

Physikalisch- Technische Bundesanstalt



DKD

**Vergleichsbericht
DKD-V 10.1**

**Bericht über den DKD-Ringvergleich
nach DIN 51309:2005-12:
statische Drehmomente
von 20 N·m bis 200 N·m**

D. Röske

Ausgabe 05/2014

Herausgegeben vom Deutschen Kalibrierdienst (DKD) unter der Schirmherrschaft der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB).

Copyright © 2014 by DKD

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen und Übersetzungen.

Deutscher Kalibrierdienst (DKD)

Im DKD waren Kalibrierlaboratorien von Industrieunternehmen, Forschungsinstituten, technischen Behörden, Überwachungs- und Prüfinstitutionen seit der Gründung 1977 zusammengeschlossen. Am 03. Mai 2011 erfolgte die Neugründung des DKD als *technisches Gremium* der PTB und der akkreditierten Laboratorien.

Dieses Gremium trägt die Bezeichnung Deutscher Kalibrierdienst (DKD) und steht unter der Leitung der PTB. Die vom DKD erarbeiteten Richtlinien und Leitfäden stellen den Stand der Technik auf dem jeweiligen technischen Fachgebiet dar und stehen der Deutschen Akkreditierungsstelle GmbH (DAkkS) für die Akkreditierung von Kalibrierlaboratorien zur Verfügung.

Die akkreditierten Kalibrierlaboratorien werden von der DAkkS als Rechtsnachfolgerin der Akkreditierungsstelle des DKD akkreditiert und überwacht. Sie führen Kalibrierungen von Messgeräten und Maßverkörperungen für die bei der Akkreditierung festgelegten Messgrößen und Messbereiche durch. Die von ihnen ausgestellten Kalibrierscheine sind ein Nachweis für die Rückführung auf nationale Normale, wie sie von der Normenfamilie DIN EN ISO 9000 und der DIN EN ISO/IEC 17025 gefordert wird.

Kalibrierungen der akkreditierten Laboratorien geben dem Anwender Sicherheit für die Verlässlichkeit von Messergebnissen, erhöhen das Vertrauen der Kunden und die Wettbewerbsfähigkeit auf dem nationalen und internationalen Markt und dienen als messtechnische Grundlage für die Mess- und Prüfmittelüberwachung im Rahmen von Qualitätssicherungsmaßnahmen.

Veröffentlichungen: siehe Internet

Kontakt:

Deutscher Kalibrierdienst (DKD)
unter Schirmherrschaft der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB)
Geschäftsstelle in der PTB
Bundesallee 100 38116 Braunschweig
Postfach 33 45 38023 Braunschweig
Telefon Sekretariat: (05 31) 5 92-83 06
Internet: www.dkd.eu

INHALTSVERZEICHNIS

Seite

Vorwort	4
Kurzfassung	5
Verwendete Abkürzungen	5
1. Allgemeine Informationen über den Ringvergleich	6
2. Messbereich	6
3. Teilnehmer	6
4. Vergleichsschema und Zeitplan	8
5. Verwendete TransfERNormale	8
6. Stabilität der Normale	9
7. Messergebnisse und Auswertungen	14
00101 – HBM (DAkkS-Nr.: D-K-12029-01-00).....	15
09301 – Schatz (DAkkS-Nr.: D-K-17572-01-00).....	16
37801 – Lorenz (DAkkS-Nr.: D-K-17603-01-00).....	17
49301 – MPA DA (DAkkS-Nr.: D-K-11048-01-00)	18
10401 – GTM (DAkkS-Nr.: D-K-15106-01-00).....	19
37701 – Staiger (jetzt Kistler Lorch, DAkkS-Nr.: D-K-17650-01-00)	20
41401 – TBB-ITS (jetzt: Atlas Copco, DAkkS-Nr.: D-K-17447-01-01)	21
47801 – DmS (DAkkS-Nr.: D-K-15165-01-00).....	22
08001 – Ford (DAkkS-Nr.: D-K-15088-01-00).....	23
19801 – DSM (DAkkS-Nr.: D-K-15152-01-00).....	24
51101 – Deprag	25
Porsche	26
TÜV AT.....	27
24801 – KDK (DAkkS-Nr.: D-K-15180-01-00).....	28
50601 – Q-direct (DAkkS-Nr.: D-K-15001-01-00).....	29
8. Bewertung des Ringvergleichs	32
Referenzen	32

Vorwort

DKD-Vergleichsberichte verfolgen das Ziel, die Ergebnisse von Vergleichsmessungen offenzulegen, die im Rahmen des Deutschen Kalibrierdienstes organisiert, durchgeführt bzw. ausgewertet wurden. Sie enthalten zahlreiche Informationen über die Messfähigkeiten der teilnehmenden Kalibrierlaboratorien und die Vergleichbarkeit von Messungen. In den Vergleichsberichten wird die Sichtweise der Autoren wiedergegeben, die nicht notwendigerweise in allen Details der Sichtweise des Vorstands oder der Fachausschüsse des DKD entsprechen muss.

Die DKD-Vergleichsberichte sollen die im Vergleich untersuchten Aspekte und Ergebnisse der Kalibrierung darstellen und durch die Publikation im Rahmen des DKD der großen Gemeinschaft der Kalibrierlaboratorien national und international zugänglich machen.

Der vorliegende DKD-Vergleichsbericht wurde vom Vorstand des DKD im Mai 2014 genehmigt.

Dr. Dirk Röske, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Bundesallee 100,
38116 Braunschweig

BERICHT

über den DKD-Ringvergleich nach DIN 51309:2005-12: statische Drehmomente von 20 N·m bis 200 N·m

Dr. Dirk Röske
Physikalisch-Technische Bundesanstalt
Fachbereich 1.2 „Festkörpermechanik“
Arbeitsgruppe 1.22 „Darstellung Drehmoment“
Bundesallee 100
D-38116 Braunschweig
Telefon: +49 531-592 1131
Fax: +49 531-592 691131
E-Mail: dirk.roeske@ptb.de



Kurzfassung

Auf der 15. Sitzung des DKD-Fachausschusses „Drehmoment“ am 07. und 08. Oktober 2009 in Rüper wurde beschlossen, einen DKD-Vergleich nach der Kalibriernorm DIN 51309:2005-12 durchzuführen. Ziel des Ringvergleiches soll es sein, die in den teilnehmenden Laboratorien angewandten Kalibrierverfahren, die eingesetzten Bezugsnormale sowie die Ergebnisberichte (Kalibrierscheine) untereinander zu vergleichen, die Übereinstimmung mit den Anforderungen an Kalibrierlaboratorien für die Größe Drehmoment nachzuweisen bzw. Abweichungen festzustellen und gegebenenfalls Korrekturmaßnahmen einzuleiten. Im Ergebnis kann festgestellt werden, dass der Ringvergleich eine hervorragende Übereinstimmung der Messergebnisse der 15 Teilnehmer erbracht hat und damit als sehr gute Bestätigung der Einhaltung der von den Laboren ausgewiesenen bzw. der akkreditierten Messunsicherheiten gelten kann.

Verwendete Abkürzungen

abs. - absolut
DAkKS - Deutsche Akkreditierungsstelle
DIN - Deutsches Institut für Normung
DKD - Deutscher Kalibrierdienst
EW - Endwert (Kalibrierergebnis bei maximalem Drehmomentbetrag)
MW - Mittelwert (arithmetischer Mittelwert aus einer Anzahl von Messwerten)
PTB - Physikalisch-Technische Bundesanstalt
rel. - relativ
rel. Änd. - relative Änderung
RV - Ringvergleich
v/n - vor/nach Einbau
bmc - best measurement capability (kleinste angebbare Messunsicherheit)

1. Allgemeine Informationen über den Ringvergleich

Auf der 15. Sitzung des DKD-Fachausschusses „Drehmoment“ am 07. und 08. Oktober 2009 in Rüper wurde beschlossen, einen DKD-Vergleich nach der Kalibriernorm DIN 51309:2005-12 durchzuführen. Die PTB, Arbeitsgruppe 1.22 „Darstellung Drehmoment“ hat dazu ein Technisches Protokoll erstellt, das ebenfalls über die Website des Fachausschusses im Internet verfügbar ist.

Ziel des Ringvergleiches soll es sein, die in den teilnehmenden Laboratorien angewandten Kalibrierverfahren, die eingesetzten Bezugsnormale sowie die Ergebnisberichte (Kalibrierscheine) untereinander zu vergleichen, die Übereinstimmung mit den Anforderungen an Kalibrierlaboratorien für die Größe Drehmoment nachzuweisen bzw. Abweichungen festzustellen und gegebenenfalls Korrekturmaßnahmen einzuleiten.

In diesem Bericht werden für die Teilnehmer die Nummern der DKD-Kürzel bzw. die Firmenkürzel verwendet.

2. Messbereich

Es wurde ein Messbereich von 200 N·m vereinbart, wobei 8 Stufen, beginnend bei 20 N·m in 20 N·m Schritten unter Auslassung der Stufen 140 N·m und 180 N·m gemessen wurden. Es war in drei verschiedenen, um jeweils 120° gedrehten Einbaustellungen zu messen.

3. Teilnehmer

In Tabelle 1 sind die 15 Teilnehmer und die PTB als Pilotlabor zusammengestellt. Es handelt sich dabei um alle für diesen Messbereich und diese Norm akkreditierten Laboratorien – für die eine Teilnahme am Vergleich Pflicht ist –, sowie um weitere Interessenten, die entsprechende Kalibriermöglichkeiten haben. Wenn es bei einem Labor mehrere Einrichtungen gab, mit denen der Messbereich abgedeckt werden kann, dann war die mit der kleinsten Messunsicherheit zu wählen. Auf freiwilliger Basis konnte ein Teilnehmer auch Messungen auf verschiedenen Maschinen durchführen.

