Stromausfall zu beachten. Grundlegende Sicherheitshinweise finden Sie im Referenz-Handbuch LMF.

Eine andere oder darüber hinaus gehende Benutzung gilt als nicht bestimmungsgemäß. Für hieraus entstehende Schäden haftet die Firma TetraTec Instruments nicht.

Zur bestimmungsgemäßen Verwendung gehört auch

- das Beachten aller Hinweise aus der Betriebsanleitung (Handbuch und Anhang)
- die Einhaltung der Inspektions- und Wartungsarbeiten.

## 2. EG - Konformitätserklärung

Hiermit erklären wir, dass die von uns ausgelieferten Geräte in ihrer Konzipierung und Bauart sowie in der von uns in Verkehr gebrachten Ausführung den nachstehenden EG-Richtlinien entsprechen.

Diese Erklärung verliert ihre Gültigkeit, wenn das ausgelieferte Gerät ohne unsere Zustimmung verändert wird.

Zutreffende EG-Richtlinien:

EG-Richtlinie Maschinen (98/37/EG)\*  
EG-Richtlinie Niederspannung (73/23/EWG)\*  
EG-Richtlinie Elektromagnetische Verträglichkeit (89/336/EWG)

Angewandte harmonisierte Normen, insbesondere:


DIN EN ISO 12100-1, 12100-2 Grundbegriffe\*  
DIN EN 294, DIN EN 811 Sicherheitsabstände\*  
DIN EN 983 Fluidtechnische Anlagen, Pneumatik\*  
DIN EN 61010-1 (VDE 0411-1) Sicherheitsbestimmungen\*  
DIN EN 55011 (VDE 0875-11) Funkstörungen  
DIN EN 61000-6-2 (VDE 0839-6-2) Elektromagn. Verträglichkeit

Angewandte nationale Vorschriften oder technische Spezifikationen, insbesondere:

BGV A1 Grundsätze der Prävention\*  
BGV A2 Elektrische Anlagen und Betriebsmittel\*  
BGV B6 Gase\*  
DruckbehV Druckbehälterverordnung\*

\* soweit in der jeweiligen Ausführung des Geräts relevant.

Ort, Datum: Steinenbronn, den 28.10.2005

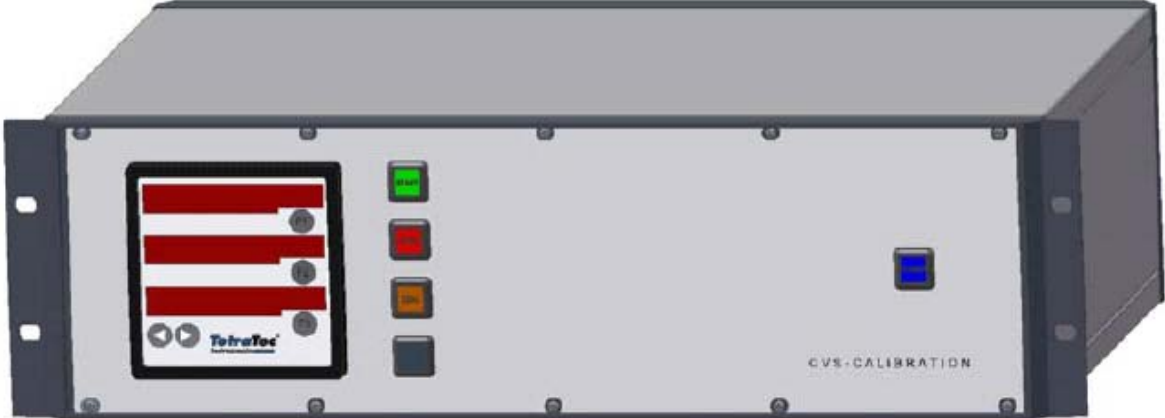
Unterzeichner:   
W. Höhn, Geschäftsführung

### 3. Technische Daten

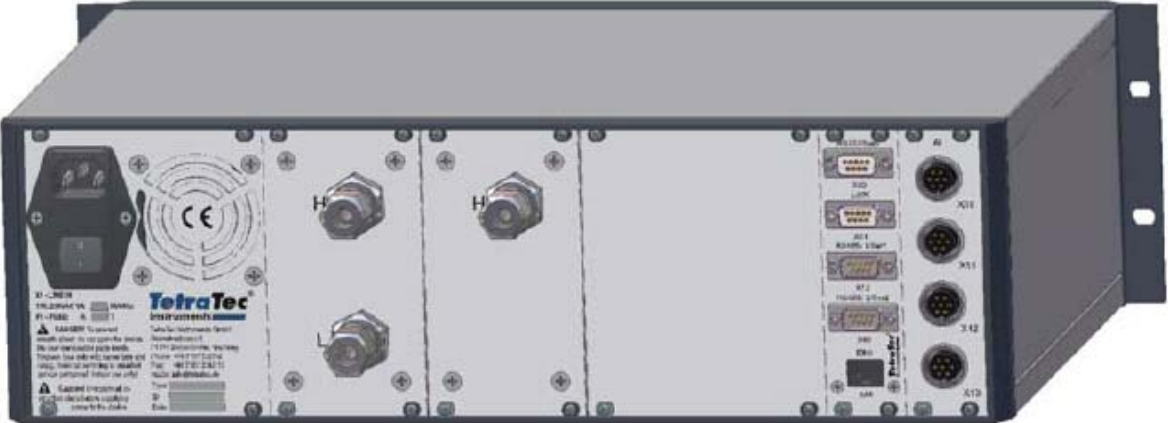
Stromversorgung:	230V~, 50/60Hz
Gasart:	Luft: staubfrei (5 $\mu$ m gefiltert), ölfrei, nicht kondensierend
Messbereich der Messstrecke:	Normvolumenstrom:*     Siehe Doku Teil D Betriebsvolumenstrom:     Siehe Doku Teil D
Umgebungsbedingungen für den Betrieb:	Temperatur:     0°C...40°C Druck:     Atmosphärendruck Feuchte:     0...90%, nicht kondensierend
Betriebsbedingungen der Messstrecke:	Absolutdruck:     0,8-1,2 bar Differenzdruck:     0 - 50 mbar Temperatur:     10...40°C
Überlastfestigkeit:	Druck:     2 bar abs. Temperatur:     -10 ... 60°C
*Normbedingungen:	Druck     1013.25 mbar Temperatur     0°C Feuchte     0%

