

Bericht
über den
DKD–Ringvergleich
‘Druck 5’

**Kalibrierung eines Druckmessgerätes
im Messbereich 3 bar absolut**

W. Schultz, M. Jescheck, PTB Braunschweig

Juli 2004

Inhaltsverzeichnis

- 1 Einleitung
- 2 Referenzstandard
- 3 Transferstandard
- 4 Kalibrierung des Transferstandards
- 5 Organisation
- 6 Ergebnisse
- 7 Schlussbetrachtung

Anhang 1: Messanweisung

1 Einleitung

Die Vergleichsmessungen mit den seitens des DKD akkreditierten Kalibrierlaboratorien werden auf der Grundlage des DKD - Vertrages §6, Abs. 3 durchgeführt und dienen der Überprüfung der Einheitlichkeit bei der Weitergabe des Drucks durch Kalibrierlaboratorien in dem Bereich von 0 bar bis 3 bar (absolut). Die Organisation und der Ablauf des Ringvergleichs entsprechen den Regeln, die durch die EA für ‚Interlaboratory comparison measurements‘ festgelegt wurden.

Die Geschäftsstelle des DKD benannte die Arbeitsgruppe ‚Druck‘ der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) als Referenzlaboratorium. In Zusammenarbeit mit dem Referenzlaboratorium wurden die Messanweisung und der Ablaufplan für die Durchführung der Vergleichsmessungen ausgearbeitet. Der Transferstandard für den Ringvergleich ist ein digital anzeigendes Druckmessgerät, der im Referenzlaboratorium an das nationale Normal angeschlossen und während des Ringvergleichs überwacht wurde.

Die Vergleichsmessungen wurden November 2003 begonnen.

2 Referenzstandard

Der Referenzstandard ist eine Druckwaage von Ruska mit dem Kolben-Zylinder-System Nr.: 04 - C - 362.

Die metrologischen Daten des Systems sind:

effektive Fläche des Kolbens	A_0	= 0,8407971 10^{-4}	m^2
thermischer Ausdehnungskoeffizient	$\alpha+\beta$	= 9,10 10^{-6}	$^{\circ}C^{-1}$
Druckverformungskoeffizient	λ	= 0,0	bar^{-1} .

Das System ist ein Sekundärnormal und wird zur Darstellung und Weitergabe der Druckskala in der Phys.-Techn. Bundesanstalt benutzt.

3 Transferstandard

Als Transferstandard wurde das Druckmessgerät Model: 760-45A, Seriennummer: 65655, der Firma Paroscientific (USA) eingesetzt.

4 Überwachung und Kennlinien des Transferstandards

4.1 Überwachung

Vor Beginn des Ringvergleichs mit den zehn Kalibrierlaboratorien wurde der Transferstandard im Referenzlaboratorium gemäß der Messanweisung (s. Anhang 1) kalibriert. Der gesamte Ringvergleich wurde in zwei Zyklen aufgeteilt. Vor dem zweiten Zyklus und nach dem Abschluss der Vergleichsmessungen wurde der Transferstandard im Referenzlaboratorium geprüft, um mögliche Veränderungen festzustellen.

Den Zeitplan für die Kalibrierungen des Transferstandards gibt die folgende Tabelle wieder.

Tabelle 4.1.1: Zeitplan der Kalibrierungen des Transferstandards

PTB	Kalibrierung	15.11.2003	24.11.2003
	Zyklus 1	25.11.2003	03.02.2004
PTB	Kalibrierung	04.02.2004	12.02.2004
	Zyklus 2	15.02.2004	12.04.2004
PTB	Kalibrierung	13.04.2004	14.04.2004

Die Kontrollmessung im Referenzlaboratorium zwischen den Zyklen hat ergeben, dass der Transferstandard hinreichend stabil gewesen ist. Für die Auswertung der Vergleichsmessungen wurden daher nur die Kalibrierergebnisse vor dem Beginn und nach dem Abschluss des Ringvergleichs herangezogen.

4.2 Kennlinien

Die Kennlinie, die aus den Kalibrierergebnissen für den Transferstandard vor und nach dem Ringvergleich im Referenzlaboratorium bestimmt wurde, ist die Grundlage für die Berechnung des normalisierten Fehlers E_n gemäß der Richtlinie der EA. Sie wird als Polynom 4. Grades dargestellt und gibt die Differenz zwischen dem von dem Transferstandard angezeigten Druck und dem durch den Referenzstandard vorgegebenen Druck in folgender Form wieder:

$$p_T - p_R = a_4 \cdot p_R^4 + a_3 \cdot p_R^3 + a_2 \cdot p_R^2 + a_1 \cdot p_R + a_0$$

p_T angezeigter Druck des Transferstandards in bar

p_R vorgegebener Druck des Referenzstandards in bar

In der folgenden Tabelle sind die Koeffizienten der Kennlinien getrennt nach aufsteigender und abnehmender Druckbelastung zusammengefasst.

Tabelle 4.2

Zyklus 1 und Zyklus 2		
	aufwärts	abwärts
a_0	- 1,3796E-05	+ 4,5920E-05
a_1	- 5,4559E-04	- 2,0112E-04
a_2	5,4633E-04	1,8471E-04
a_3	- 2,6768E-04	- 1,2822E-04
a_4	4,4723E-05	2,5347E-05

5 Organisation

Die Vergleichsmessungen wurden nach dem in der Tabelle 5 dargestellten Zeitplan durchgeführt. Insgesamt lässt sich feststellen, dass alle Teilnehmer in ihren Bemühungen erfolgreich waren, die engen zeitlichen Vorgaben zu erfüllen.

Tabelle 5: Zeitplan für den Ringvergleich

	2003		2004	
PTB	15. Nov.	24. Nov.		
38501	25. Nov.	03. Dez.		
40601	06. Dez.	20. Dez.		
11401	22. Dez.			10. Jan.
03701			13. Jan.	22. Jan.
00305			23. Jan.	03. Feb.
PTB			04. Feb.	12. Feb.
02301			15. Feb.	24. Feb.
04601			25. Feb.	07. März
11204			08. März	17. März
22101			20. März	29. März
13001			30. März	12. Apr.
PTB			13. Apr.	14. Apr.

Der Ringvergleich erstreckt sich über den Bereich von 0 bar bis 3 bar (absolut). Ein teilnehmendes Kalibrierlaboratorium ist allerdings nicht bis zum Endbereich von 3 bar (absolut) akkreditiert. Um dieses Laboratorium nicht ausschließen zu müssen, wurde der Transferstandard in dem von ihm maximal darstellbaren Druckbereich kalibriert. Eine Unterteilung der Auswertung wurde jedoch nicht vorgenommen, so dass die Ergebnisse aller Kalibrierlaboratorien mit dem gleichen Satz von Kenndaten ausgewertet wurden.

6 Ergebnisse

Alle Kalibrierlaboratorien haben ihre Ergebnisse den Vorgaben der Messanweisung (s. Anhang 1) entsprechend eingereicht. An Hand dieser Unterlagen wurde die erweiterte Standardmessunsicherheit U ($k=2$) für jeden Messpunkt gemäß DKD - R6-1 berechnet, die dem für den Transferstandard ermittelten Druck beigeordnet werden muss.

Mittels der Kennlinien, die für den Transferstandard im Referenzlaboratorium bestimmt wurden (s. Abschnitt 4, Tabelle 4.2), wurden aus den von den Kalibrierlaboratorien mitgeteilten genauen Druckwerten (Wert des Bezugsnormals) der zu erwartende Referenzwert des Transferstandards berechnet.