Tabelle 1: Teilnehmer des DKD-RVs 200 N·m mit der damals gültigen DKD-Nummer (in Klammer: DAkkS-Nummer)

Firma, Labor DKD-Nr. (DAkkS-Nr.)	Ansprechpartner, Adresse	
HBM DKD-K-00101 (D-K-12029-01-00)	Hans-Jörg Fraiss E-Mail dkdc@hbm.com Telefon (06151) 803-436 Fax (06151) 803-590	Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH Kalibrierlaboratorium Im Tiefen See 45 64293 Darmstadt
Ford DKD-K-08001 (D-K-15088-01-00)	Wigbert Kohl E-Mail wkohl@ford.com Telefon (02 21) 903-4308 Fax (02 21) 903-5139	Ford-Werke GmbH Abt. MC / 4-C19 Spessart Straße 50725 Köln
Schatz DKD-K-09301 (D-K-17572-01-00)	Frank Hornig E-Mail frank.hornig@schatz-mail.de Ab Januar 2013: Dr. Ludwig Freise E-Mail ludwig.freise@schatz-mail.de Telefon (02191) 698-237 Fax (02191) 600-23	Schatz AG Kölner Straße 71 42897 Remscheid
GTM DKD-K-10401 (D-K-15106-01-00)	Daniel Schwind E-Mail daniel.schwind@gtm-gmbh.com Telefon (06257) 9720-28 Fax (06257) 9720-77	Gassmann Testing and Metrology GmbH Philipp-Reis-Straße 6 64404 Bickenbach
DSM DKD-K-19801 (D-K-15152-01-00)	Arthur Schiele E-Mail schiele@dsm-messtechnik.de Telefon (07361) 571-726 Fax (07361) 571-724	DSM Messtechnik GmbH Dieselstraße 16 73431 Aalen

KDK DKD-K-24801 (D-K-15180-01-00)	Dr. Gerald Jahn E-Mail gerald.jahn@kdkgmbh.de Telefon (06222) 305 38-0 Fax (06222) 305 38-18	Kalibrierdienst Kopp GmbH In den Ziegelwiesen 25 69168 Wiesloch
Staiger (neu: Kistler Lorch) DKD-K-37701 (D-K-17650-01-00)	Jürgen Eckstein E-Mail juergen.eckstein@kistler.com Telefon (07172) 184-0 Fax (07172) 184-500	Kistler Lorch GmbH Maierhofstraße 35 73547 Lorch
Lorenz DKD-K-37801 (D-K-17603-01-00)	Dr. Wilfried Krimmel Ab Januar 2013: Alfred Botscher E-Mail info@lorenz-messtechnik.de Telefon (07172) 93730-0 Fax (07172) 93730-22	Lorenz Messtechnik GmbH Obere Schlossstraße 131 73553 Alfdorf
TBB-ITS (neu: Atlas Copco) DKD-K-41401 (D-K-17447-01-00)	Daniel Reissiger E-Mail daniel.reissiger@tbb-its.de Telefon (08731) 3758-40 Fax (08731) 3758-70	Atlas Copco Tools Central Europe GmbH Bayernwerkstraße 112 84130 Dingolfing
DmS Dr. Peschel DKD-K-47801 (D-K-15165-01-00)	Dr. Diedert Peschel E-Mail peschel@drehmomentenservice.de Telefon (05303) 9411-05 Fax (05303) 9411-06	DrehmomentService Dr. Peschel Kirchweg 5 38176 Wendeburg, OT Neubrück
MPA DA DKD-K-49301 (D-K-11048-01-00)	Prof. Dr.-Ing. Reinhard Tscheuschner E-Mail tscheuschner@mpa-ifw.tu- darmstadt.de Telefon (06151) 162-651 Fax (06151) 166-051	Staatliche Materialprüfanstalt Darmstadt Institut für Werkstoffkunde Technische Universität Darmstadt Grafenstraße 2 64283 Darmstadt
Q-direct DKD-K-50601 (D-K-15001-01-00)	Joachim Küster E-Mail joachim.kuester@q-direct.eu Telefon (08731) 3257-277 Fax (08731) 3257-279	Q-direct GmbH Zeppelinstraße 2 84180 Loiching-Kronwieden
Deprag DKD-K-51101 (D-K-18255-01-00)	Carsten Rosenkranz E-Mail cal-lab@deprag.de Telefon (09621) 371-0 Fax (09621) 371-199	Kalibrierlaboratorium der DEPRAG SCHULZ GmbH u. CO. Kurfürstenring 12 - 18 (jetzt: Carl-Schultz-Platz 1) 92224 Amberg
TÜV AT ohne	Dr. Erwin Guschelbauer E-Mail erwin.guschelbauer@tuev.at Telefon +43 (0)1 610 91-6760 Fax +43 (0)1 610 91-6765	TÜV AUSTRIA SERVICES GMBH Deutschstraße 10 1230 Wien Österreich
Porsche ohne	Wolfgang Proebster E-Mail Wolfgang.Proebster@porsche.de Telefon (0711) 911 - 83652 Fax (0711) 911 - 83819	Porsche AG Abteilung EEH7 Kalibriertechnik Porschestraße 911 71287 Weissach
PTB ohne	Dr. Dirk Röske E-Mail dirk.roeske@ptb.de Telefon (0531) 592 - 1131 Fax (0531) 592 - 691131	Physikalisch-Technische Bundesanstalt Arbeitsgruppe 1.22 „Darstellung Drehmoment“ Bundesallee 100 38116 Braunschweig

4. Vergleichsschema und Zeitplan

Tabelle 2: Detaillierter Zeitplan des DKD-Ringvergleichs 20 N·m - 200 N·m

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31							
2010																																						
Feb	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So			
								PTB1							7. KW							HBM																
Mär	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So			
	9. KW							PTB2							11. KW							GTM							13. KW									
Apr	Do	Fr	Sa	So	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So	Mo	Di	Mi	Do	Fr	
								DSM							15. KW							PTB3							17. KW									
Mai	Sa	So	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So	
	Schatz							19. KW							Ford							21. KW							PTB4									
Jun	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So	Mo	Di	Mi	
	PTB4							23. KW							Staiger							25. KW							PTB5									
Jul	Do	Fr	Sa	So	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa
	PTB5							27. KW							Lorenz							29. KW							30. KW									
Aug	So	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So	Mo	Di
	31. KW							PTB6							33. KW							34. KW							TBB-									
Sep	Mi	Do	Fr	Sa	So	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So	Mo	Di	Mi	Do	
	ITS							Q-direct							37. KW							PTB7							39. KW									
Okt	Fr	Sa	So	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So
	MPA DA							41. KW							Deprag							43. KW							PTB8									
Nov	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So	Mo	Di	
	PTB8							45. KW							DmS Dr. Peschel							47. KW							TÜV AT									
Dez	Mi	Do	Fr	Sa	So	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So	Mo	Di	Mi	Do	Fr
	TÜV AT							49. KW							PTB9							Porsche, KDK, PTB in 2011																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31							
	Messung im Pilotlabor											Versand der Normale											Messung beim Teilnehmer															

Um allgemein den Transport- und insbesondere auch den Kalibrieraufwand für das Pilotlabor zu reduzieren, wurde für diesen Ringvergleich eine Kombination von Stern- und Ringanordnung gewählt. Der umgesetzte Zeitplan ist in Tabelle 2 angegeben. Nach spätestens zwei Teilnehmern kamen die Messgeräte wieder zurück zum Pilotlabor und wurden dort einer verkürzten Zwischenprüfung unterzogen. Das Pilotlabor selbst nahm zu Beginn und am Ende des Vergleichs mit einer vollständigen Kalibrierung teil.

5. Verwendete Transfernormale

Die folgenden Transfernormale fanden Einsatz:

200 N·m, Typ TB2 (mit fest verbundenen Adaptern auf zylindrische Wellenenden)

- Hersteller Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH, Deutschland
- Seriennummer #080830117
- Abmessungen \varnothing 103 mm x 253 mm (mit Adaptern)

- Adaption $\varnothing 50_{h7}$ mm x 80 mm (Adapter auf zylindrische Wellenenden an beiden Enden)
- Masse 5,7 kg (mit Adaptern)
- Verpackung in einer Kunststofftüte in der Transportbox
- Sensortyp DMS-Aufnehmer
- Kabel TB2 LEMO 06-1.22, 6-Leiter, Lemo FGG6 (Aufnehmer) – DB-15, 3 m

200 N·m, Typ TT1

- Hersteller Raute Precision OY, Finnland
- Seriennummer 36077-00, Brücke M1
- Abmessungen $\varnothing 57$ mm x 224 mm
- Adaption $\varnothing 30_{h7}$ mm x 60 mm zylindrische Wellenenden an beiden Enden
- Masse 1,4 kg
- Verpackung in einer Kunststofftüte in der Transportbox
- Sensortyp DMS-Aufnehmer
- Kabel K010-1.22, 6-Leiter, DB-15 (Aufnehmer) – DB-15, 3 m

Zusätzliche Geräte:

Brückenkilibrator K148

- Hersteller Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH, Deutschland
- Typ K148
- Seriennummer K148-0100
- Abmessungen 330 mm x 270 mm x 75 mm
- Masse 3,5 kg mit Netzgerät
- Kabel K148-single Channel, Netzgerät mit Kaltgerätekabel

Datenlogger

- Hersteller MSR Electronics, Schweiz
- Typ MSR 145
- Seriennummer 302434
- Abmessungen 70 mm x 40 mm x 22 mm
- Masse 0,1 kg

Seriell RS-232 Kabel ohne Nummer

Der Datenlogger MSR145 diente zur Aufzeichnung von Temperatur und Luftfeuchte beim Transport. Er war während der Messung in der Nähe des gerade in der Kalibrierung befindlichen Aufnehmers zu lagern.