4. Geräteaufbau

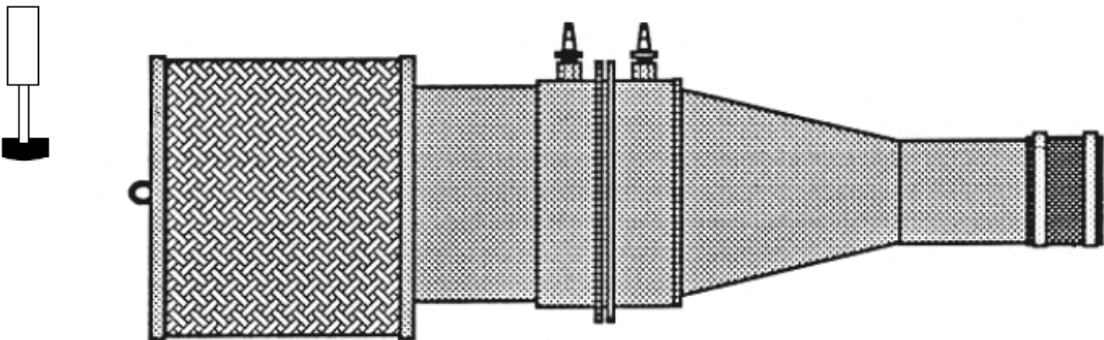
Vorderansicht



Rückansicht



Flowelement



## 5. Grundzüge der Bedienung

### Einschalten



- Taste „Power“ drücken.  
Die Taste „Power“ leuchtet.  
Das LMF führt einen Selbsttest durch.

### Messung durchführen

Es gibt zwei Messmodi. Nach dem Einschalten befindet sich das Gerät im kontinuierlichen Mess-Modus. In diesem Modus werden die aktuellen Messwerte laufend angezeigt. Daneben gibt es die mittelwertbildende Messung. Diese gliedert sich in zwei Phasen, die mit den Tasten „Start“ und „Stop“ gesteuert werden. In der ersten Phase werden Daten aufgenommen und in einen Puffer geschrieben, in der zweiten Phase werden die gemittelten Ergebnisse angezeigt.



- Taste „Start“ drücken.  
Startet eine mittelwertbildende Messung. Diese läuft über eine (in Parameter Px701) festgelegte Zeit oder bis die Taste „Stop“ gedrückt wird.  
Anschließend zeigt das Gerät die Mittelwerte an.
- Um in den Ergebnissen zu blättern, wiederholt Taste „F1“ drücken.  
Das Display wird bei jedem Tastendruck weiter geschaltet. Auf das letzte Display folgt wieder das erste (Endlosschleife).
- Taste „Stop“ drücken.
  1. Während einer mittelwertbildenden Messung: Stoppt die mittelwertbildende Messung vorzeitig. Das Gerät zeigt die Mittelwerte an.
  2. Wenn die Ergebnisse einer mittelwertbildenden Messung angezeigt werden, kehrt das Gerät in den kontinuierlichen Mess-Modus zurück.

### **Hinweis:**

Die Ergebnisse sind nur dann aussagekräftig, wenn regelmäßig die hinreichende Dichtheit des Systems sichergestellt wird und regelmäßig ein Nullabgleich der Relativ- und Differenzdrucksensoren durchgeführt wird. Siehe hierzu auch die folgenden Anweisungen.

### **Nullpunkt der Drucksensoren einstellen**

Der Nullpunkt von Differenzdrucksensoren und Relativdrucksensoren verändert sich im Laufe der Zeit. Insbesondere nach großen Druckschwankungen ist mit einem geringen Offset zu rechnen.

Die Nullung betrifft alle Eingänge für analoge oder serielle Sensoren, die mit den Parametern S2x32 und S3x32 als nullbar gekennzeichnet sind. (Wert 0: nicht nullbar, Wert 1: nullbar, Wert 2: nullbar, jedoch Fehlermeldung, wenn Abweichung größer 5%)

#### **Hinweis:**

Es steht in der Verantwortung des Bedieners dafür zu sorgen, dass tatsächlich ein ausgeglichener Druckzustand herrscht. Wird die Nullung bei von null verschiedenen Drücken durchgeführt, sind anschließende Fehlmessungen die Folge!



- Taste „Zero“ drücken, bis sie leuchtet.  
Wenn die Leuchte ausgeht, ist die Nullung beendet.

Sollen auch Sensoren genullt werden, die über die Taste „Zero“ nicht genullt werden (z. B. Relativdrucksensoren), so ist dies im Test-Menü möglich, sofern sie dort angezeigt werden (siehe LMF-Handbuch). Achten Sie dabei auf den erforderlichen Druckausgleich mit der Umgebung. Absolutdrucksensoren, Temperatursensoren und Feuchtesensoren dürfen und können nicht genullt werden.

### **Ausschalten**



- Um das Gerät auszuschalten, Taste „Power“ drücken.

## 6. Messbereiche und Programmumschaltung

Das Gerät kann je nach Firmware bis zu 3 Messkreise gleichzeitig bedienen.  
Die Messkreise sind von 0 bis 2 durchnummeriert.

Den Messkreisen können Konfigurationen zugewiesen werden, die in den 10 verfügbaren Programmen hinterlegt sind. Die Programme sind von 0 bis 9 nummeriert.

Im folgenden werden spezielle Voreinstellungen für dieses Gerät beschrieben.

### Zuordnung der Programme zu den Messkreisen

#### Anzahl der verfügbaren Messkreise: 1

Die Programme sind wie folgt dem Messkreis zugeordnet und konfiguriert / belegt:

Messkreis-Nummer	Programm-Nummer	Konfiguration / Belegung
0	0	Belegung siehe Gerätespezifische-Dokumentation CVS-KAL_appendix_d
0	1	Belegung siehe Gerätespezifische-Dokumentation CVS-KAL_appendix_d
0	2	Belegung siehe Gerätespezifische-Dokumentation CVS-KAL_appendix_d
0	3	Belegung siehe Gerätespezifische-Dokumentation CVS-KAL_appendix_d
0	4	Belegung siehe Gerätespezifische-Dokumentation CVS-KAL_appendix_d
0	5	Belegung siehe Gerätespezifische-Dokumentation CVS-KAL_appendix_d
0	6	Belegung siehe Gerätespezifische-Dokumentation CVS-KAL_appendix_d
0	7	Belegung siehe Gerätespezifische-Dokumentation CVS-KAL_appendix_d
0	8	Belegung siehe Gerätespezifische-Dokumentation CVS-KAL_appendix_d
0	9	Belegung siehe Gerätespezifische-Dokumentation CVS-KAL_appendix_d

### Umschaltung der Programme:

Die Umschaltung der Programme erfolgt über die Front-Tastatur wie folgt:

- Halten der Funktionstaste F2 für 3 Sekunden
- Das Messkreis- und Programmmenü wird eingeblendet:  
Obere Zeile: Maximal mögliche Programm-Nummer für Messkreis  
Mittlere Zeile: Aktive Programm- und Messkreis-Nummer  
Untere Zeile: Minimal mögliche Programm-Nummer für Messkreis
- Bei Bedarf mit F1 Taste in höheren Messkreis schalten
- Mit „rechter Pfeil“-Taste Programm-Nummer bei Bedarf erhöhen
- Mit „linker Pfeil“-Taste Programm-Nummer bei Bedarf erniedrigen
- Halten der F2-Taste für 3 Sekunden speichert die Programmänderung
- Halten der F1 und F3-Taste für 3 Sekunden verlässt das Menü ohne Programmänderung. Das Gleiche bewirkt das Drücken der Stop-Taste.