Aus der Differenz zwischen dem vom Kalibrierlaboratorium ermittelten Druck und dem Referenzwert des Transferstandards und den erweiterten

Standardmessunsicherheiten für $k=2$ wurde der normalisierte Fehler E_n nach folgender Beziehung berechnet:

$$E_n = \frac{p_{\text{cal}} - p_{\text{ref}}}{\sqrt{U_{\text{cal}}^2 + U_{\text{ref}}^2}}$$

- mit:
- p_{cal} vom Kalibrierlaboratorium ermittelten Druck
 - p_{ref} Referenzwert des Transferstandards
 - U_{cal} erweiterte Standardmessunsicherheit ($k=2$) der Kalibrierung
 - U_{ref} erweiterte Standardmessunsicherheit ($k=2$) des Referenzwertes

Die Ergebnisse der Vergleichsmessungen sind in den anschließenden Tabellen und graphischen Darstellungen zusammengefasst.

- In der ersten Spalte der Tabelle ist der Druck aufgeführt, der mit dem Bezugsnormal des jeweiligen Teilnehmers dargestellt wurde.
- Mit diesem Druck und der dazugehörigen Kennlinie wurde die Abweichung des Transferstandards vom tatsächlichen Druck berechnet (2. Spalte).
- Die beizuordnende Standardmessunsicherheit für $k=2$ des Referenzwertes steht in der dritten Spalte.
- Das Kalibrierergebnis des Teilnehmers enthält die vierte Spalte.
- Die Standardmessunsicherheit für die Kalibrierung wurde aus dem Ergebnis der Wiederholmessung gemäß DKD – R6-1 berechnet.
- Der normalisierte Fehler in der fünften Spalte ist für die Messungen mit ansteigendem und abfallendem Druck dargestellt.

Durch die separate Betrachtung, ohne dass die Hysterese des Druckmessgerätes in die Unsicherheitsberechnung einbezogen wurde, ergaben sich kleinere Standardmessunsicherheiten für U_{cal} und damit eine kritischere Auswertung dieser Vergleichsmessungen.

Tabelle: L 01

p in bar	Referenzlaboratorium		Kalibrierlaboratorium		E_n
	p_{Transfer} in bar	U_{ref} in bar	p_{Transfer} in bar	U_{cal} in bar	
aufwärts					
0,00002	-0,00001	0,00008	-0,00002	0,00005	-0,07
0,29887	-0,00013	0,00011	-0,00014	0,00007	-0,04
0,59104	-0,00020	0,00012	-0,00017	0,00008	0,18
0,89485	-0,00023	0,00013	-0,00019	0,00009	0,22
1,19866	-0,00025	0,00019	-0,00023	0,00010	0,09
1,49080	-0,00028	0,00013	-0,00028	0,00013	0,00
1,79457	-0,00032	0,00014	-0,00032	0,00011	0,00
2,09844	-0,00036	0,00014	-0,00037	0,00013	-0,07
2,39053	-0,00039	0,00016	-0,00038	0,00012	0,04
2,69431	-0,00040	0,00018	-0,00037	0,00012	0,11
2,99811	-0,00034	0,00017	-0,00038	0,00014	-0,18
abwärts					
0,00002	0,00005	0,00012	-0,00002	0,00005	-0,46
0,29893	0,00000	0,00014	-0,00002	0,00007	-0,15
0,59103	-0,00003	0,00014	-0,00005	0,00008	-0,10
0,89487	-0,00006	0,00013	-0,00006	0,00009	0,00
1,19867	-0,00010	0,00014	-0,00011	0,00010	-0,07
1,49081	-0,00014	0,00015	-0,00014	0,00013	0,03
1,79458	-0,00020	0,00016	-0,00020	0,00011	0,00
2,09842	-0,00026	0,00016	-0,00026	0,00013	0,00
2,39051	-0,00030	0,00017	-0,00030	0,00012	0,00
2,69432	-0,00033	0,00017	-0,00032	0,00012	0,03
2,99811	-0,00030	0,00017	-0,00034	0,00014	-0,15

Abbildung: L 01

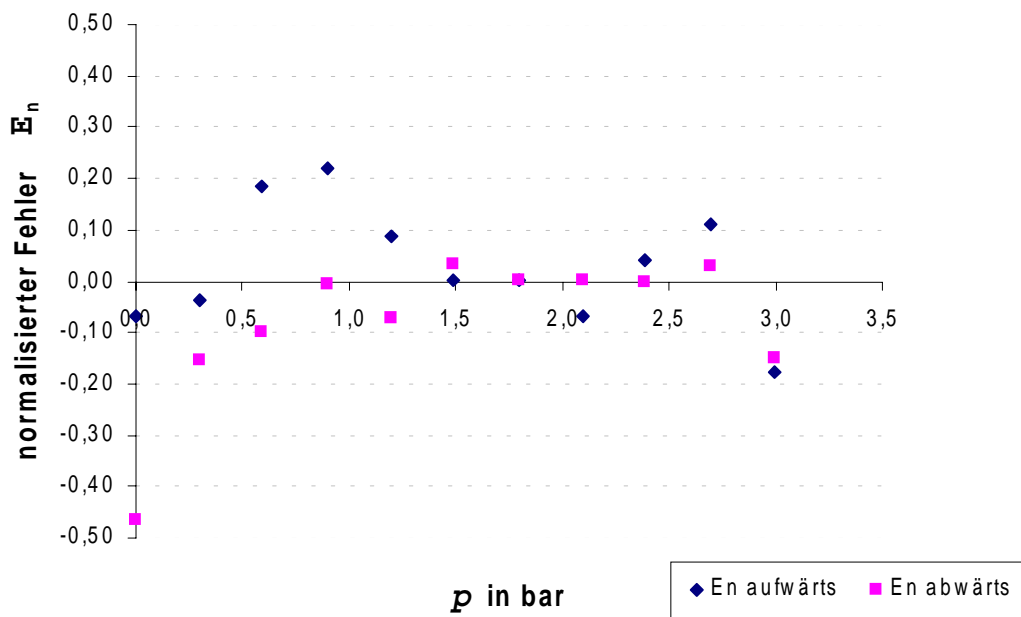


Tabelle: L 02

p in bar	Referenzlaboratorium		Kalibrierlaboratorium		E_n
	p_{Transfer} in bar	U_{ref} in bar	p_{Transfer} in bar	U_{cal} in bar	
aufwärts					
0,00008	-0,00001	0,00008	-0,00010	0,00013	-0,55
0,30018	-0,00014	0,00011	-0,00014	0,00013	-0,02
0,60037	-0,00020	0,00012	-0,00014	0,00013	0,31
0,90056	-0,00023	0,00013	-0,00018	0,00015	0,25
1,20075	-0,00025	0,00019	-0,00021	0,00017	0,18
1,50096	-0,00028	0,00013	-0,00024	0,00018	0,18
1,80115	-0,00032	0,00014	-0,00035	0,00023	-0,14
2,10134	-0,00036	0,00014	-0,00036	0,00023	-0,01
2,40151	-0,00039	0,00016	-0,00038	0,00026	0,05
2,70170	-0,00040	0,00018	-0,00036	0,00030	0,11
3,00191	-0,00034	0,00017	-0,00030	0,00033	0,10
abwärts					
0,00008	0,00005	0,00012	-0,00010	0,00014	-0,77
0,30018	0,00000	0,00014	0,00004	0,00019	0,17
0,60037	-0,00003	0,00014	0,00005	0,00017	0,39
0,90056	-0,00006	0,00013	0,00004	0,00017	0,49
1,20075	-0,00010	0,00014	0,00000	0,00020	0,40
1,50096	-0,00014	0,00015	-0,00007	0,00018	0,34
1,80115	-0,00020	0,00016	-0,00011	0,00019	0,36
2,10134	-0,00026	0,00016	-0,00015	0,00023	0,38
2,40151	-0,00030	0,00017	-0,00025	0,00024	0,20
2,70170	-0,00033	0,00017	-0,00025	0,00028	0,24
3,00191	-0,00030	0,00017	-0,00030	0,00030	0,00