6. Stabilität der Normale

Für aussagekräftige Vergleichsmessungen ist die Langzeitstabilität der Transfornormale von großer Wichtigkeit. Die Ergebnisse im Pilotlabor zeigten, dass diese hinreichend gut war. Über einen Zeitraum von 16 Monaten wurden in der PTB insgesamt 12 Messungen mit jeweils beiden Aufnehmern durchgeführt.

Im Folgenden werden in zweiseitigen Abschnitten die Ergebnisse des TT1 Aufnehmers jeweils im linken, die des TB2 Aufnehmers im rechten Bild dargestellt. Analog wird bei Diagrammen, die sich über die gesamte Seitenbreite erstrecken, zuerst das des TT1 gebracht, woran sich das des TB2 anschließt.

Die Bilder 1 und 2 zeigen eine qualitative Bewertung, die für alle Messungen vorgenommen wurde, hier am Beispiel der Messung PTB07. Die relativen Abweichungen der tarierten Einzelergebnisse für jede Messreihe von ihrem zugehörigen Mittelwert sind ein Maß für den Dreheinfluss und damit für die Güte der Ausrichtung der Maschine bzw. für die Empfindlichkeit des Aufnehmers für diesen Einfluss. Für beide Aufnehmer ist die Streuung der Werte hinreichend klein, so dass sowohl die Normalmesseinrichtung als auch die Aufnehmer für den Vergleich geeignet erscheinen. Die Bilder 3 und 4 zeigen die relativen Abweichungen der Ergebnisse der Einzelmessungen (Mittelwert über die drei

Einbaustellungen, nur betragsmäßig ansteigendes Drehmoment) im Pilotlabor von ihrem zugehörigen Mittelwert. Die Werte verdeutlichen die Reproduzierbarkeit der Messungen über einen längeren Zeitraum und damit die **Langzeitstabilität**.

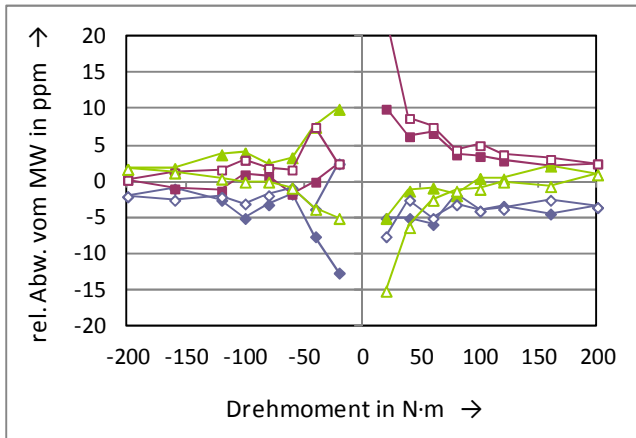


Bild 1: Messung PTB07 – Beispiel für die qualitative Bewertung eines Messergebnisses des TT1 im Pilotlabor: Relative Abweichungen der Ergebnisse der drei Messreihen, bezogen auf deren gemeinsamen Mittelwert, (Einbaustellungen: 1 – Raute, 2 – Quadrat, 3 – Dreieck, gefüllte Symbole: Aufwärtsreihen, leere Symbole: Abwärtsreihen)

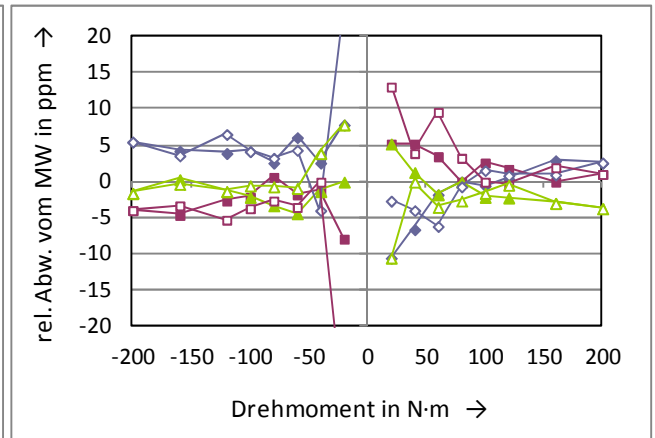


Bild 2: Messung PTB07 – Beispiel für die qualitative Bewertung eines Messergebnisses des TB2 im Pilotlabor: Relative Abweichungen der Ergebnisse der drei Messreihen, bezogen auf deren gemeinsamen Mittelwert, (Einbaustellungen: 1 – Raute, 2 – Quadrat, 3 – Dreieck, gefüllte Symbole: Aufwärtsreihen, leere Symbole: Abwärtsreihen)



Bild 3: Langzeitstabilität des TT1:
Oben: Relative Abweichungen der Ergebnisse der einzelnen Kalibrierungen (Mittelwert der drei Messreihen, nur ansteigender Drehmomentbetrag) im Pilotlabor bezogen auf den gemeinsamen Mittelwert
Unten: Messwert bei einem Drehmoment von 200 N·m während der zwölf Messungen im Pilotlabor, gestrichelt: Mittelwert $\cdot (1 \pm 0,002\%)$

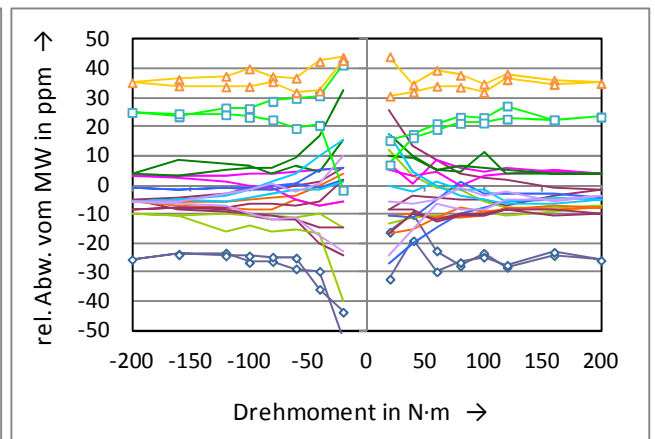
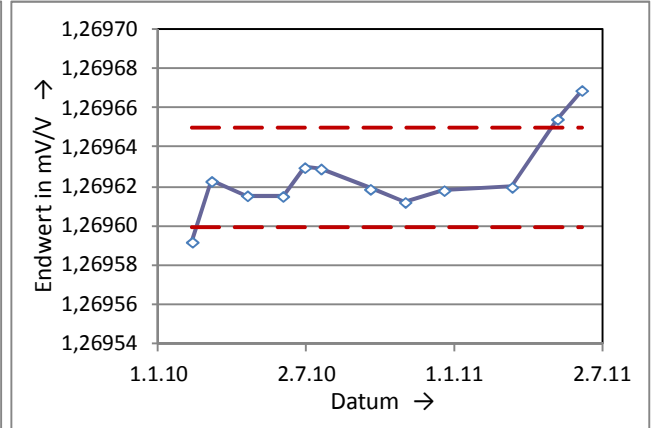
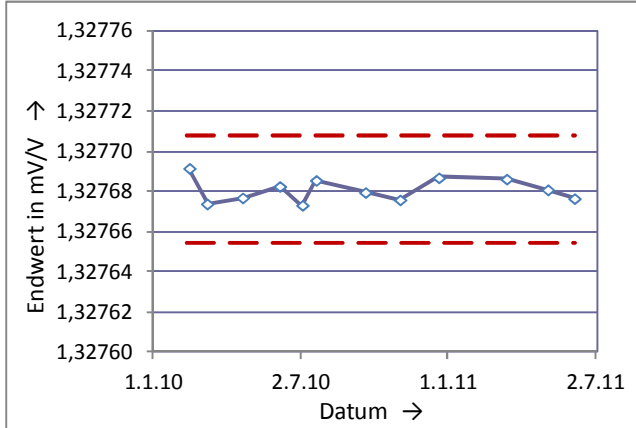


Bild 4: Langzeitstabilität des TB2:
Oben: Relative Abweichungen der Ergebnisse der einzelnen Kalibrierungen (Mittelwert der drei Messreihen, nur ansteigender Drehmomentbetrag) im Pilotlabor bezogen auf den gemeinsamen Mittelwert
Unten: Messwert bei einem Drehmoment von 200 N·m während der zwölf Messungen im Pilotlabor, gestrichelt: Mittelwert $\cdot (1 \pm 0,002\%)$.