## 7. Verwendete Sensoren und Flow-Elemente

### Sensoren:

<b>Typ:</b>	<b>Differenzdruck-Sensor</b>	<b>Anschluss-Art:</b>	
Artikel-Nr.:	1500-DN0020		
Messbereich:	0..50 mbar		
Signal:	RS485	Sensordatensatz-Nr.:	0
Anzeige-Name:	Pdiff	Steckerbezeichnung.:	RS485-Bus
Gerätedokumentation:	1500_man_d		

<b>Typ:</b>	<b>Absolutdruck-Sensor</b>	<b>Anschluss-Art:</b>	
Artikel-Nr.:	1500-AI0900		
Messbereich:	0...1200 mbar		
Signal:	RS485	Sensordatensatz-Nr.:	1
Anzeige-Name:	Pabs	Steckerbezeichnung.:	RS485-Bus
Gerätedokumentation:	1500_man_d		

<b>Typ:</b>	<b>Temperatur-Sensor</b>	<b>Anschluss-Art:</b>	
Artikel-Nr.:	WIT-PT-11-2-100-G	Anschluß S320 (Slot):	0
Messbereich:	10...75°C	Anschlußport (Port):	0
Signal:	Pt100	Sensordatensatz-Nr.:	2
Anzeige-Name:	Temp	Steckerbezeichnung.:	X10
Gerätedokumentation:	WIT-PT-11_man_d		

<b>Typ:</b>	<b>Feuchte-Sensor</b>	<b>Anschluss-Art:</b>	
Artikel-Nr.:	HUM-50U-MS	Anschluß S320 (Slot):	0
Messbereich:	0...100%	Anschlußport (Port):	1
Signal:	0...1V	Sensordatensatz-Nr.:	3
Anzeige-Name:	Hum	Steckerbezeichnung.:	X11
Gerätedokumentation:	HUM_man_d		

### Flow Elemente

Beispiel eines Standard Flow-Elements:

<b>Typ:</b>	<b>Laminar Flow Element (LFE)</b>	<b>Anschluss-Art:</b>	
Artikel-Nr.:	50MC02-06-F	Anschluß Pdiff:	¼" NPT
Messbereich:	0...28300L/min	Anschluß Durchfluß:	6"
Pdiff:	0...20mbar	Flow-Datensatz- Nr.:	0
Gerätedokumentation:	50M_operation_man_d		

### Verfügbare Flow-Elemente und Programmzuordnung:

siehe Gerätespezifische-Dokumentation CVS-KAL\_appendix\_d

## 8. Konfiguration Steuerelektronik S320

<p><b>Allgemeine Beschreibung:</b></p> <p><b>Versorgung:</b>  <input checked="" type="checkbox"/> 110 - 230VAC 50/60Hz  <input type="checkbox"/> 24V DC  <input type="checkbox"/> 12V DC</p> <p><b>Gehäuseausführung:</b>  <input checked="" type="checkbox"/> 19" 280mm NT <input checked="" type="checkbox"/> Tisch  <input type="checkbox"/> 19" 380mm NT <input type="checkbox"/> Tisch  <input type="checkbox"/> IP54 Umgehäuse  <input type="checkbox"/> IP54 Kompakt  <input type="checkbox"/> S320 OEM, Stecker kodiert  <input type="checkbox"/> Sondergehäuse:              84TE/3HE/280mm tief</p> <p><b>Steckeroptionen:</b>  <input type="checkbox"/> RS 232 / Link Anschl. vorn  <input type="checkbox"/> RS485/1- rücks. Verbindg.  <input type="checkbox"/> RS485/2 - rücks. Verbindg.  <input type="checkbox"/> SPS-Verbindung  <input type="checkbox"/> Sondersteckverbinder  <input checked="" type="checkbox"/> Kabellänge : 2,5 m</p>	<p><b>CONTROLLER S320:</b>              S/No: s. Appendix  <input type="checkbox"/> 512kB RAM  <input checked="" type="checkbox"/> 2048kB RAM</p>	<p><b>SLOT 2:</b>              Typ:              Port 0:              Versorgung:              Bereich:              Skalierung:              Port 1:              Versorgung:              Bereich:              Skalierung:</p>
<p><b>Software: Flow</b>              Version: V5.0              OS-Version S320a501              Dokumentation deutsch</p> <p><b>Standardauswertungen:</b>  <input checked="" type="checkbox"/> LFE-Laminar  <input type="checkbox"/> LFE-Universell  <input type="checkbox"/> ACCUTUBE  <input type="checkbox"/> Blenden  <input type="checkbox"/> Gaszähler  <input type="checkbox"/> Überkritische Düsen  <input type="checkbox"/> Massenstrom Eingang</p> <p><b>Optionen:</b>  <input checked="" type="checkbox"/> eine Meßstrecke  <input type="checkbox"/> zwei Meßstrecken  <input type="checkbox"/> drei Meßstrecken  <input type="checkbox"/> Dichtheitsprüfung  <input type="checkbox"/> Prüfdrucküberwachung  <input type="checkbox"/> Druckregelung  <input type="checkbox"/> Durchflußregelung  <input type="checkbox"/> SPS-Ablauf</p> <p><b>Sonderversion:</b>              s. Abschnitt 6.</p>	<p><b>SLOT 0:</b>              Typ: 100              Port 0: Temp0              Versorgung: 1mA              Bereich: 0...75°C              Skalierung: PT100              Port 1: Hum0              Versorgung: 24V              Bereich: 0...1V              Skalierung: 0...100%</p>	<p><b>SLOT 3:</b>              Typ:              Port 0:              Versorgung:              Bereich:              Skalierung:              Port 1:              Versorgung:              Bereich:              Skalierung:</p>
	<p><b>SLOT 1:</b>              Typ:              Port 0:              Versorgung:              Bereich:              Skalierung:              Port 1:              Versorgung:              Bereich:              Skalierung:</p>	<p><b>SLOT 4:</b>              Typ:              Port 0:              Versorgung:              Bereich:              Skalierung:              Port 1:              Versorgung:              Bereich:              Skalierung:</p>
	<p><b>Besonderheiten:</b>              s. Abschnitt „Optionen“</p>	
	<p><b>Integrierte Digitale Eingänge genutzt</b>              Ja <input checked="" type="checkbox"/>              Nein <input type="checkbox"/></p> <p><b>Integrierte Digitale Ausgänge genutzt</b> Ja <input checked="" type="checkbox"/>              Nein <input type="checkbox"/></p> <p>Belegung integrierte Digitalsignale siehe Abschnitt 0.</p> <p><b>Digitale Erweiterungsmodule</b>              Ja <input type="checkbox"/>              Nein <input checked="" type="checkbox"/></p> <p>Wenn Ja:</p>	