Abbildung: L 02

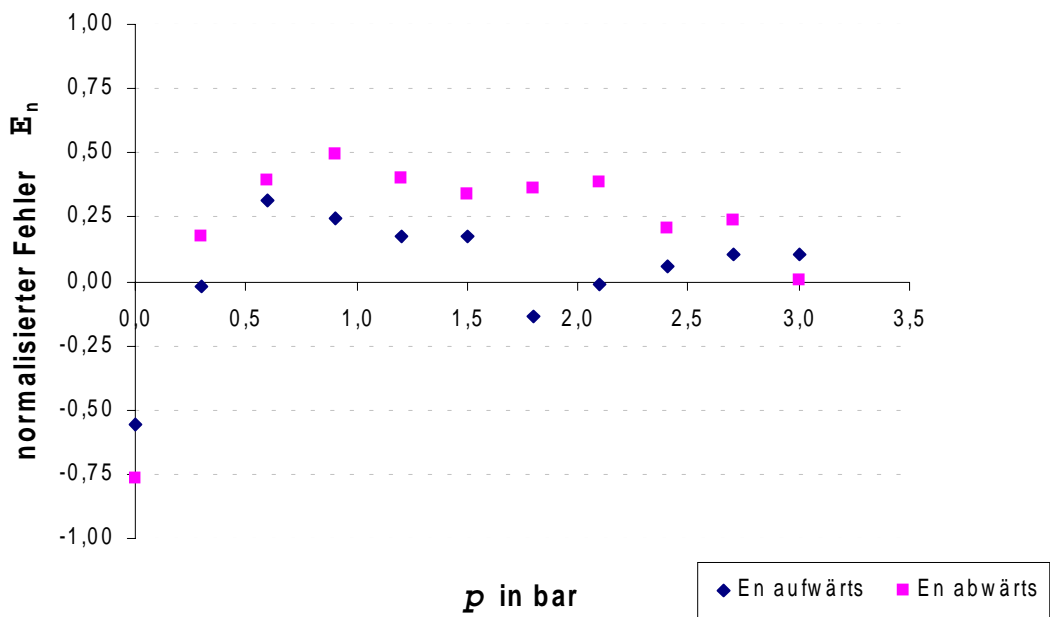


Tabelle: L 03

p in bar	Referenzlaboratorium		Kalibrierlaboratorium		E_n
	p_{Transfer} in bar	U_{ref} in bar	p_{Transfer} in bar	U_{cal} in bar	
aufwärts					
0,00002	-0,00001	0,00008	-0,00003	0,00006	-0,12
0,30000	-0,00014	0,00011	-0,00007	0,00006	0,56
0,60000	-0,00020	0,00012	-0,00007	0,00006	0,97
0,90000	-0,00023	0,00013	-0,00008	0,00007	0,99
1,20000	-0,00025	0,00019	-0,00011	0,00008	0,69
1,50000	-0,00028	0,00013	-0,00015	0,00009	0,80
1,79999	-0,00032	0,00014	-0,00019	0,00011	0,72
2,10001	-0,00036	0,00014	-0,00024	0,00012	0,66
2,40001	-0,00039	0,00016	-0,00025	0,00014	0,70
2,69999	-0,00040	0,00018	-0,00021	0,00015	0,80
3,00000	-0,00034	0,00017	-0,00020	0,00017	0,58
abwärts					
0,00002	0,00005	0,00012	0,00001	0,00006	-0,28
0,30000	0,00000	0,00014	0,00002	0,00006	0,11
0,60000	-0,00003	0,00014	0,00002	0,00006	0,35
0,90000	-0,00006	0,00013	0,00001	0,00007	0,47
1,20000	-0,00010	0,00014	-0,00004	0,00008	0,38
1,50000	-0,00014	0,00015	-0,00009	0,00009	0,30
1,79999	-0,00020	0,00016	-0,00014	0,00011	0,30
2,10001	-0,00026	0,00016	-0,00015	0,00012	0,54
2,40001	-0,00030	0,00017	-0,00017	0,00014	0,60
2,69999	-0,00033	0,00017	-0,00018	0,00015	0,65
3,00000	-0,00030	0,00017	-0,00019	0,00017	0,45

Abbildung: L 03

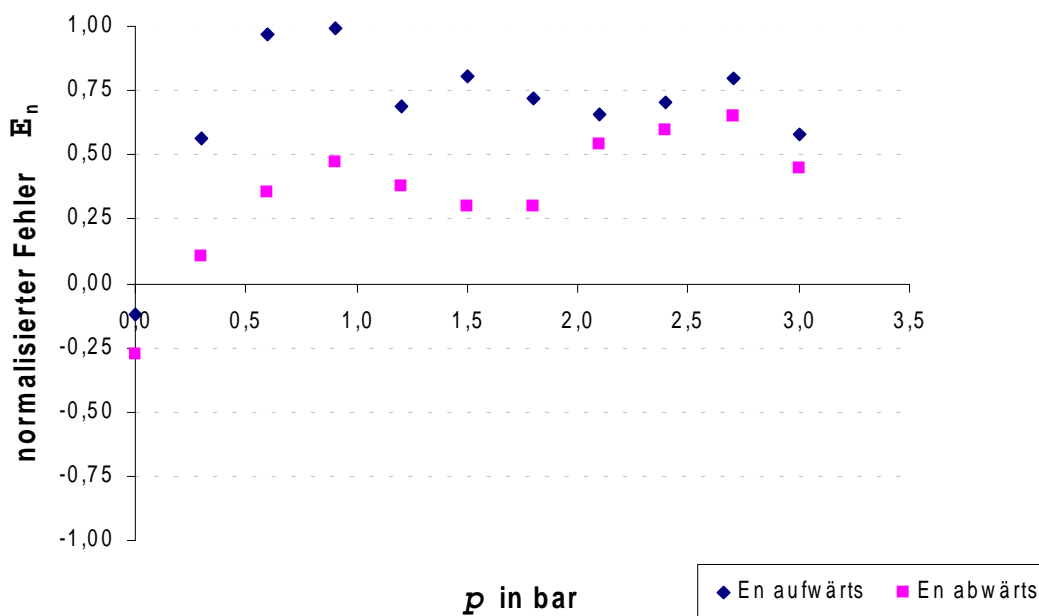


Tabelle: L 04

p in bar	Referenzlaboratorium		Kalibrierlaboratorium		E_n
	p_{Transfer} in bar	U_{ref} in bar	p_{Transfer} in bar	U_{cal} in bar	
aufwärts					
0,00000	-0,00001	0,00008	0,00000	0,00010	0,09
0,29998	-0,00014	0,00011	-0,00010	0,00012	0,23
0,59995	-0,00020	0,00012	-0,00010	0,00015	0,50
0,89995	-0,00023	0,00013	-0,00006	0,00014	0,89
1,19991	-0,00025	0,00019	-0,00014	0,00017	0,44
1,49990	-0,00028	0,00013	-0,00015	0,00019	0,56
1,79987	-0,00032	0,00014	-0,00016	0,00021	0,63
2,09981	-0,00036	0,00014	-0,00017	0,00023	0,71
2,39980	-0,00039	0,00016	-0,00018	0,00026	0,70
2,69981	-0,00040	0,00018	-0,00019	0,00030	0,59
2,99982	-0,00034	0,00017	-0,00015	0,00032	0,53
abwärts					
0,00000	0,00005	0,00012	0,00010	0,00010	0,33
0,29998	0,00000	0,00014	0,00005	0,00012	0,29
0,59995	-0,00003	0,00014	0,00007	0,00015	0,47
0,89995	-0,00006	0,00013	0,00005	0,00014	0,60
1,19991	-0,00010	0,00014	0,00002	0,00017	0,54
1,49990	-0,00014	0,00015	-0,00001	0,00019	0,57
1,79987	-0,00020	0,00016	-0,00003	0,00021	0,64
2,09981	-0,00026	0,00016	-0,00005	0,00023	0,74
2,39980	-0,00030	0,00017	-0,00009	0,00026	0,68
2,69981	-0,00033	0,00017	-0,00015	0,00030	0,52
2,99982	-0,00030	0,00017	-0,00012	0,00032	0,50