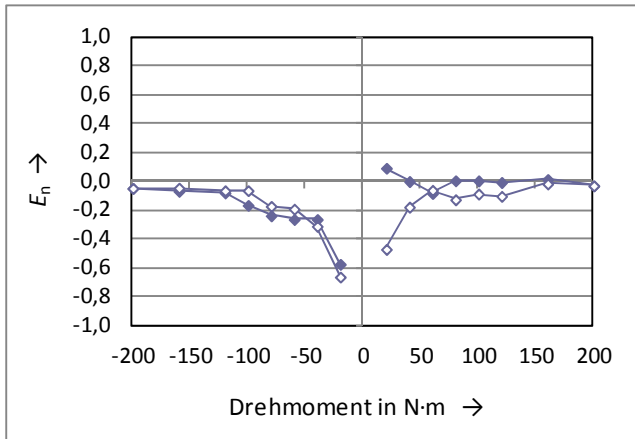


Bild 5: Messung PTB07 – Beispiel für die qualitative Bewertung eines Messergebnisses des TT1 im Pilotlabor: E_n -Faktor der Einzelmessung (Mittelwert der drei Messreihen) bezogen auf den Mittelwert aller Messungen im Pilotlabor (Symbole: voll – Aufwärtsreihen, leer – Abwärtsreihen)

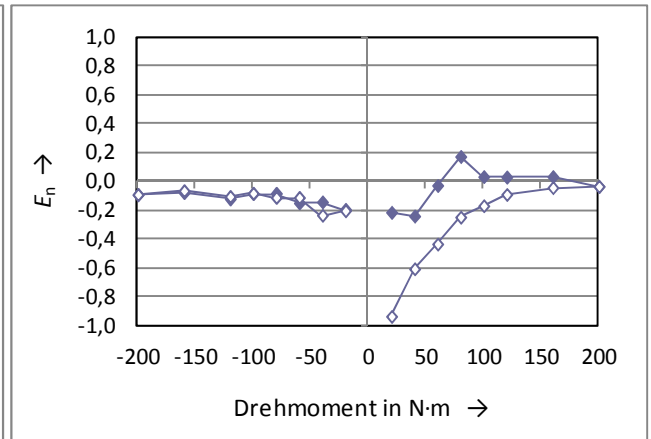


Bild 6: Messung PTB07 – Beispiel für die qualitative Bewertung eines Messergebnisses des TB2 im Pilotlabor: E_n -Faktor der Einzelmessung (Mittelwert der drei Messreihen) bezogen auf den Mittelwert aller Messungen im Pilotlabor (Symbole: voll – Aufwärtsreihen, leer – Abwärtsreihen)

Oben im Bild 4 ist zu erkennen, dass für den TB2-Aufnehmer die erste (Raute) und die letzten beiden Messungen (Quadrat und Dreieck) relativ stark von den anderen Ergebnissen abweichen. Im unteren Teil ist die Historie der Kennwerte aufgetragen. Auch hier sieht man sehr deutlich, dass die erste und die letzten beiden Messungen relativ stark vom Mittelwert abweichen. Dasselbe Verhalten konnte beim TT1-Aufnehmer nicht festgestellt werden (die jeweiligen Kurven sind in den oberen Diagrammen mit gleichen Symbolen dargestellt), deshalb kann man davon ausgehen, dass die Ursache für die Abweichung in einem unerkannten Einfluss dieses Aufnehmers liegt, vermutlich in einer Drift. Da die größten Abweichungen genau an Anfang und am Ende des Vergleichs beobachtet wurden, und die Auswirkungen auf die Laboratorien mit sehr kleinen Messunsicherheiten minimal gehalten werden sollten, wurden die genannten Messungen nicht bei der Ermittlung des Bezugswertes für den Vergleich berücksichtigt. Davon abgesehen zeigten die verwendeten Transfornormale eine sehr gute Langzeitstabilität. Alle im Bild 3 dargestellten Abweichungen des TT1-Aufnehmers liegen für den gesamten Zeitraum des Vergleichs bei maximal ± 22 ppm, entsprechend $\pm 2,2 \cdot 10^{-5}$. Die Messungen PTB2 bis PTB10 des TB2-Aufnehmers liegen zwischen ± 37 ppm, entsprechend $\pm 3,7 \cdot 10^{-5}$. Diese Stabilität ist für eine Vergleichsmessung auf dem Niveau von bestenfalls $1 \cdot 10^{-4}$ ausreichend. Um die Einflüsse einer Einzelmessung auf den Bezugswert des Vergleichs zu minimieren, wurden die Mittelwerte als Bezugswerte für die Bewertung der Ergebnisse der Teilnehmer festgelegt.

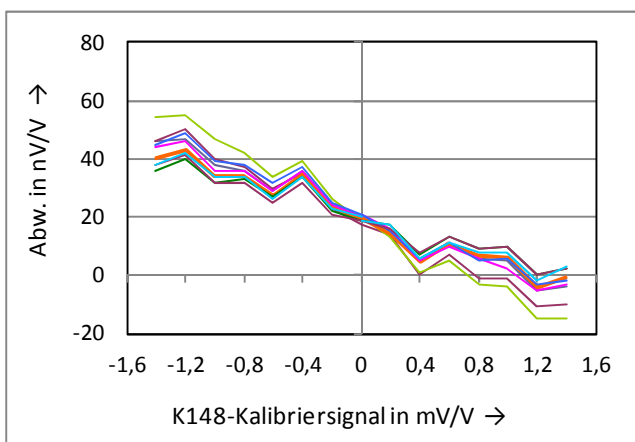


Bild 7: Stabilität des im Pilotlabor verwendeten Verstärkers in Kombination mit dem Brückennormal K148 über einen Zeitraum von elf Monaten (Kalibrierung vor der Messung des TT1 Aufnehmers)

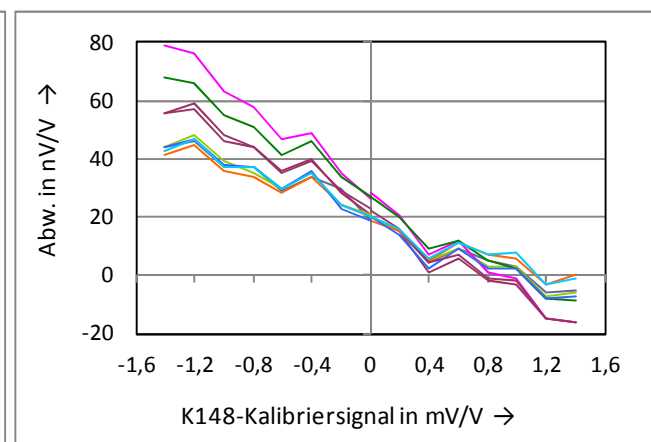


Bild 8: Stabilität des im Pilotlabor verwendeten Verstärkers in Kombination mit dem Brückennormal K148 über einen Zeitraum von elf Monaten (Kalibrierung vor der Messung des TB2 Aufnehmers)

Die verwendeten Messverstärker wurden mit dem mitgelieferten K148 kalibriert. Hierbei ging es weniger um eine absolute Kalibrierung der Verstärker, sondern um die Feststellung der Vergleichbarkeit der bei den Teilnehmern eingesetzten Geräte. Diese Kalibrierung wurde zweimal durchgeführt, einmal für jeden der beiden Aufnehmer. Die Stabilität des K148 und des in der PTB verwendeten DMP40 wurden bei den Messungen in der PTB überprüft. Die Bilder 7 und 8 zeigen die absoluten Abweichungen des DMP40 zum K148 während neun Zwischenmessungen in der PTB über einen Zeitraum von elf Monaten. Obwohl die Abweichungen im Extremfall bis zu 75 nV/V betragen konnten, waren diese doch sehr reproduzierbar (Spannweite in der Regel deutlich unter 50 nV/V).

Stabilität bei den Teilnehmern

Die Stabilität der TransfERNORMALE wurde über die Historie der Nullsignale, so wie sie von den Teilnehmern vor und nach dem Einbau in der Messeinrichtung gemessen wurden, bewertet. Diese Signale können Hinweise auf mögliche Überlastungen, eine Verspannung oder extreme Umwelteinflüsse liefern.

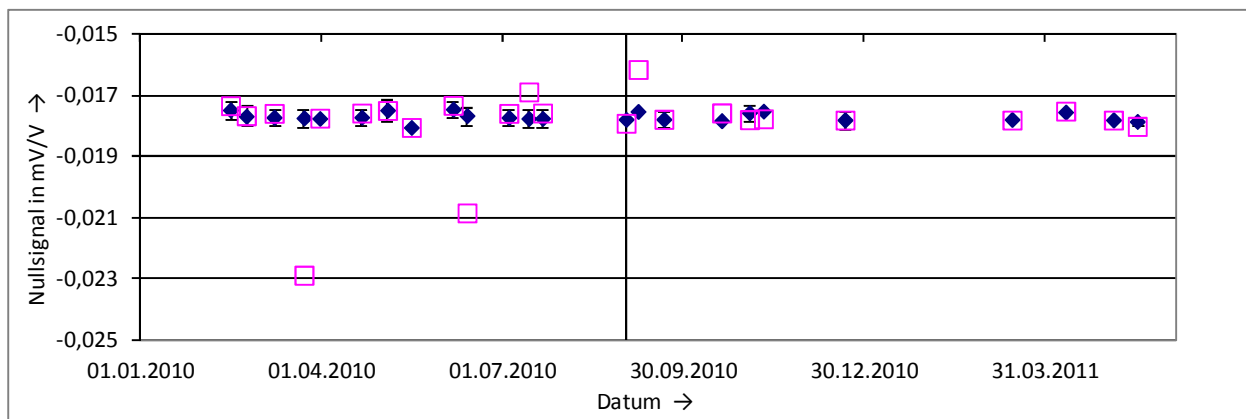


Bild 9: Historie der Nullsignale des TT1: die vor (Raute) und nach dem Einbau (leeres Quadrat) ermittelten Nullsignale; die Fehlerbalken stellen die gemessenen Remanenzen dar (nicht ermittelt für Labore, die tarierte Werte geliefert haben)