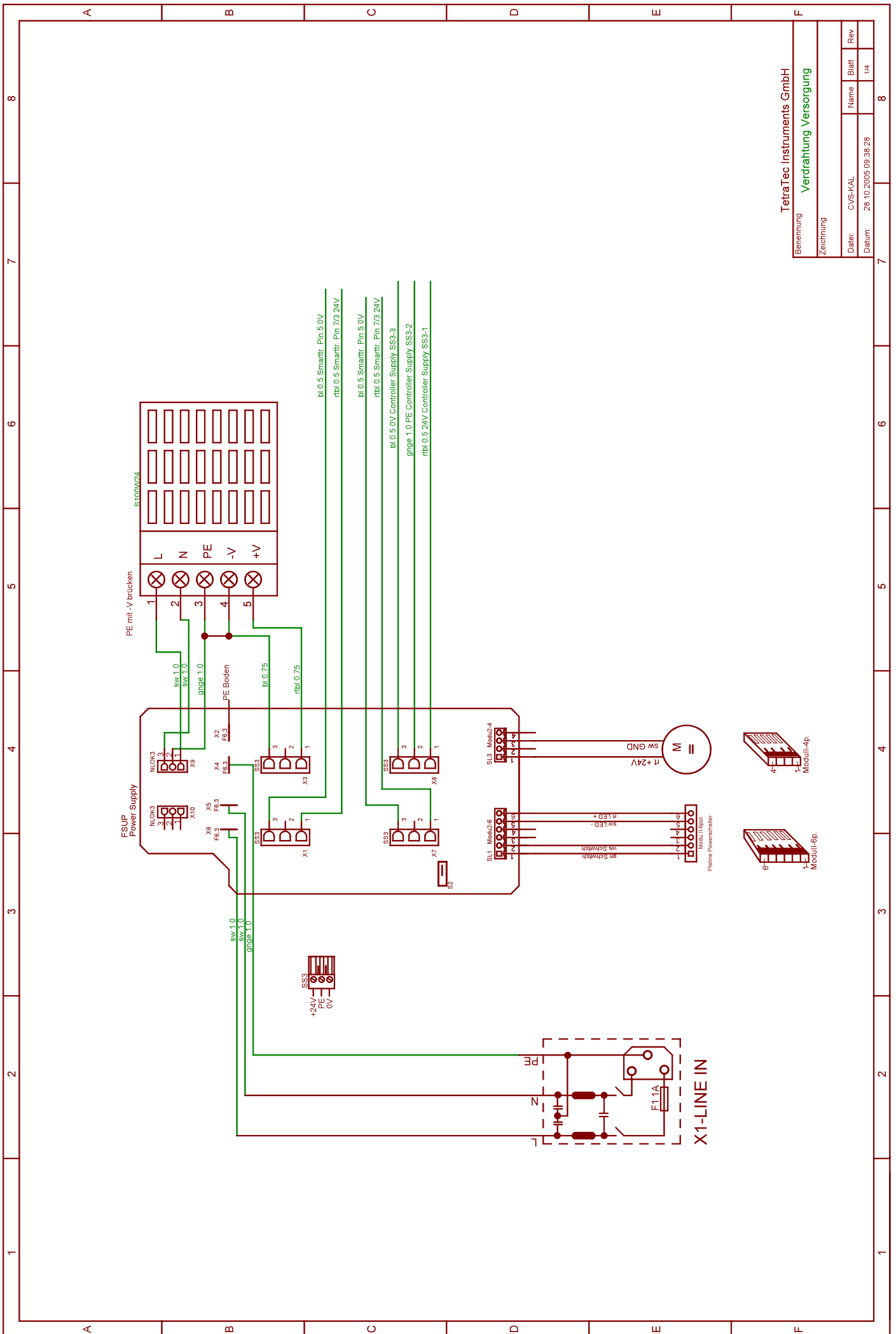
## Integrierte Digitale Signale, Tastenbelegung

### Digitale Eingänge

Name	Funktion	Bemerkung
DI0	Start	Taster 0, Beschriftung "Start"
DI1	Stop	Taster 1, Beschriftung "Stop"
DI2	Nullung Pdif	Taster 2, Beschriftung "Zero"
DI3		
DI4		
DI5		
DI6		
DI7		