Abbildung: L 04

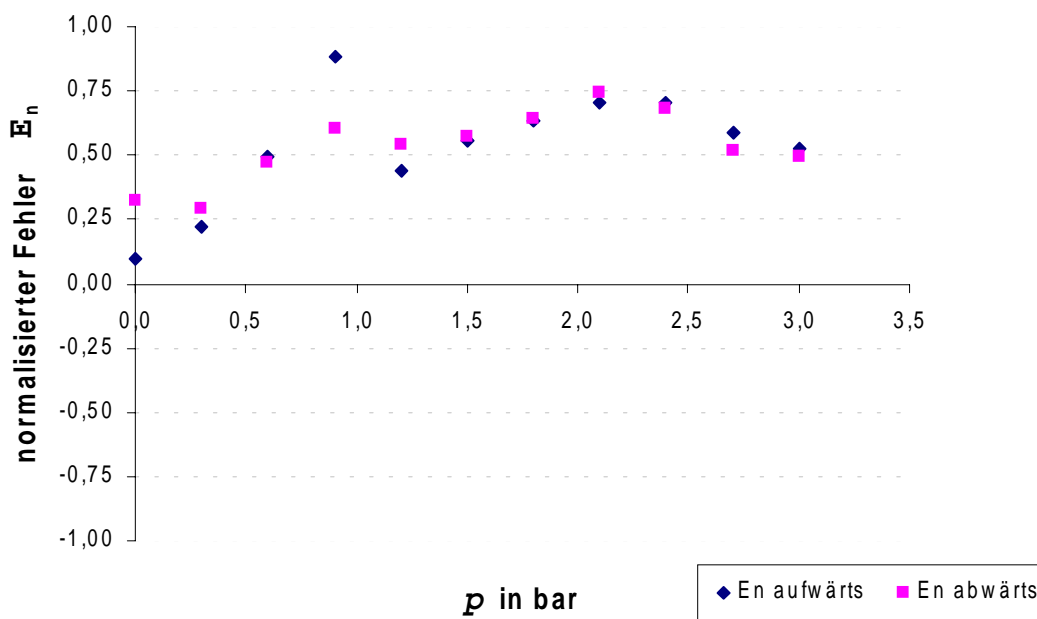


Tabelle: L 05

p in bar	Referenzlaboratorium		Kalibrierlaboratorium		E_n
	p_{Transfer} in bar	U_{ref} in bar	p_{Transfer} in bar	U_{cal} in bar	
aufwärts					
0,00001	-0,00001	0,00008	-0,00001	0,00004	0,06
0,30000	-0,00014	0,00011	-0,00007	0,00005	0,54
0,60000	-0,00020	0,00012	-0,00009	0,00006	0,77
0,90000	-0,00023	0,00013	-0,00011	0,00007	0,83
1,20000	-0,00025	0,00019	-0,00015	0,00008	0,51
1,50000	-0,00028	0,00013	-0,00019	0,00009	0,57
1,80000	-0,00032	0,00014	-0,00024	0,00010	0,46
2,10000	-0,00036	0,00014	-0,00027	0,00011	0,47
2,40000	-0,00039	0,00016	-0,00031	0,00015	0,40
2,70000	-0,00040	0,00018	-0,00032	0,00013	0,33
3,00000	-0,00034	0,00017	-0,00028	0,00014	0,25
abwärts					
0,00001	0,00005	0,00012	0,00003	0,00004	-0,13
0,30000	0,00000	0,00014	-0,00003	0,00005	-0,17
0,60000	-0,00003	0,00014	-0,00003	0,00006	0,04
0,90000	-0,00006	0,00013	-0,00003	0,00007	0,22
1,20000	-0,00010	0,00014	-0,00008	0,00008	0,13
1,50000	-0,00014	0,00015	-0,00011	0,00009	0,20
1,80000	-0,00020	0,00016	-0,00017	0,00010	0,16
2,10000	-0,00026	0,00016	-0,00020	0,00011	0,30
2,40000	-0,00030	0,00017	-0,00018	0,00015	0,54
2,70000	-0,00033	0,00017	-0,00028	0,00013	0,23
3,00000	-0,00030	0,00017	-0,00028	0,00014	0,12

Abbildung: L 05

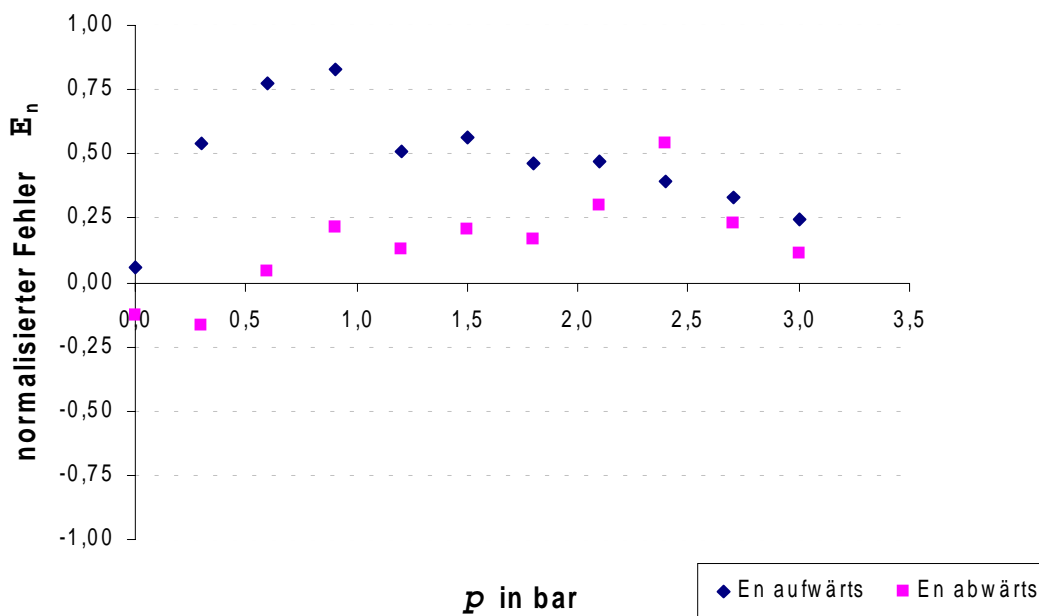


Tabelle: L 06

p in bar	Referenzlaboratorium		Kalibrierlaboratorium		E_n
	p_{Transfer} in bar	U_{ref} in bar	p_{Transfer} in bar	U_{cal} in bar	
aufwärts					
0,00000	-0,00001	0,00008	0,00000	0,00003	0,16
0,20686	-0,00011	0,00011	0,00001	0,00008	0,86
0,40335	-0,00016	0,00012	0,00002	0,00008	1,25
0,59984	-0,00020	0,00013	0,00002	0,00008	1,41
0,80030	-0,00022	0,00019	0,00000	0,00009	1,08
1,00715	-0,00024	0,00013	-0,00001	0,00010	1,39
1,20020	-0,00025	0,00014	-0,00003	0,00011	1,25
1,40703	-0,00027	0,00014	-0,00005	0,00011	1,19
1,59798	-0,00029	0,00016	-0,00009	0,00013	0,99
1,80083	-0,00032	0,00018	-0,00009	0,00014	1,02
1,95596	-0,00034	0,00017	-0,00010	0,00014	1,06
abwärts					
0,00000	0,00005	0,00012	0,00003	0,00003	-0,13
0,20686	0,00001	0,00014	0,00006	0,00008	0,28
0,40335	-0,00001	0,00014	0,00007	0,00008	0,50
0,59984	-0,00003	0,00013	0,00006	0,00008	0,63
0,80030	-0,00005	0,00014	0,00003	0,00009	0,51
1,00715	-0,00007	0,00015	0,00005	0,00010	0,67
1,20020	-0,00010	0,00016	0,00002	0,00011	0,62
1,40703	-0,00013	0,00016	-0,00001	0,00011	0,59
1,59798	-0,00016	0,00017	-0,00004	0,00013	0,56
1,80083	-0,00020	0,00017	-0,00009	0,00014	0,52
1,95596	-0,00023	0,00017	-0,00010	0,00014	0,56