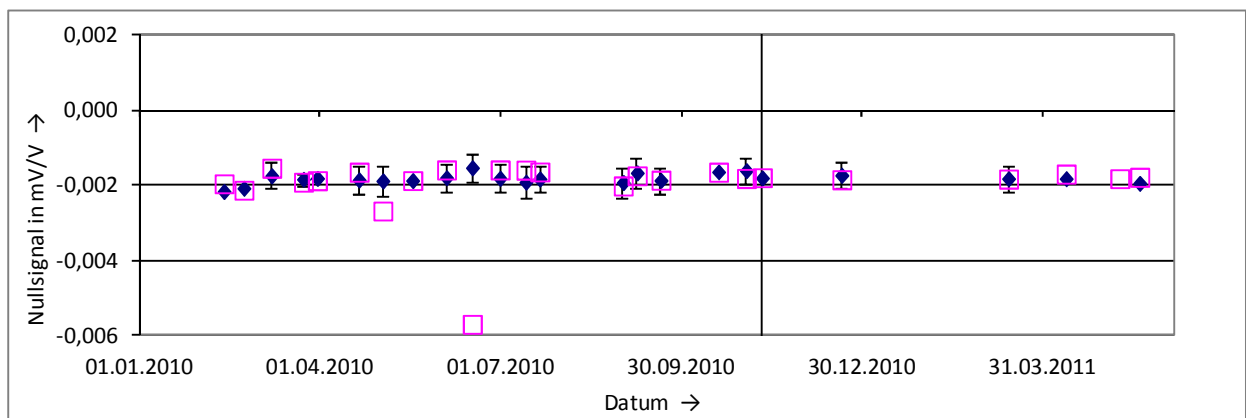


Bild 10: Historie der Nullsignale des TB2: die vor (Raute) und nach dem Einbau (leeres Quadrat) ermittelten Nullsignale; die Fehlerbalken stellen die gemessenen Remanenzen dar (nicht ermittelt für Labore, die tarierte Werte geliefert haben)

Wie aus den Bildern 9 und 10 zu erkennen ist, sind die Nullsignale infolge des Einbaus bei manchen Einrichtungen (10401, 37701) Änderungen unterworfen, die die Werte der Remanenz um ein Mehrfaches übersteigen können, aber mit 0,3% ... 0,4% bezogen auf den Endwert noch klein sind. Ursache können entsprechende Vorlasten oder eine nicht optimale Ausrichtung sein. Zu beachten sind auch die Veränderungen der Nullsignale (Max-Min) über die verschiedenen Einbaustellungen (siehe Tabellen 3 und 4). Insgesamt ergab sich kein Hinweis auf eine Drift oder einen Sprung in der Historie der **Nullsignale**.

Die ebenfalls in den Diagrammen wiedergegebene **Remanenz** wurde für die Labore, die entsprechende Werte geliefert hatten, berechnet und stimmte gut mit den Werten der PTB überein. Einziger 41401 lieferte einen um etwa den Faktor 100 (TT1) bzw. 70 (TB2) größeren

Wert. Bei Porsche (TT1) bzw. 37701 (TB2) sind die Werte der Remanenz nur etwa halb so groß und es wäre zu prüfen, wie die entsprechenden Nullsignale gemessen wurden.

Die genannten Werte sind zusammen mit weiteren Angaben, zum Beispiel den von den Laboren angegebenen Umgebungsbedingungen, in den Tabellen 3 und 4 zusammengestellt. Hierbei und im Folgenden wurden die Teilnehmer (Ausnahme: Pilotlabor) aufsteigend nach der kleinsten angebbaren Messunsicherheit („bmc“) geordnet. Bei gleichen Werten für „bmc“ wurde nach ansteigender DKD-Nummer sortiert. Die unterschiedlichen Angaben für Auflösung und Stabilität ergaben sich aus der Tatsache, dass einige Teilnehmer abweichende Messverstärker verwendet haben (19801: DMC, 24801: NI 9237).

Es zeigte sich, dass die sehr engen Vorgaben für die Umgebungsbedingungen nicht überall eingehalten wurden, wobei es natürlich eine Korrelation mit der angestrebten Messunsicherheit gibt, d. h. nur bei den kleinsten Messunsicherheiten von 0,01% und 0,02% sind sehr enge Toleranzen nötig. Auffällig sind hier die niedrigen Feuchtwerte in 09301 (nur TT1) sowie in 49301 bzw. die relativ hohen Temperaturen in 09301.

Tabelle 3: Zusammenstellung einiger Messwerte und Ergebnisse für den TT1-Aufnehmer

		bmc	Datum	TT1		Nullsignal v/n		rel. Änd. vom EW	Max-Min in mV/V	Remanenz in mV/V	Auflösung in mV/V	Stabilität in mV/V
				T in °C	rH in %	in mV/V	in mV/V					
00101	HBM	0,0001	23.02.2010	21,2	44,2	-0,017677	-0,017660	0,001%	0,000052	0,000327	0,000001	0,000001
09301	Schatz	0,0001	05.05.2010	22,3	27,2	-0,017480	-0,017490	-0,001%	0,000053	0,000335	0,000001	0,000003
37801	Lorenz	0,0001	15.07.2010	22	44,9	-0,017750	-0,016880	0,067%	0,000061	0,000302	0,000001	0,000002
49301	MPA DA	0,0001	11.04.2011	20,5	25	-0,017542	-0,017511	0,002%	-	-	0,000001	0,000002
10401	GTM	0,0002	27.03.2010	22	40	-0,017734	-0,022880	-0,396%	0,000497	0,000315	0,000001	0,000000
37701	Staiger	0,0002	14.06.2010	20	50	-0,017655	-0,020842	-0,245%	0,000038	0,000294	0,000001	0,000001
41401	TBB-ITS	0,0002	02.09.2010	21,5	40	-0,017780	-0,017910	-0,010%	0,000045	0,026851	0,000001	0,000002
47801	DmS	0,0002	10.11.2010	21,2	45	-0,017511	-0,017763	-0,019%	-	-	0,000001	0,000003
08001	Ford	0,0010	17.05.2010	21	48	-0,018045	-0,018046	0,000%	-	-	0,000001	0,000005
19801	DSM	0,0010	01.04.2010	23	43	-0,017750	-0,017740	0,001%	-	-	0,000025	0,000010
51101	Deprag	0,0010	20.10.2010	21,2	40,5	-0,017823	-0,017571	0,019%	-	-	0,000001	0,000004
-	Porsche	0,0010	17.05.2011	22,5	42	-0,017850	-0,018010	-0,012%	0,000420	0,000147	0,000001	0,000004
-	TÜV-AT	0,0010	01.12.2010	23,0	30	-0,01785	-0,01786	-0,001%	0,000040	0,000277	0,000001	0,000001
24801	KDK	0,0020	27.04.2011	20,0	-	0,000000	-0,000600	-0,046%	-	-	0,000001	0,000002
50601	Q-direct	0,0020	08.09.2010	21	46	-0,017520	-0,016150	0,105%	-	-	0,000001	0,000002
	PTB		Mittelwert	21,2	41,9	-0,017678	-0,017648	0,002%	0,000118	0,000286	0,000001	0,000001

Tabelle 4: Zusammenstellung einiger Messwerte und Ergebnisse für den TB2-Aufnehmer

		bmc	Datum	TB2		Nullsignal v/n		rel. Änd. vom EW	Max-Min in mV/V	Remanenz in mV/V	Auflösung in mV/V	Stabilität in mV/V
				T in °C	rH in %	in mV/V	in mV/V					
00101	HBM	0,0001	22.02.2010	21,2	44,7	-0,002073	-0,002122	-0,004%	0,000424	0,000419	0,000001	0,000001
09301	Schatz	0,0001	03.05.2010	22,4	35,2	-0,001877	-0,002675	-0,061%	0,000506	0,000412	0,000001	0,000003
37801	Lorenz	0,0001	14.07.2010	21,9	45	-0,001910	-0,001590	0,025%	0,000441	0,000388	0,000001	0,000002
49301	MPA DA	0,0001	12.04.2011	20,5	29,6	-0,001816	-0,001694	0,009%	-	-	0,000001	0,000002
10401	GTM	0,0002	24.03.2010	22	38	-0,001835	-0,001911	-0,006%	0,001883	0,000395	0,000001	0,000000
37701	Staiger	0,0002	17.06.2010	20	50	-0,001527	-0,005689	-0,320%	0,001749	0,000165	0,000001	0,000010
41401	TBB-ITS	0,0002	01.09.2010	21,5	40	-0,001920	-0,002010	-0,007%	0,000160	0,025761	0,000001	0,000002
47801	DmS	0,0002	10.11.2010	21,2	45	-0,001799	-0,001793	0,000%	-	-	0,000001	0,000003
08001	Ford	0,0010	18.05.2010	22	47	-0,001865	-0,001867	0,000%	-	-	0,000001	0,000005
19801	DSM	0,0010	31.03.2010	22,9	42	-0,001810	-0,001870	-0,005%	-	-	0,000025	0,000010
51101	Deprag	0,0010	19.10.2010	21,3	41	-0,001634	-0,001644	-0,001%	-	-	0,000001	0,000004
-	Porsche	0,0010	19.05.2011	22,5	42	-0,001940	-0,001780	0,012%	0,001060	0,000403	0,000001	0,000004
-	TÜV-AT	0,0010	02.12.2010	23,0	30	-0,00183	-0,00190	-0,005%	0,000050	0,000350	0,000001	0,000001
24801	KDK	0,0020	20.04.2011	20,0	-	0,000000	0,000100	0,008%	-	-	0,000001	0,000002
50601	Q-direct	0,0020	08.09.2010	21	46	-0,001660	-0,001740	-0,006%	-	-	0,000001	0,000002
	PTB		Mittelwert	21,1	41,7	-0,001780	-0,001703	0,006%	0,000295	0,000352	0,000001	0,000001

7. Messergebnisse und Auswertungen

Damit die Messwerte einem Vergleich unterzogen werden konnten, wurden die mit dem Brückennormal K148 an den vor Ort verwendeten Messverstärkern ermittelten Messwerte sowie die von dem mitgeschickten Datenlogger MSR145 lokal aufgezeichneten Werte für die Temperatur und die relative Luftfeuchte ausgewertet und grafisch dargestellt. Die Ergebnisse finden sich jeweils bei den zugehörigen Messwerten der Teilnehmer in den Bildern 11 – 100.