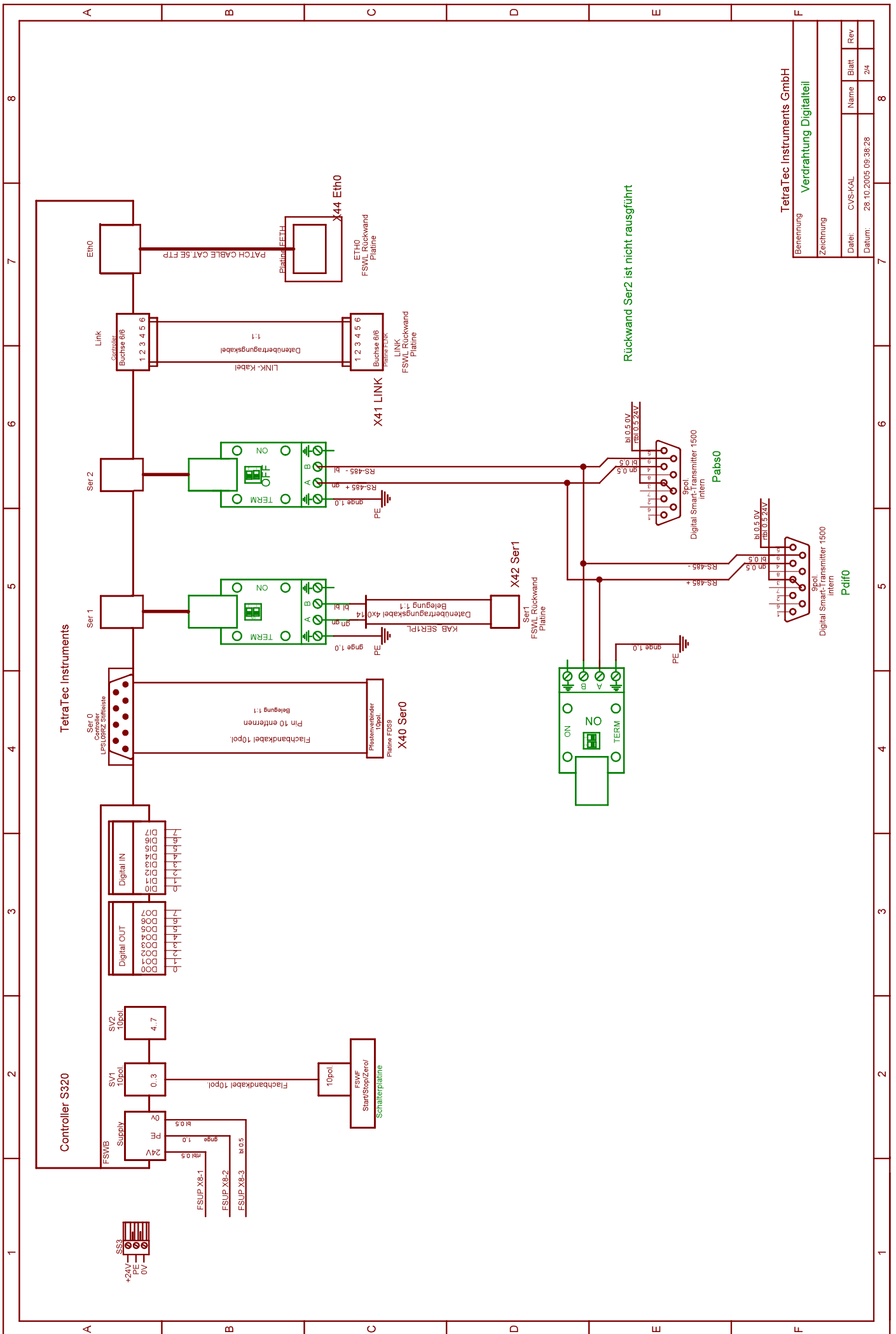
### Digitale Ausgänge

Name	Funktion	Bemerkung
DO0	Start	LED Taster 0, Beschriftung "Start"
DO1	Stop	LED Taster 1, Beschriftung "Stop"
DO2	Nullen	LED Taster 2, Beschriftung "Zero"
DO3		
DO4		
DO5		
DO6		
DO7		