Abbildung: L 06

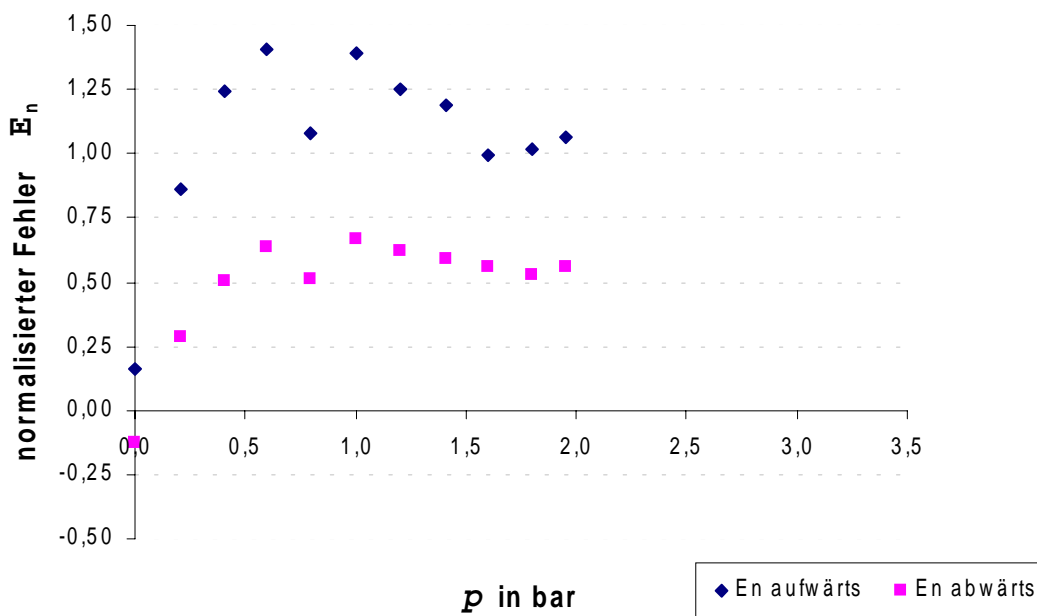


Tabelle: L 07

p in bar	Referenzlaboratorium		Kalibrierlaboratorium		E_n
	p_{Transfer} in bar	U_{ref} in bar	p_{Transfer} in bar	U_{cal} in bar	
aufwärts					
0,00002	-0,00001	0,00008	-0,00002	0,00004	-0,07
0,29904	-0,00013	0,00011	-0,00009	0,00004	0,43
0,60018	-0,00020	0,00012	-0,00011	0,00006	0,61
0,89917	-0,00023	0,00013	-0,00012	0,00008	0,73
1,19500	-0,00025	0,00019	-0,00013	0,00009	0,59
1,49208	-0,00028	0,00013	-0,00022	0,00009	0,40
1,79193	-0,00032	0,00014	-0,00028	0,00011	0,24
2,08936	-0,00036	0,00014	-0,00031	0,00012	0,28
2,38990	-0,00039	0,00016	-0,00031	0,00015	0,41
2,68654	-0,00040	0,00018	-0,00036	0,00016	0,16
2,98251	-0,00034	0,00017	-0,00028	0,00018	0,26
abwärts					
0,00002	0,00005	0,00012	-0,00001	0,00003	-0,44
0,29904	0,00000	0,00014	0,00006	0,00004	0,42
0,60018	-0,00003	0,00014	0,00002	0,00005	0,39
0,89917	-0,00006	0,00013	0,00002	0,00007	0,59
1,19500	-0,00010	0,00014	-0,00005	0,00009	0,29
1,49208	-0,00014	0,00015	-0,00010	0,00009	0,25
1,79193	-0,00020	0,00016	-0,00015	0,00011	0,27
2,08936	-0,00025	0,00016	-0,00019	0,00012	0,30
2,38990	-0,00030	0,00017	-0,00025	0,00014	0,26
2,68654	-0,00033	0,00017	-0,00032	0,00016	0,05
2,98251	-0,00031	0,00017	-0,00028	0,00019	0,13