Die Daten zeigen, dass die **Verstärker** im Allgemeinen recht gut übereinstimmen. Für ein optimales Ergebnis wurden aber die Abweichungen der Messverstärker vom im Pilotlabor verwendeten DMP40 in den Messwerten der Teilnehmer durch Anbringung einer Korrektur berücksichtigt. Dabei wurde berechnet, inwieweit die einzelnen Verstärker unterschiedliche Steigungen der Kennlinien aufweisen. Dieser Unterschied wurde bei jedem Aufnehmer durch einen Korrekturfaktor berücksichtigt, der auf die tarierten und gemittelten Messwerte der Teilnehmer angewendet wurde. Eine Anpassung der zugeordneten Messunsicherheiten wurde nicht vorgenommen.

Die Einflüsse der **Umgebungsbedingungen** auf die Ergebnisse des Vergleichs sind für die Mehrzahl der Teilnehmer zu vernachlässigen. Die Referenzbedingungen für Temperatur und relative Luftfeuchte wurden von ihnen eingehalten. Größere Abweichungen gab es lediglich bei 09301, 49301 und TÜV AT. Bei diesen Laboratorien wurden die tarierten und gemittelten Messwerte bezüglich der abweichenden Temperaturen und relativen Luftfeuchten korrigiert. Das Verfahren entsprach dem beim International Ringvergleich CCM.T-K1. Es ist in [1] beschrieben. Die Parameter der Temperatur- und Feuchteabhängigkeit wurden ebenfalls aus den Messungen im Rahmen dieses internationalen Vergleichs entnommen, da es sich hier um gleiche Aufnehmertypen (TB2 und TT1) handelte. Sie betragen für die Temperatur beim Endwert 0,8 (nV/V)/K (TB2) und 1,5 (nV/V)/K (TT1) bzw. für die Feuchte beim Endwert 0,2 (nV/V)/%_{rF} (TB2) und -5,1 (nV/V)/%_{rF} (TT1). Im Unterschied zu CCM.T-K1 erfolgte jedoch keine Anpassung der zugeordneten Messunsicherheiten.

Für jeden Teilnehmer wurden die **Messergebnisse** einer qualitativen Bewertung analog zu den Bildern 1 und 2 unterzogen, um Einflüsse der Ausrichtung der Anlagen aufzudecken. Dabei wurde die Skalierung an die kleinste angebbare Messunsicherheit angepasst, Abweichungen davon sind fett und rot hervorgehoben.

Die hinsichtlich des Verstärkers und – wo notwendig – auch der Umgebungsbedingungen korrigierten Messwerte wurden abschließend zur Berechnung der E_n -Werte herangezogen. Diese werden in der Regel nach (1) berechnet:

$$E_n = \frac{X_{\text{Lab}} - X_{\text{Ref}}}{\sqrt{U_{\text{Lab}}^2 + U_{\text{Ref}}^2}} \quad (1)$$

In diesem Vergleich wurden die Eigenschaften der Transferaufnehmer aber in dem Sinne vernachlässigt, dass als Messunsicherheiten im Nenner der Formel die akkreditierten „bmc“-Werte verwendet wurden, so dass ein etwas schärferes Kriterium (2) mit $U_{\text{Lab,bmc}} < U_{\text{Lab}}$ zum Ansatz kam:

$$E_n = \frac{X_{\text{Lab}} - X_{\text{Ref}}}{\sqrt{U_{\text{Lab,bmc}}^2 + U_{\text{Ref,bmc}}^2}} \quad (2)$$

Der Grund dafür liegt darin, dass eine große Messunsicherheit des Kalibrierergebnisses, unter anderem durch eine ungenügende Ausrichtung der Messeinrichtung, die Erfüllung des Kriteriums $|E_n| < 1$ erleichtert und das betreffende Labor damit tendenziell begünstigt.

Die E_n -Werte wurden für alle Messpunkte, also für betragsmäßig steigendes und fallendes Drehmoment, bestimmt und grafisch dargestellt.

Typ der Messeinrichtung: Direktbelastung

Messachse: horizontal

Kleinste angebbare Messunsicherheit ($k = 2$):

$1 \cdot 10^{-4}$

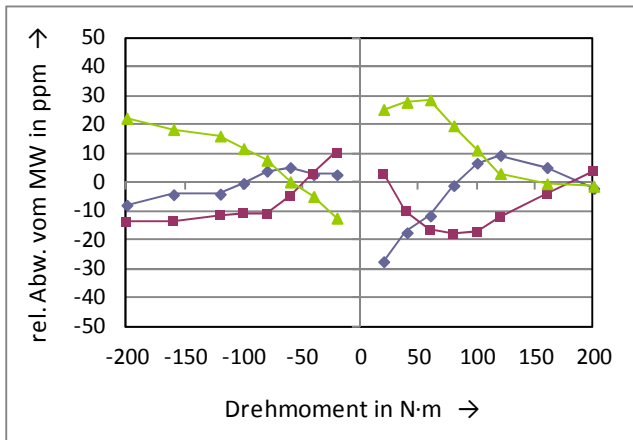


Bild 11: Relative Abweichungen der Ergebnisse der drei Messreihen des TT1-Aufnehmers (nur betragsmäßig ansteigendes Drehmoment) bezogen auf deren gemeinsamen Mittelwert (Einbaustellungen: 1 – Raute, 2 – Quadrat, 3 – Dreieck)

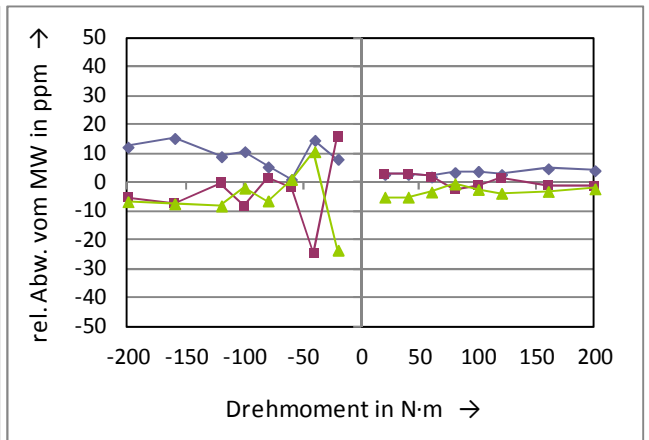


Bild 12: Relative Abweichungen der Ergebnisse der drei Messreihen des TB2-Aufnehmers (nur betragsmäßig ansteigendes Drehmoment) bezogen auf deren gemeinsamen Mittelwert (Einbaustellungen: 1 – Raute, 2 – Quadrat, 3 – Dreieck)

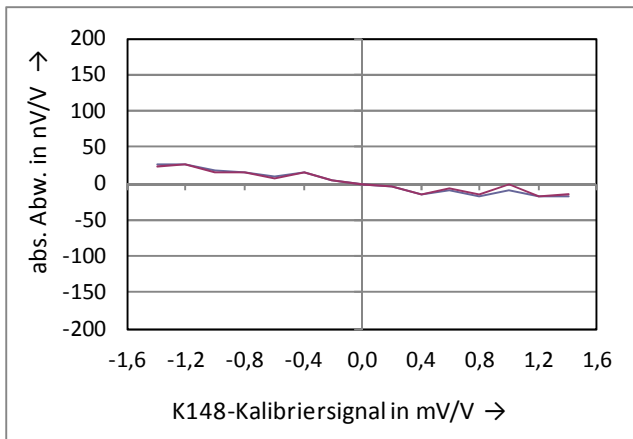


Bild 13: Absolute Abweichungen der Signale des verwendeten Verstärkers (DMP40) von den Kalibriersignalen des Brückennormals K148, eine Messung für jedes der beiden Transferrnormale

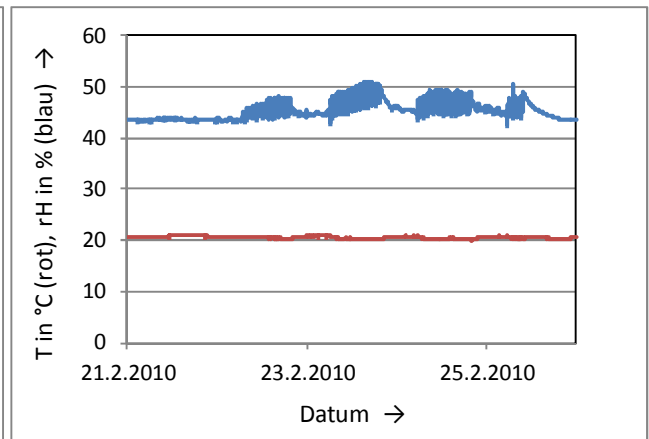


Bild 14: Temperatur (rote Kurve) und relative Luftfeuchtigkeit (blaue Kurve) vor, während und nach den Messungen