TetraTec Instruments GmbH  
 Benennung Verdrahtung Versorgung  
 Zeichnung

Datei:	Name	Blatt	Rev
CVS-KAL		1/4	
Datum:	28.10.2005 09:38:28		



TetraTec Instruments GmbH

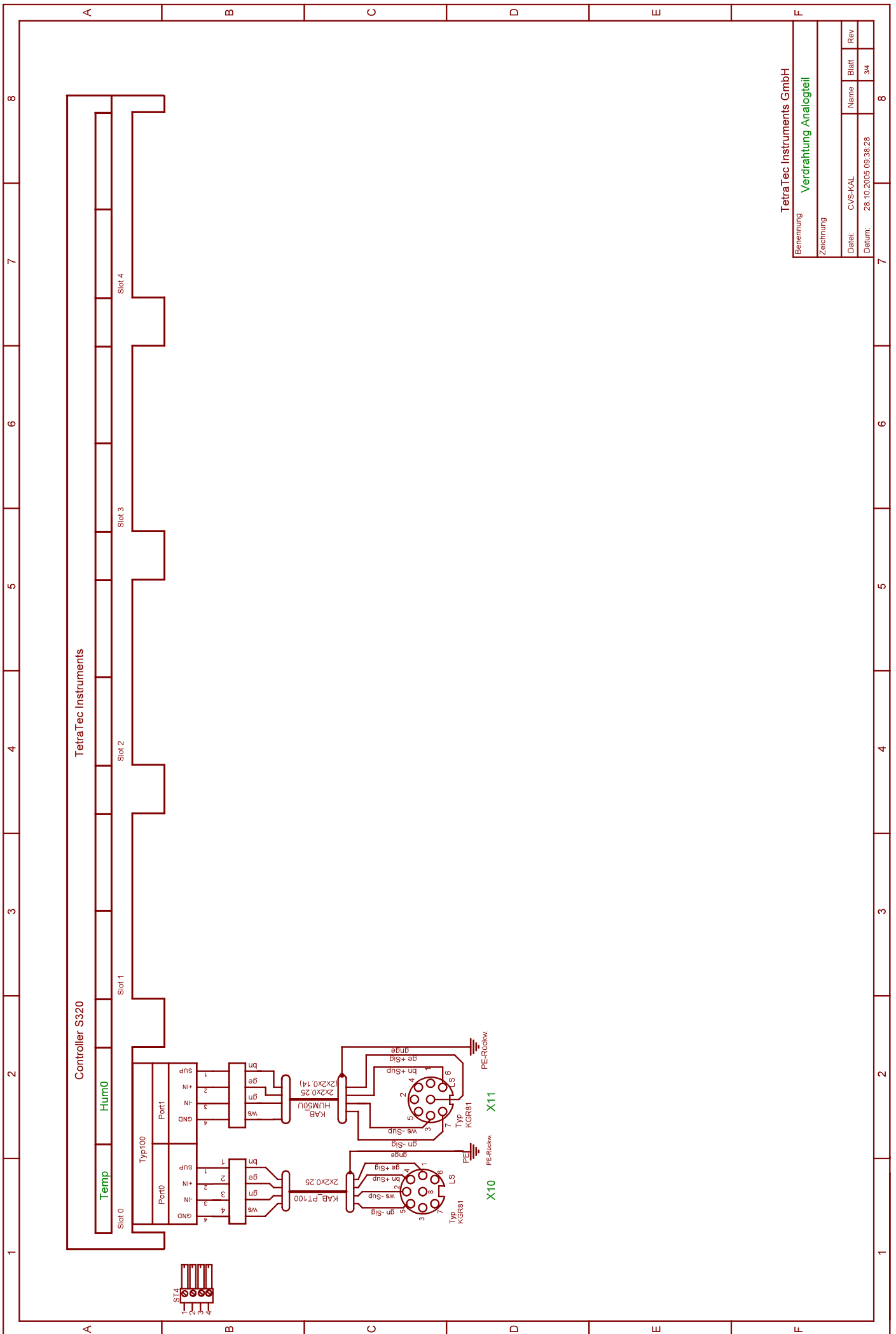
Benennung Verdrahtung Digitalteil

Zerchnung

Datei: CVS-KAL

Datum: 28.10.2005 09:38:28

Blatt	Name	Rev
2/4		

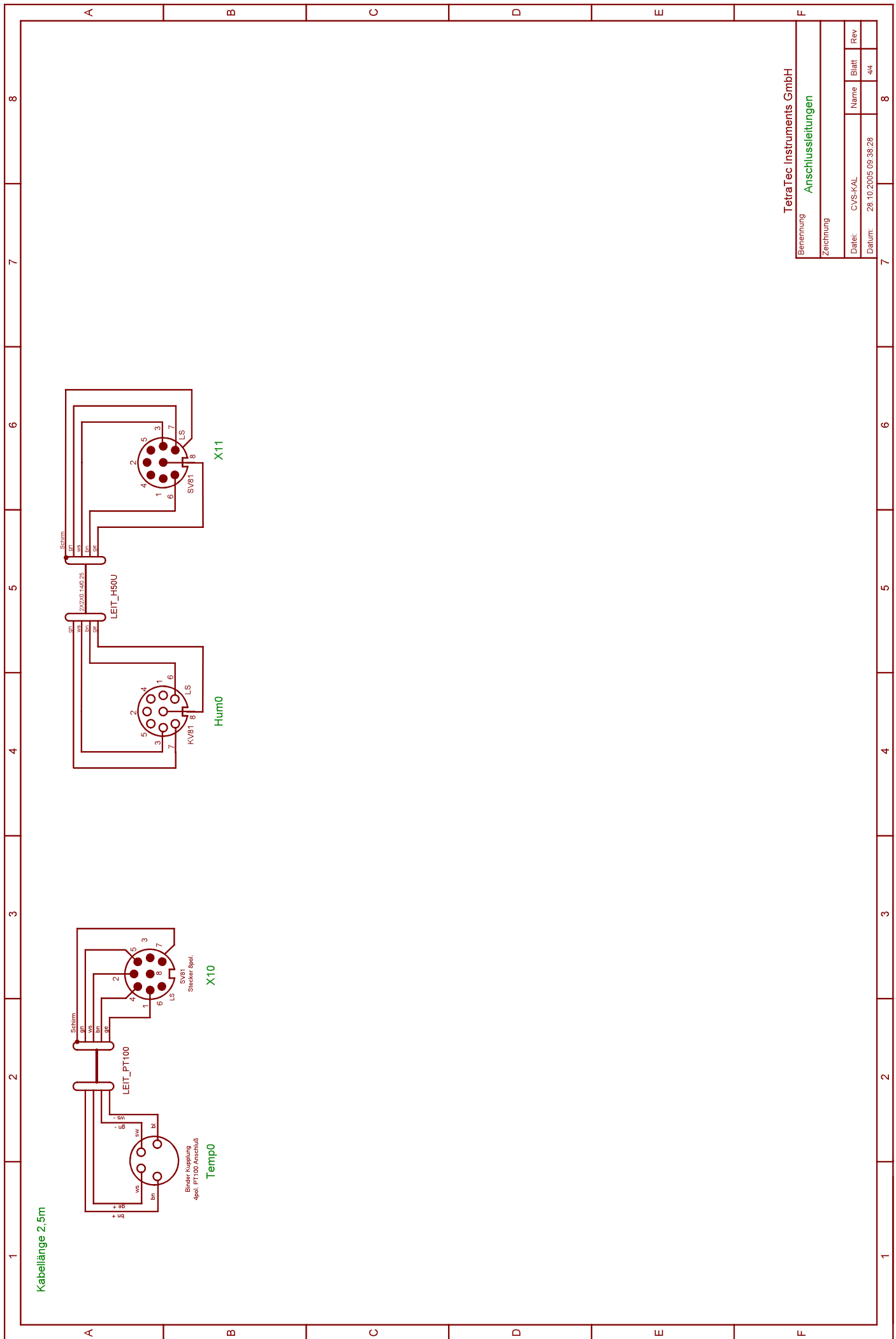


TetraTec Instruments GmbH

Verdrahtung Analogteil

Zerlegung

Benennung	Name	Blatt	Rev
Datei:	CVS-KAL		
Datum:	28.10.2005 09:38:28	3/4	



TetraTec Instruments GmbH

Benennung		Anschlussleitungen	
Zeichnung			
Datei:	CVS-KAL	Name	Blatt
Datum:	28.10.2005 09:38:28		Rev
			4/4

## 10. Messunsicherheitsbudget

### Grundlegende Betrachtungen $Q_v$ , $Q_m$ , $\rho(p, T, x_v)$

Die Bestimmung des aktuellen Volumenstroms  $Q_v$  am Prüfling erfolgt generell durch die Messung des aktuellen Volumenstroms am Vergleichsnormal (Master) und Umrechnung über das Dichteverhältnis (Dichte  $\rho$ ) auf die Bedingungen am Prüfling.

$$Q_{v,Prüfling} = Q_{v,Master} \cdot \rho_{Master} / \rho_{Prüfling}$$

Die Messgröße Massenstrom ( $Q_m$ ) berechnet sich als das Produkt aus aktuellem Volumenstrom und Dichte und ist an jedem Punkt des Messsystems gleich

$$Q_{m,Prüfling} = Q_{m,Master} = Q_{v,Master} \cdot \rho_{Master}$$

Die Auswirkung der Fehlerfortpflanzung durch die relative Messunsicherheit der einzelnen Messgrößen wird nach ISO/TR 5168 durch die Standardabweichung ermittelt.

$$u_{ges,std} = \sqrt{\sum_i u_i^2}$$

Die erweiterte Messunsicherheit  $u_{ges}$ , die sich aus der relativen Standardmessunsicherheit  $u_{ges,std}$  durch Multiplikation mit dem Erweiterungsfaktor  $k = 2$  ergibt, entspricht dem Intervall, in dem der Messwert mit einer Wahrscheinlichkeit von 95% liegt. Die kleinste angebare erweiterte Messunsicherheit der Vergleichsmessung ist identisch mit dieser erweiterten Standardmessunsicherheit. In der Standardmessunsicherheit eines Prüflings ist ein zusätzlicher Beitrag zu berücksichtigen, der die Streuungen des Prüflings, bzw. der Kalibrierergebnisse beschreibt.