Abbildung: L 07

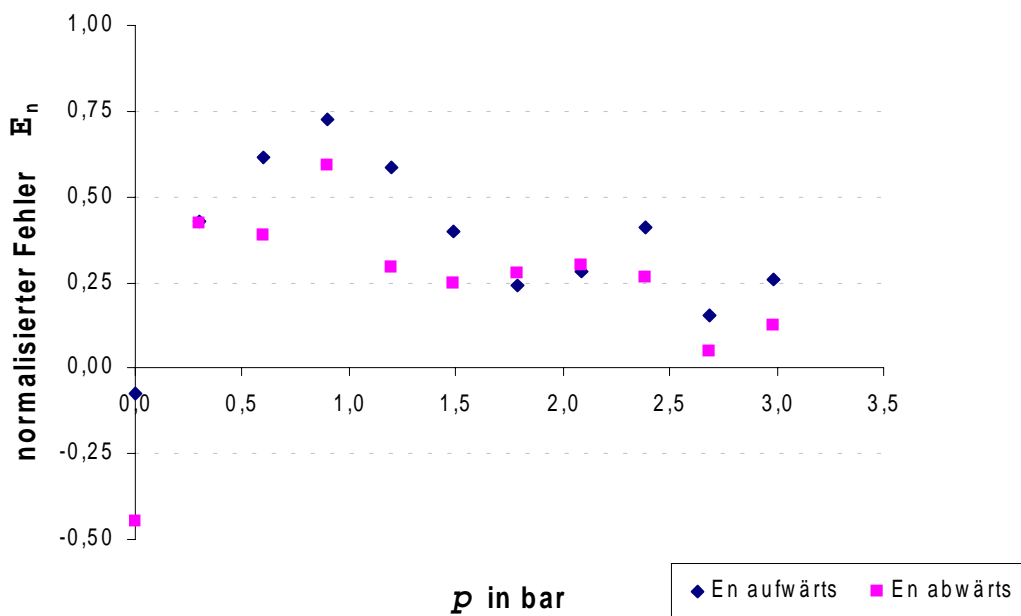


Tabelle: L 08

p in bar	Referenzlaboratorium		Kalibrierlaboratorium		E_n
	p_{Transfer} in bar	U_{ref} in bar	p_{Transfer} in bar	U_{cal} in bar	
aufwärts					
0,00000	-0,00001	0,00008	0,00000	0,00013	0,08
0,30011	-0,00014	0,00011	-0,00019	0,00013	-0,32
0,60010	-0,00020	0,00012	-0,00021	0,00013	-0,07
0,90010	-0,00023	0,00013	-0,00026	0,00013	-0,18
1,20009	-0,00025	0,00019	-0,00029	0,00013	-0,16
1,50009	-0,00028	0,00013	-0,00029	0,00013	-0,08
1,80008	-0,00032	0,00014	-0,00033	0,00013	-0,07
2,10007	-0,00036	0,00014	-0,00038	0,00015	-0,08
2,40006	-0,00039	0,00016	-0,00038	0,00017	0,07
2,70005	-0,00040	0,00018	-0,00040	0,00019	-0,01
3,00003	-0,00034	0,00017	-0,00031	0,00022	0,11
abwärts					
0,00000	0,00005	0,00012	0,00000	0,00013	-0,27
0,30011	0,00000	0,00014	0,00012	0,00013	0,64
0,60010	-0,00003	0,00014	0,00011	0,00013	0,77
0,90010	-0,00006	0,00013	-0,00003	0,00013	0,20
1,20009	-0,00010	0,00014	-0,00007	0,00013	0,13
1,50009	-0,00014	0,00015	-0,00020	0,00013	-0,27
1,80008	-0,00020	0,00016	-0,00021	0,00014	-0,07
2,10007	-0,00026	0,00016	-0,00030	0,00015	-0,20
2,40006	-0,00030	0,00017	-0,00030	0,00019	0,02
2,70005	-0,00033	0,00017	-0,00035	0,00020	-0,10
3,00003	-0,00030	0,00017	-0,00030	0,00021	0,03

Abbildung: L 08

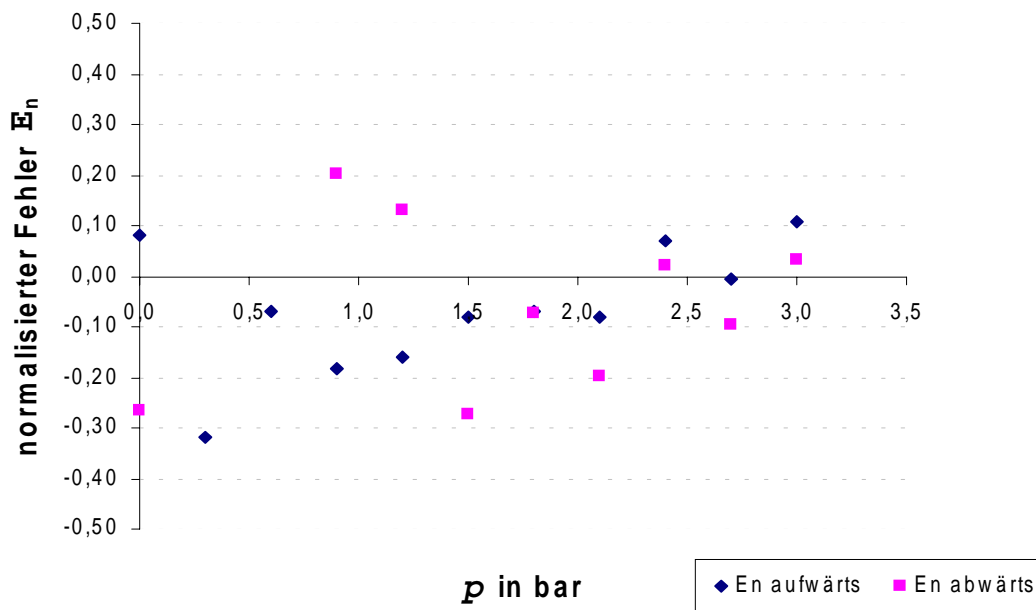


Tabelle: L 09

p in bar	Referenzlaboratorium		Kalibrierlaboratorium		E_n
	p_{Transfer} in bar	U_{ref} in bar	p_{Transfer} in bar	U_{cal} in bar	
aufwärts					
0,00000	-0,00001	0,00008	0,00000	0,00004	0,16
0,30016	-0,00014	0,00011	-0,00017	0,00005	-0,31
0,60016	-0,00020	0,00012	-0,00021	0,00006	-0,08
0,90016	-0,00023	0,00013	-0,00022	0,00007	0,07
1,20015	-0,00025	0,00019	-0,00030	0,00008	-0,25
1,50016	-0,00028	0,00013	-0,00036	0,00009	-0,47
1,80016	-0,00032	0,00014	-0,00039	0,00010	-0,45
2,10016	-0,00036	0,00014	-0,00040	0,00011	-0,23
2,40015	-0,00039	0,00016	-0,00049	0,00015	-0,45
2,70014	-0,00040	0,00018	-0,00041	0,00013	-0,07
3,00018	-0,00034	0,00017	-0,00053	0,00014	-0,86
abwärts					
0,00000	0,00005	0,00012	0,00005	0,00004	0,00
0,30016	0,00000	0,00014	-0,00010	0,00005	-0,66
0,60016	-0,00003	0,00014	-0,00012	0,00006	-0,57
0,90016	-0,00006	0,00013	-0,00013	0,00007	-0,49
1,20015	-0,00010	0,00014	-0,00021	0,00008	-0,68
1,50016	-0,00014	0,00015	-0,00025	0,00009	-0,58
1,80016	-0,00020	0,00016	-0,00030	0,00010	-0,55
2,10016	-0,00026	0,00016	-0,00035	0,00011	-0,47
2,40015	-0,00030	0,00017	-0,00036	0,00015	-0,26
2,70014	-0,00033	0,00017	-0,00043	0,00013	-0,48
3,00018	-0,00030	0,00017	-0,00050	0,00014	-0,89

Abbildung: L 09

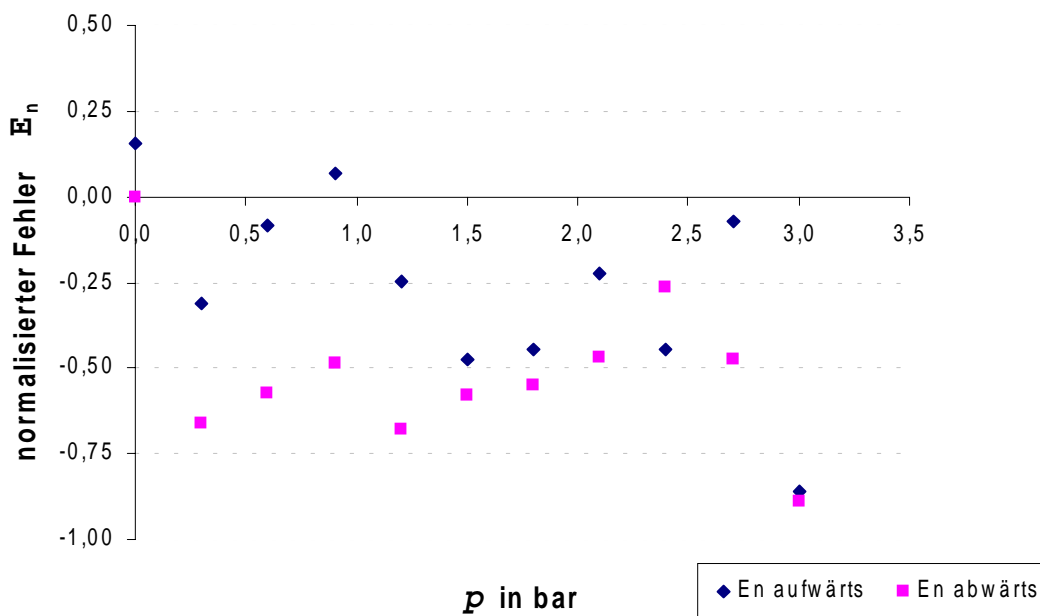
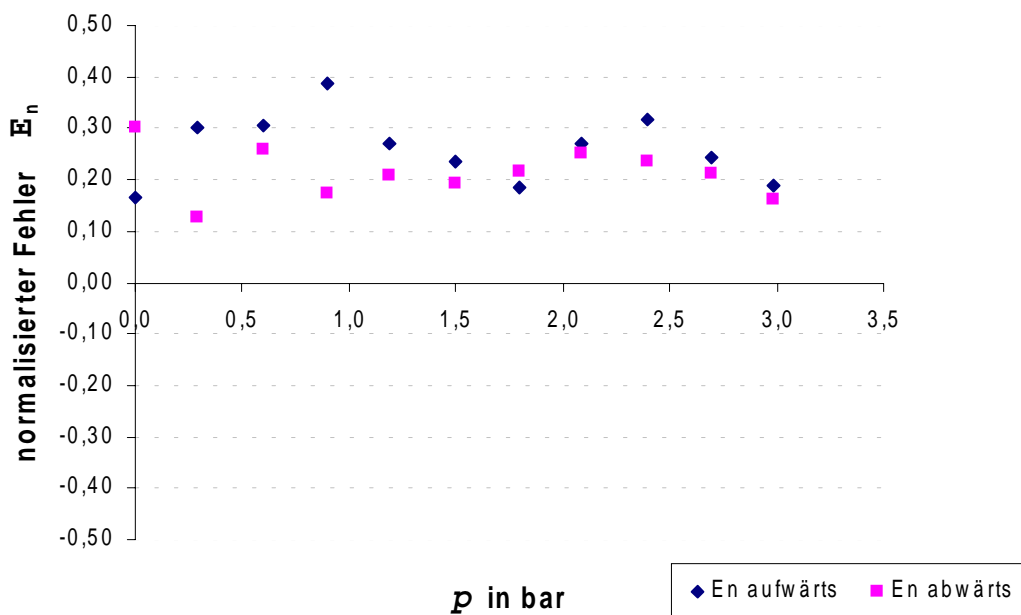