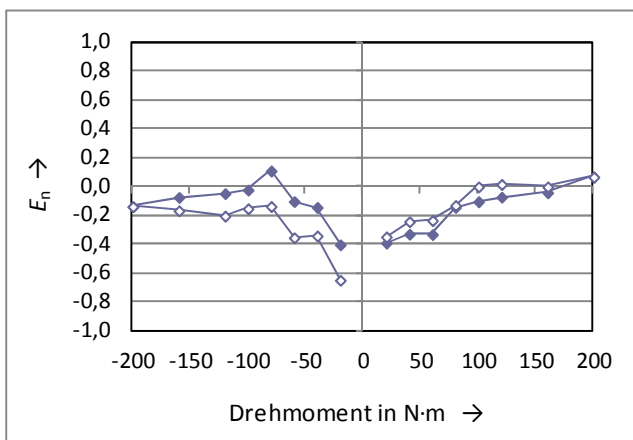


Bild 15: Berechnete E_n -Faktoren für das Messergebnis des TT1-Aufnehmers (volles Symbol – steigendes Drehmoment, leeres Symbol – fallendes Drehmoment)

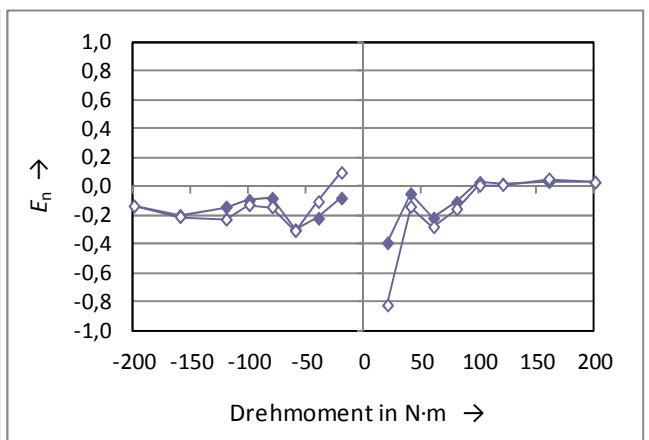


Bild 16: Berechnete E_n -Faktoren für das Messergebnis des TB2-Aufnehmers (volles Symbol – steigendes Drehmoment, leeres Symbol – fallendes Drehmoment)

Typ der Messeinrichtung: Direktbelastung

Messachse: horizontal

Kleinste angebbare Messunsicherheit ($k = 2$):

$1 \cdot 10^{-4}$

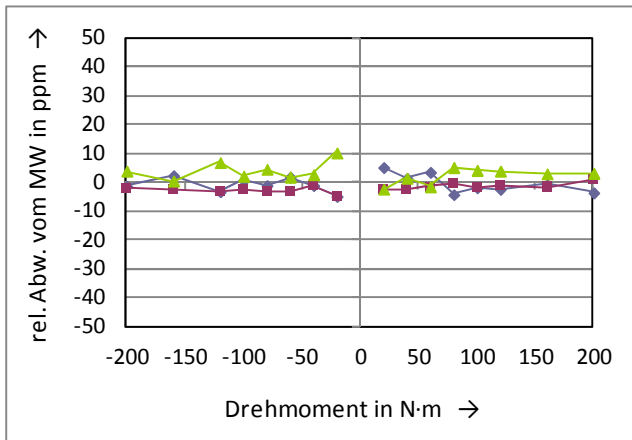


Bild 17: Relative Abweichungen der Ergebnisse der drei Messreihen des TT1-Aufnehmers (nur betragsmäßig ansteigendes Drehmoment) bezogen auf deren gemeinsamen Mittelwert (Einbaustellungen: 1 – Raute, 2 – Quadrat, 3 – Dreieck)

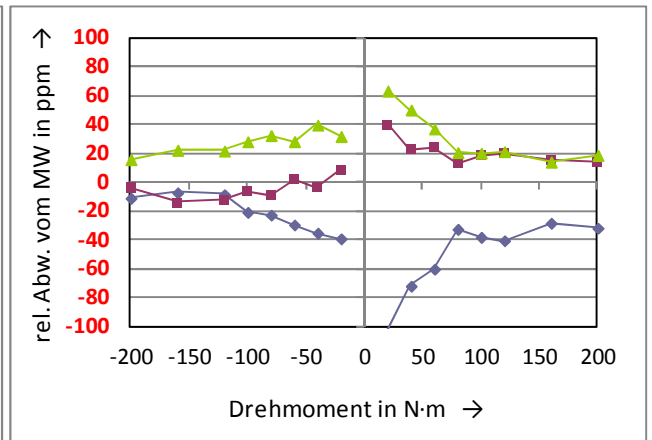


Bild 18: Relative Abweichungen der Ergebnisse der drei Messreihen des TB2-Aufnehmers (nur betragsmäßig ansteigendes Drehmoment) bezogen auf deren gemeinsamen Mittelwert (Einbaustellungen: 1 – Raute, 2 – Quadrat, 3 – Dreieck)

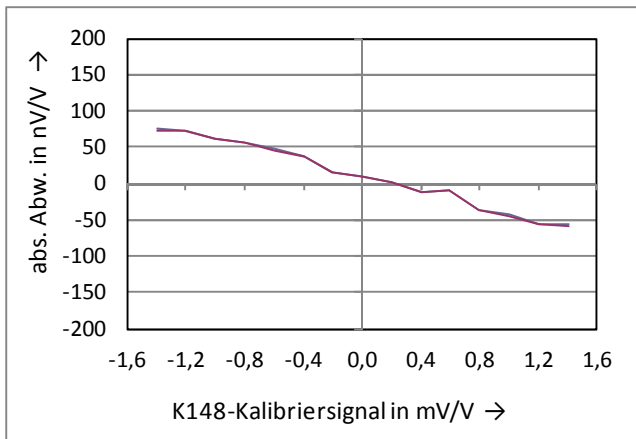


Bild 19: Absolute Abweichungen der Signale des verwendeten Verstärkers (MGCplus mit ML38) von den Kalibriersignalen des Brückennormals K148, eine Messung für jedes der beiden Transfornormale

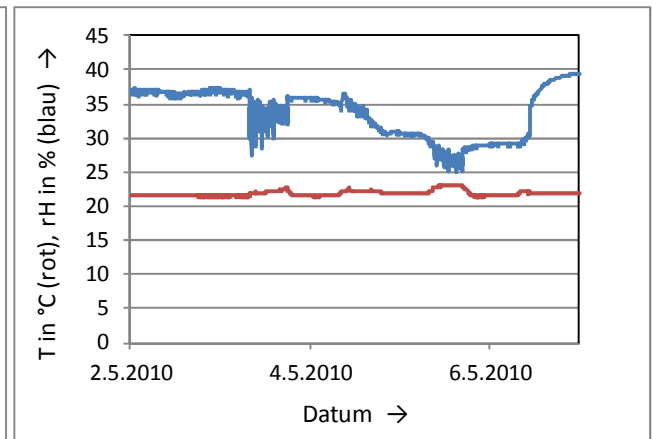


Bild 20: Temperatur (rote Kurve) und relative Luftfeuchtigkeit (blaue Kurve) vor, während und nach den Messungen

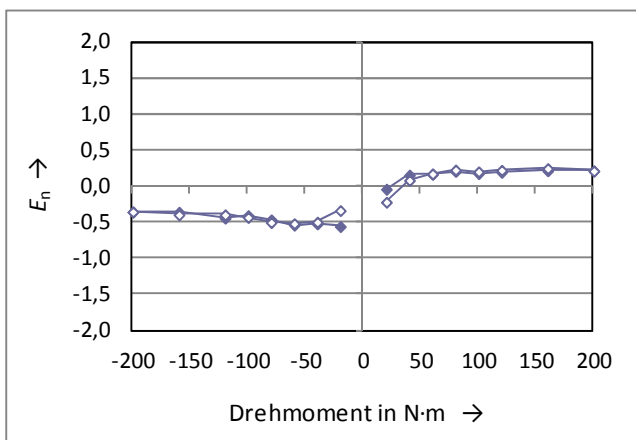


Bild 21: Berechnete E_n -Faktoren für das Messergebnis des TT1-Aufnehmers (volles Symbol – steigendes Drehmoment, leeres Symbol – fallendes Drehmoment)

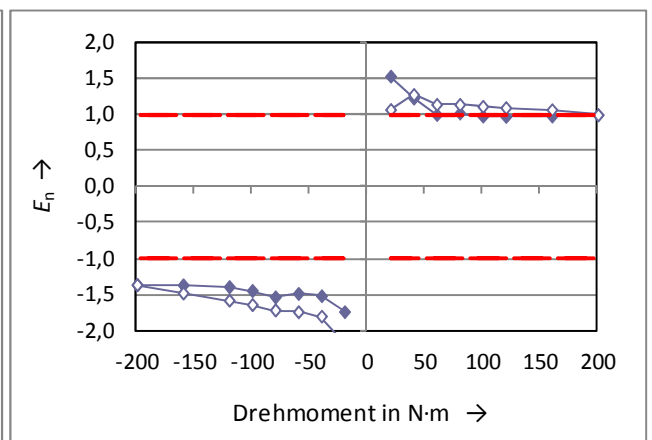


Bild 22: Berechnete E_n -Faktoren für das Messergebnis des TB2-Aufnehmers (volles Symbol – steigendes Drehmoment, leeres Symbol – fallendes Drehmoment)

Typ der Messeinrichtung: Direktbelastung

Messachse: horizontal

Kleinste angebbare Messunsicherheit ($k = 2$):