Ausschlaggebend für die Messunsicherheit der Vergleichsmessung ist zunächst die Unsicherheit bei der Bestimmung des aktuellen Volumenstroms am Vergleichsnormal. Hinzu kommt die Unsicherheit bei der Bestimmung des Dichteverhältnisses zwischen Vergleichsnormal und Prüfling (für Messgröße aktueller Volumenstrom), bzw. bei der Bestimmung der Dichte am Vergleichsnormal (für Messgröße Massenstrom) aus den Messgrößen relative Luftfeuchtigkeit sowie Absolutdruck und Temperatur am Vergleichsnormal bzw. Prüfling.

### Durch Leckagen im Messaufbau verursachter Messunsicherheitsanteil

Im Vorfeld jeder Vergleichsmessung ist durch eine Dichtheitsprüfung (Druckabfallprüfung) sicherzustellen, dass der maximale Fehler durch Leckagen im Messaufbau unterhalb eines festgelegten Wertes bleibt.

Beträgt das Volumen des Messaufbaus  $V$ , der Prüfdruck bei Dichtheitsprüfung  $p$  und der kleinste zu kalibrierende Durchfluss  $Q_{min}$ , so beträgt für eine Unsicherheit  $u_L$  der maximal zulässige Druckabfall im Messaufbau

$$dp/dt \leq u_L \cdot Q_{min} \cdot p / V$$

## Messunsicherheiten bei Vergleichsmessungen mit Laminar Flow Elementen:

Die erweiterte Standardmessunsicherheit der Vergleichsnormale wird durch die Kalibrierung in einer auf die Physikalisch-Technische Bundesanstalt rückführbaren Messkette festgelegt. Die Berechnung des aktuellen Volumenstroms am Prüfling bei Vergleichsmessung gegen Laminar Flow Elemente erfolgt nach folgender Messkette (Hagen-Poiseuille Gesetz und Massenerhaltung / Kontinuitätsgesetz):

$$Q_{\text{vol,Prüfling}} = Q_{\text{cal,LFE}} (dp) \cdot \eta_{\text{cal}}/\eta_{\text{aktuell}} \cdot \rho_{\text{LFE}}/\rho_{\text{Prüfling}}$$

Die Messunsicherheit bei der Vergleichsmessung gegen Laminar Flow Elemente setzt sich also aus folgenden Faktoren zusammen:

- Messunsicherheit  $u_{\text{Kal}}$  des Vergleichsnormals bei seiner Kalibrierung, typischerweise  $u_{\text{Kal}} = 0,325\% \text{ v.M.}$  (Hälfte der erweiterten Messunsicherheit von typischerweise 0,65%)
- Messunsicherheit  $u_{\text{dp}}$  für die Messung des Differenzdrucks am LFE  
Für die Messung des Differenzdrucks am LFE wird sowohl bei der Werkskalibrierung als auch bei externer Vergleichsmessung der gleiche Differenzdrucksensor eingesetzt, so dass nicht unbedingt dessen absolute Genauigkeit maßgeblich wird, sondern nur die Reproduzierbarkeit der Messwerte. Zusätzlich ist die Unsicherheit durch thermische und Langzeitdrift des Sensors zu berücksichtigen. Typische Werte in der Spanne 2 – 25 hPa:  
relative Messunsicherheit  $u_{\text{dp}} = 0,15\% \text{ v.M.}$   
thermische Unsicherheit:  $u_{\text{L}} = 0,02\% \text{ v.M./}^\circ\text{C.}$   
Nullpunkt drift des Sensors:  $u_{\text{N}} = 0,05\% \text{ v.E.}$
- Messunsicherheit  $u_{\eta}$  für das Viskositätsverhältnis bei der Umrechnung von Kalibrierbedingungen auf aktuelle Bedingungen bei der Vergleichsmessung, typischerweise  $u_{\eta} = 0,056\%$
- Messunsicherheit  $u_{\rho}$  für das Dichteverhältnis. Darin gehen in der Hauptsache die Genauigkeiten der Absolutdruck- und Temperaturmessung, sowie bei Luft auch die Feuchte bei der Umrechnung von Bedingungen am Vergleichsnormale auf Bedingungen am Prüfling ein, typischerweise  $u_{\rho} = 0,14\%$  für Massenstrom  
 $u_{\rho} = 0,12\%$  für Volumenstrom
- Messunsicherheit  $u_{\text{LFE}}$  für die Vergleichsmessung mit Laminar Flow Elementen. Dieser Unsicherheitsanteil beinhaltet die Standardabweichung der Kalibrierpunkte bezüglich der Polynom-Linearisierung, sowie eine Abschätzung des kurz- und langzeitlichen Driftverhaltens zwischen den Vergleichsmessungen. Der Wert ist zunächst festgesetzt und wird langfristig anhand von historischen Daten angepasst.  
 $u_{\text{LFE}} = 0,15\%$

Für die erweiterte Gesamt-Messunsicherheit gilt damit:

$$u_{\text{ges}} = 2 \cdot (u_{\text{Kal}}^2 + u_{\text{dp}}^2 + u_{\eta}^2 + u_{\rho}^2 + u_{\text{L}}^2 + u_{\text{LFE}}^2)^{1/2} + 2 \cdot u_{\text{N}}$$

Dies ergibt am Beispiel für den Volumenstrom:

$$u_{\text{ges}} = 2 \cdot (0,325^2 + 0,15^2 + 0,056^2 + 0,12^2 + 0,02^2 + 0,15^2)^{1/2} = 0,82\% \text{ v.M.} + 0,1\% \text{ v.E.}$$

und damit für den Massestrom im schlechtesten Fall (f. feuchte Luft):

$$u_{\text{ges}} = 2 \cdot (0,325^2 + 0,15^2 + 0,056^2 + 0,14^2 + 0,02^2 + 0,15^2)^{1/2} = 0,84\% \text{ v.M.} + 0,1\% \text{ v.E.}$$

## Messunsicherheiten bei Vergleichsmessungen mit Blenden:

Die erweiterte Standardmessunsicherheit der Vergleichsnormale wird durch die Kalibrierung in einer auf die Physikalisch-Technische Bundesanstalt rückführbaren Messkette festgelegt. Die Berechnung des aktuellen Volumenstroms am Prüfling bei Vergleichsmessung gegen Blenden erfolgt nach folgender Messkette (Bernoulli Gesetz und Massenerhaltung / Kontinuitätsgesetz):

$$Q_{\text{vol, uut}} = (dp \cdot \rho_{\text{uut}})^{0,5} \cdot C_{\text{cal}}(\text{Re}) \cdot / \rho_{\text{uut}}$$