Tabelle: L 10

p in bar	Referenzlaboratorium		Kalibrierlaboratorium		E_n
	p_{Transfer} in bar	U_{ref} in bar	p_{Transfer} in bar	U_{cal} in bar	
aufwärts					
0,00000	-0,00001	0,00008	0,00000	0,00003	0,17
0,29247	-0,00013	0,00011	-0,00010	0,00003	0,30
0,59604	-0,00020	0,00012	-0,00016	0,00004	0,30
0,89967	-0,00023	0,00013	-0,00018	0,00005	0,39
1,19155	-0,00025	0,00019	-0,00020	0,00007	0,27
1,49519	-0,00028	0,00013	-0,00024	0,00008	0,23
1,79876	-0,00032	0,00014	-0,00029	0,00010	0,18
2,09068	-0,00036	0,00014	-0,00031	0,00011	0,27
2,39424	-0,00039	0,00016	-0,00033	0,00012	0,32
2,69787	-0,00040	0,00018	-0,00034	0,00014	0,25
2,98977	-0,00034	0,00017	-0,00030	0,00015	0,19
abwärts					
0,00000	0,00005	0,00012	0,00009	0,00007	0,30
0,29247	0,00000	0,00014	0,00002	0,00004	0,13
0,59604	-0,00003	0,00014	0,00001	0,00005	0,26
0,89967	-0,00006	0,00013	-0,00004	0,00005	0,17
1,19155	-0,00010	0,00014	-0,00007	0,00007	0,21
1,49519	-0,00014	0,00015	-0,00011	0,00008	0,19
1,79876	-0,00020	0,00016	-0,00016	0,00010	0,22
2,09068	-0,00025	0,00016	-0,00021	0,00011	0,25
2,39424	-0,00030	0,00017	-0,00025	0,00012	0,24
2,69787	-0,00033	0,00017	-0,00028	0,00014	0,21
2,98977	-0,00031	0,00017	-0,00027	0,00016	0,16

Abbildung: L 10



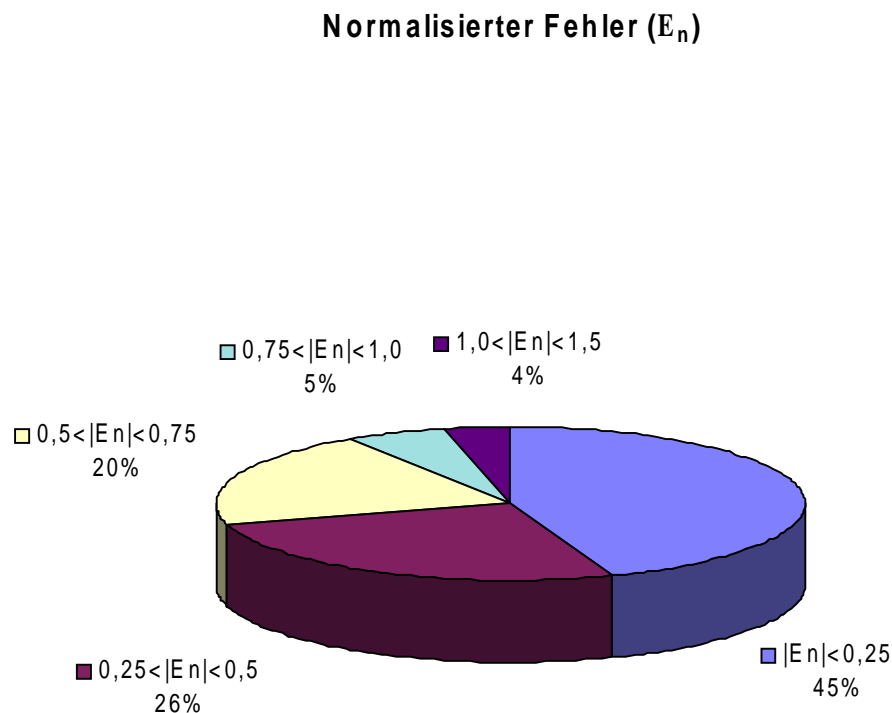
7 Schlussbetrachtung

Im Rahmen dieses Ringvergleichs waren 10 akkreditierte Kalibrierlaboratorien aufgefordert worden, ein digital anzeigendes Druckmessgerät gemäß anhängender Messanweisung zu kalibrieren.

Insgesamt haben die Kalibrierlaboratorien 220 Druckwerte bestimmt, für die der normalisierte Fehler berechnet wurde. Einen Überblick vermittelt die Abbildung 7.1, die darstellt, wie sich die Ergebnisse auf einzelne Bereiche des normalisierten Fehlers verteilen. Danach erfüllen 96% der Druckwerte das Kriterium $E_n < 1$, und es ist bemerkenswert, dass bereits 91% der Ergebnisse im Bereich $0 < E_n < 0,75$ liegen.

Aufgrund dieses Ergebnisses sind keine unmittelbaren korrektiven Maßnahmen, bis auf eine Ausnahme, bei den beteiligten Laboratorien erforderlich. Die Ausnahme betrifft das Kalibrierlaboratorium L06. Dieses Laboratorium muss in dem Bereich 0 bar bis 3 bar (absolut) die Messungen wiederholen. Das Referenzlaboratorium gibt den Transferstandard vor, mit dem die Vergleichsmessungen erneut durchgeführt werden müssen.

Abbildung 7.1: Normalisierter Fehler E_n



Abschließend lässt sich feststellen, dass der Ringvergleich erfolgreich durchgeführt wurde und die daran beteiligten Kalibrierlaboratorien größtenteils in der Lage sind, die Messgröße ‚Druck‘ im untersuchten Bereich auf einer verlässlichen Grundlage weiterzugeben.

Anhang

Anhang 1: Messanweisung

DKD–Ringvergleich `Druck 5´

Kalibrierung eines Druckmessgerätes im Messbereich 3 bar absolut

Allgemeine Information

Die Vergleichsmessungen mit den seitens des DKD akkreditierten Kalibrierlaboratorien werden auf der Grundlage des DKD - Vertrages §6, Abs. 3 durchgeführt und dienen der Überprüfung der Einheitlichkeit bei der Weitergabe des Drucks durch Kalibrierlaboratorien in dem Bereich von 0 bar bis 3 bar (absolut). Die Organisation und der Ablauf des Ringvergleichs entsprechen den Regeln, die durch die EA für ‚Interlaboratory comparison measurements‘ festgelegt wurden.