Die Messunsicherheit bei der Vergleichsmessung gegen Blenden setzt sich also aus folgenden Faktoren zusammen:

- Messunsicherheit  $u_{\text{cal}}$  des Vergleichsnormals bei seiner Kalibrierung , typischerweise  $u_{\text{cal}} = 0,325\% \text{v.M.}$  (Hälfte der erweiterten Messunsicherheit von typischerweise 0,65%)
- Messunsicherheit  $u_{\text{dp}}$  für die Messung des Differenzdrucks an Blenden  
Für die Messung des Differenzdrucks an Blenden wird sowohl bei der Werkskalibrierung als auch bei externer Vergleichsmessung der gleiche Differenzdrucksensor eingesetzt, so dass nicht unbedingt dessen absolute Genauigkeit maßgeblich wird, sondern nur die Reproduzierbarkeit der Messwerte. Zusätzlich ist die Unsicherheit durch thermische und Langzeitdrift des Sensors zu berücksichtigen. Typische Werte in der Spanne 2 – 25 hPa:  
relative Messunsicherheit  $u_{\text{dp}} = 0,15\% \text{v.M.}$   
thermische Unsicherheit:  $u_{\text{L}} = 0,02\% \text{ v.M./}^\circ\text{C.}$   
Nullpunktdrift des Sensors:  $u_{\text{N}} = 0,05\% \text{ v.E.}$
- Messunsicherheit  $u_{\text{Re}}$  für den Reynoldszahl-Einfluss bei der Bestimmung des Durchflusskoeffizienten  $C_{\text{cal}}(\text{Re})$ , typischerweise:  
 $u_{\text{Re}} = 0,06\%$
- Messunsicherheit  $u_{\text{p}}$  für das Dichteverhältnis. Darin gehen in der Hauptsache die Genauigkeiten der Absolutdruck- und Temperaturmessung, sowie bei Luft auch die Feuchte bei der Umrechnung von Bedingungen am Vergleichsnormal auf Bedingungen am Prüfling ein, typischerweise  $u_{\text{p}} = 0,14\%$  für Massen- und Volumenstrom
- Messunsicherheit  $u_{\text{OR}}$  für die Vergleichsmessung mit Blenden. Dieser Unsicherheitsanteil beinhaltet die Standardabweichung der Kalibrierpunkte bezüglich der Polynom Linearisierung, sowie eine Abschätzung des kurz- und langzeitlichen Driftverhaltens zwischen den Vergleichsmessungen. Der Wert ist zunächst festgesetzt und wird langfristig anhand von historischen Daten angepasst.  
 $u_{\text{OR}} = 0,15\%$

Für die erweiterte Gesamt-Messunsicherheit gilt damit:

$$u_{\text{ges}} = 2 \cdot (u_{\text{Kal}}^2 + 0,5 \cdot u_{\text{dp}}^2 + u_{\text{Re}}^2 + 0,5 \cdot u_{\text{p}}^2 + u_{\text{L}}^2 + u_{\text{OR}}^2)^{1/2} + 2 \cdot u_{\text{N}}$$

Dies ergibt am Beispiel für den Massen- und Volumenstrom:

$$u_{\text{ges}} = 2 \cdot (0,325^2 + 0,5 \cdot 0,15^2 + 0,06^2 + 0,5 \cdot 0,14^2 + 0,02^2 + 0,15^2)^{1/2} = 0,76\% \text{v.M.} + 0,1\% \text{ v.E.}$$

## Messunsicherheiten bei Vergleichsmessungen mit kritischen Düsen:

Die erweiterte Standardmessunsicherheit der Vergleichsnormale wird durch die Kalibrierung in einer auf die Physikalisch-Technische Bundesanstalt rückführbaren Messkette festgelegt. Die Berechnung des aktuellen Volumenstroms am Prüfling bei Vergleichsmessung gegen kritische Düsen (CFO) erfolgt nach folgender Messkette (Schallgeschwindigkeits-Gesetz und Massenerhaltung / Kontinuitätsgesetz):

$$Q_{\text{vol,Prüfling}} = Q_{\text{vol,CFO}} \cdot \rho_{\text{CFO}}/\rho_{\text{Prüfling}} = F(c(T)) \cdot \rho_{\text{CFO}}/\rho_{\text{Prüfling}}$$

Die Messunsicherheit bei der Vergleichsmessung gegen kritische Düsen (CFO) setzt sich also aus folgenden Faktoren zusammen:

- Messunsicherheit  $u_{\text{Kal}}$  des Vergleichsnormals bei seiner Kalibrierung, typischerweise  $u_{\text{Kal}} = 0,325\%$  v.M. (Hälfte der erweiterten Messunsicherheit von typischerweise 0,65%)
- Messunsicherheit  $u_c$  für die Schallgeschwindigkeitsabhängigkeit von der Temperatur, typischerweise  $u_c = 0,06\%$
- Messunsicherheit  $u_p$  für das Dichteverhältnis. Darin gehen in der Hauptsache die Genauigkeiten der Absolutdruck- und Temperaturmessung, sowie bei Luft auch die Feuchte bei der Umrechnung von Bedingungen am Vergleichsnormal auf Bedingungen am Prüfling ein, typischerweise  $u_p = 0,14\%$  für Massenstrom  
 $u_p = 0,12\%$  für Volumenstrom
- Messunsicherheit  $u_{\text{CFO}}$  für die Vergleichsmessung mit kritische Düsen (CFO). Dieser Unsicherheitsanteil beinhaltet die Standardabweichung der Kalibrierpunkte bezüglich der Polynom-Linearisierung, sowie eine Abschätzung des kurz- und langzeitlichen Driftverhaltens zwischen den Vergleichsmessungen. Der Wert ist zunächst festgesetzt und wird langfristig anhand von historischen Daten angepasst.  
 $u_{\text{CFO}} = 0,15\%$

Für die erweiterte Gesamt-Messunsicherheit gilt damit:

$$u_{\text{ges}} = 2 \cdot (u_{\text{Kal}}^2 + u_c^2 + u_p^2 + u_{\text{CFO}}^2)^{1/2}$$

Dies ergibt am Beispiel für den Volumenstrom:

$$u_{\text{ges}} = 2 \cdot (0,325^2 + 0,06^2 + 0,12^2 + 0,15^2)^{1/2} = 0,77\% \text{ v.M.}$$

und damit für den Massestrom im schlechtesten Fall (f. feuchte Luft):

$$u_{\text{ges}} = 2 \cdot (0,325^2 + 0,06^2 + 0,14^2 + 0,15^2)^{1/2} = 0,78\% \text{ v.M.}$$