Organisierende Akkreditierungskörperschaft:

Deutscher Kalibrierdienst (DKD)

Bundesallee 100
38116 Braunschweig

Ansprechpartner:

Friedrich Wilhelm Pietsch
Tel.: (05 31) 592-1931; Fax: (05 31) 592-1905
e-mail: Friedrich.Pietsch@ptb.de

Referenzlaboratorium:

Arbeitsgruppe 3.23 „Druck“
Physikalisch-Technische Bundesanstalt
Bundesallee 100
38116 Braunschweig

Ansprechpartner:

H. Schultz
Tel.: (05 31) 592-3133, Fax: (05 31) 592-3209
e-mail: Wilfried.Schultz@ptb.de

Dr. M. Jescheck
Tel.: (05 31) 592-3111, Fax: (05 31) 592-3209
e-mail: Michael.Jescheck@ptb.de

Zweck

Der Ringvergleich dient zur Überprüfung der Bezugsnormale der Kalibrierlaboratorien zwischen den in der Anlage zur Akkreditierung aufgeführten Rekalibrierungsfristen und dazu, um festzustellen, inwieweit die Kalibrierlaboratorien die festgelegten erweiterten Standardmessunsicherheiten im Routinebetrieb einhalten.

Gerätebeschreibung

Das Druckmessgerät besteht aus dem Druckaufnehmer und einer elektronischen Anzeige.

Das Druckmessgerät ist in einer Kiste mit den Maßen 0,45 x 0,75 x 0,45 m³ verpackt.

Die Kiste beinhaltet die Kalibrieranweisung und die Bedienungsanleitung für das digital anzeigende Druckmessgerät.

Für den Transport gibt es keine besonderen Empfehlungen.

Das Messgerät muss in der Originalverpackung versendet werden, die zu diesem Zweck aufbewahrt werden muss.

Der Transport mit dem Pkw ist wünschenswert, jedoch nicht Bedingung. Eine Versicherung für Schäden an den Geräten durch die PTB ist nicht möglich. Für Schäden beim Gebrauch des Druckmessgerätes und für Transportschäden bei der Weitergabe oder Rückgabe haftet der Träger des betroffenen Kalibrierlaboratoriums. Der Abschluss einer dem Wert des Druckmessgerätes (insgesamt 7000,- €) entsprechende Versicherung wird empfohlen.

Messanleitung

Das Druckmessgerät wird mit einem Druckadapter zur Verfügung gestellt. Die Verbindung zum eigenen Bezugsnormal sollte per Hand angezogen werden.

Nach dem Aufbau muss dem Druckmessumformer ausreichend Zeit zum Erlangen der Umgebungstemperatur gegeben werden.

Es darf nur ein einziges Bezugsnormal benutzt werden.

Nach dem Anschließen des Druckmessgerätes muss es mindestens 3 Stunden vor Messbeginn eingeschaltet werden.

Die Oberfläche der Dichtfläche des Druckanschlusses wird als Referenzebene festgelegt. Das Druckmedium ist Stickstoff oder Luft. Sollten die Referenzebene des Druckmessgerätes und die des Bezugsnormals unterschiedliche Höhen aufweisen, muss die Höhe der Gassäule zwischen beiden Ebenen gemessen und im Messprotokoll aufgeschrieben werden.

Ablesungen an der Digitalanzeige ist in der Einheit mbar.

Die Kalibrierung wird in Anlehnung an die DKD R-6-1, Ausgabe 2002 wie folgt ausgeführt:

1. Die Schalterstellungen müssen wie folgt sein: Zero Set = OFF
und ON/OFF = ON
2. Das Druckmessgerät wird **nicht** dreimal vorbelastet
3. Das Druckmessgerät muss mindestens eine halbe Stunde evakuiert werden. Dann wird der „Nullpunkt“ gemessen. Dabei ist der Druckwert des Bezugsnormal die Anzeige des „Restgasdruckmessgerätes“ (z.B.: Wärmeleitungsvakuummeter). Diese und die Anzeige des Druckmessgerätes ist zu protokollieren.
4. Erzeugen Sie Drücke von 10-20-30-40-50-60-70-80-90% des max. Druckwertes des Bezugsnormal. Warten Sie 3 Minuten, bis sich die Temperatur stabilisiert hat, bevor Sie den entsprechenden Anzeigewert (mbar) ablesen.
5. Erzeugen Sie $p_e = \text{max. Druckwert des Bezugsnormal}$, **jedoch nicht größer als 3 bar**. Nehmen Sie die entsprechende Ablesung nach 3 Minuten vor. Lesen Sie nach weiteren 10 Minuten zum 2. Mal ab.
6. Wiederholen Sie Schritt 5 in umgekehrter Reihenfolge.
7. Der Nullpunktswert wird nach 3 Minuten Evakuierung am Restgasdruckmessgerät und Druckmessgerät abgelesen und protokolliert. Nach weiteren 10 Minuten ist eine nochmalige Ablesung und Protokollierung durchzuführen.
8. Wiederholen Sie die Schritte 3 bis 7 (2.Messzyklus).

Zeitplan

Das Umlaufschema (siehe Anhang) wurde mit Zustimmung der nationalen Akkreditierungskörperschaft festgelegt. Der Umlauf der Teile wird aus 2 Schleifen bestehen, getrennt durch eine Rekalibrierung des Druckmessgerätes im Referenzlaboratorium.

Berichte

Die teilnehmenden Laboratorien werden aufgefordert, ihre Ergebnisse auf den beigefügten Datenblätter niederzuschreiben und zusätzlich einen ihrer Standardkalibrierscheine auszugeben, der die DKD-5-Anforderung erfüllt und die nötigen Informationen zur Messunsicherheit nach DKD 3 einschließt.

Teilnehmendes Laboratorium:

Akkreditierungs-Nr.: **DKD-K-**

Kalibrierung eines Absolutdruckmessgerätes im Messbereich 3 bar

Kalibrierung des Druckmessumformers (Schritte 3 bis 7 der Kalibrierablauf)

Höhenunterschied zwischen den Druckreferenzebenen beträgt mm.

Zeit Min.	Absolutdruck		Druck- ablesungen mbar	Umgebungs- druck mbar	Umgebung s- temperatur °C
	nominal mbar	exakt			
	0	0,0	0		
	0	0,0			
	0	0,0			

Warten Sie bei jedem Druck 3 Minuten, bevor Sie ablesen.
 Warten Sie 10 Minuten, bevor Sie die letzte Nullablesung machen.

Teilnehmendes Laboratorium:

Akkreditierungs-Nr. : DKD-K-

Kalibrierung eines Absolutdruckmessgerätes im Messbereich 3 bar

Zusammenfassung der Ergebnisse

Mittelwerte von Druckablesungen beim gleichen angewandten Absolutdruck:

a) in Richtung des Druckanstiegs

b) in Richtung des Druckabfalls

1	2	3	4	5	6	7
		Referenz- Absolutdruck bar	Ablesungen (Mittelwert) mbar	Druckwerte aus den Ablesungen (Spalte 4) bar	Erw. Unsicherheit U der Druckwerte aus Spalte 5 mit $k=2$ bar	Beste Messmöglichkeit bar
a)	1.	0				
	2.					
	3.					
	4.					
	5.					
	6.					
	7.					
	8.					
	9.					
	10.					
	11.					
b)	12.					
	13.					
	14.					
	15.					
	16.					
	17.					
	18.					
	19.					
	20.					
	21.					
	22.	0				