$1 \cdot 10^{-4}$

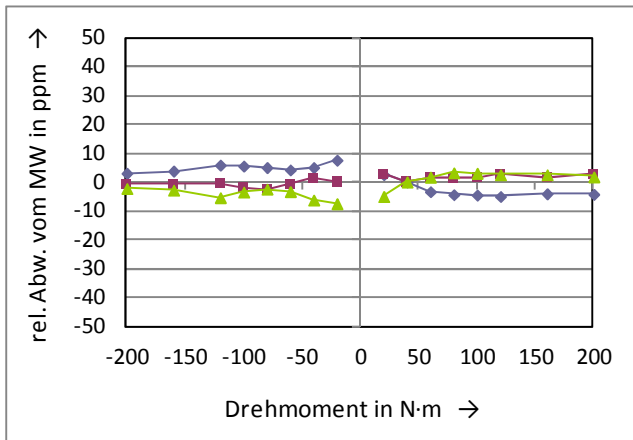


Bild 23: Relative Abweichungen der Ergebnisse der drei Messreihen des TT1-Aufnehmers (nur betragsmäßig ansteigendes Drehmoment) bezogen auf deren gemeinsamen Mittelwert (Einbaustellungen: 1 – Raute, 2 – Quadrat, 3 – Dreieck)

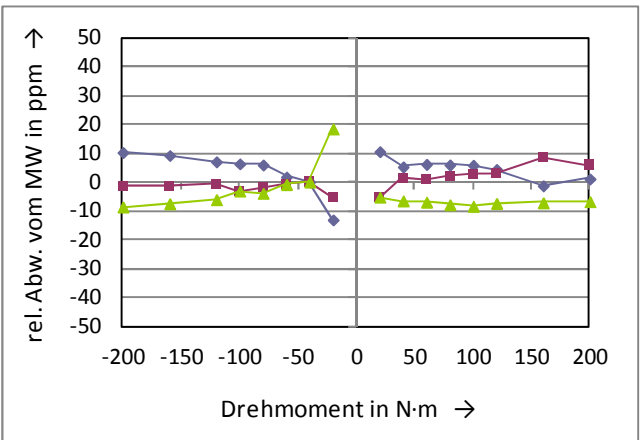


Bild 24: Relative Abweichungen der Ergebnisse der drei Messreihen des TB2-Aufnehmers (nur betragsmäßig ansteigendes Drehmoment) bezogen auf deren gemeinsamen Mittelwert (Einbaustellungen: 1 – Raute, 2 – Quadrat, 3 – Dreieck)

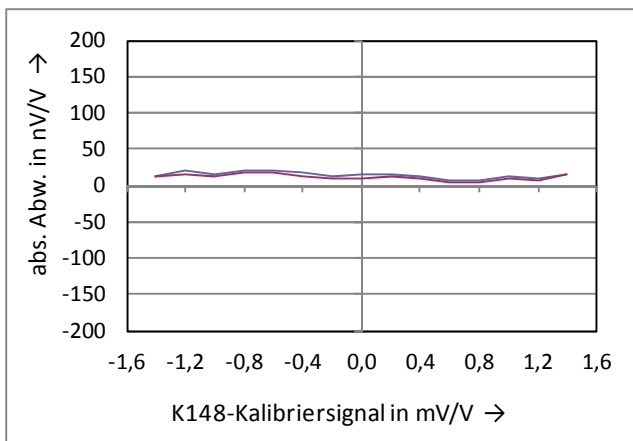


Bild 25: Absolute Abweichungen der Signale des verwendeten Verstärkers (MGCplus mit ML38) von den Kalibriersignalen des Brückennormals K148, eine Messung für jedes der beiden Transfernormale

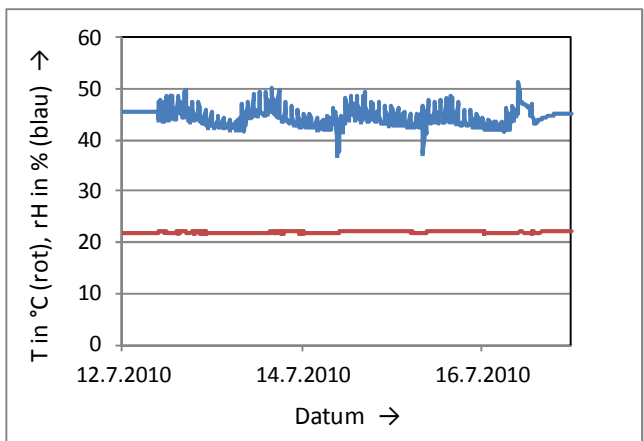


Bild 26: Temperatur (rote Kurve) und relative Luftfeuchtigkeit (blaue Kurve) vor, während und nach den Messungen

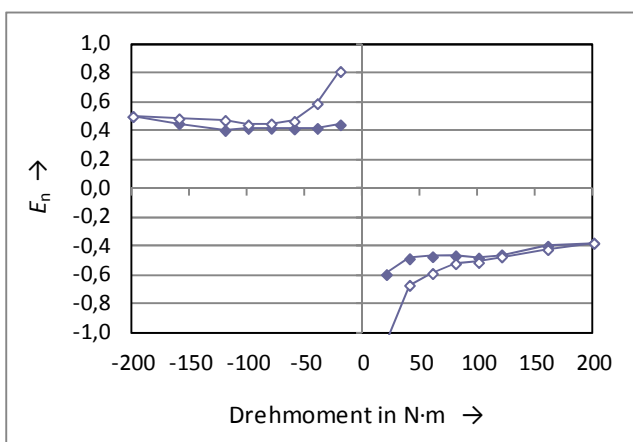


Bild 27: Berechnete E_n -Faktoren für das Messergebnis des TT1-Aufnehmers (volles Symbol – steigendes Drehmoment, leeres Symbol – fallendes Drehmoment)

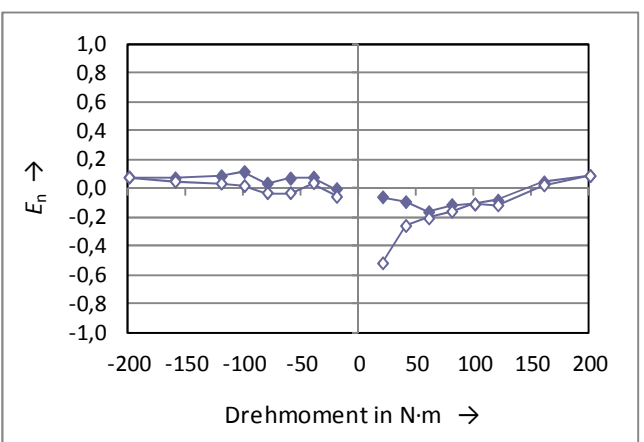


Bild 28: Berechnete E_n -Faktoren für das Messergebnis des TB2-Aufnehmers (volles Symbol – steigendes Drehmoment, leeres Symbol – fallendes Drehmoment)

Typ der Messeinrichtung: Schwenkmasse

Messachse: horizontal

Kleinste angebbare Messunsicherheit ($k = 2$):

$1 \cdot 10^{-4}$

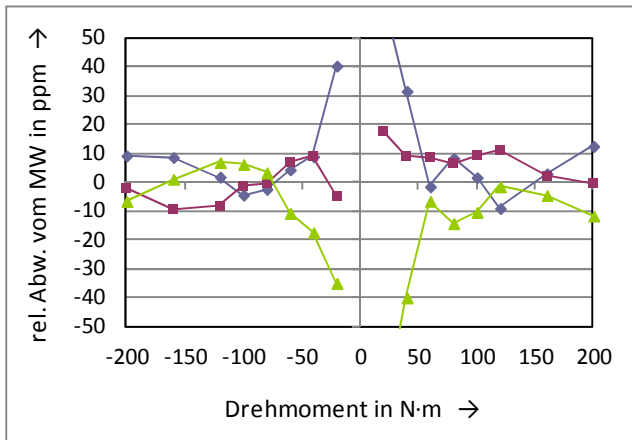


Bild 29: Relative Abweichungen der Ergebnisse der drei Messreihen des TT1-Aufnehmers (nur betragsmäßig ansteigendes Drehmoment) bezogen auf deren gemeinsamen Mittelwert (Einbaustellungen: 1 – Raute, 2 – Quadrat, 3 – Dreieck)

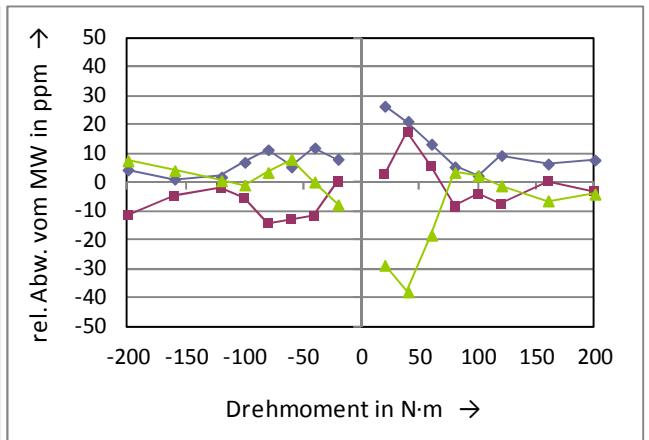


Bild 30: Relative Abweichungen der Ergebnisse der drei Messreihen des TB2-Aufnehmers (nur betragsmäßig ansteigendes Drehmoment) bezogen auf deren gemeinsamen Mittelwert (Einbaustellungen: 1 – Raute, 2 – Quadrat, 3 – Dreieck)

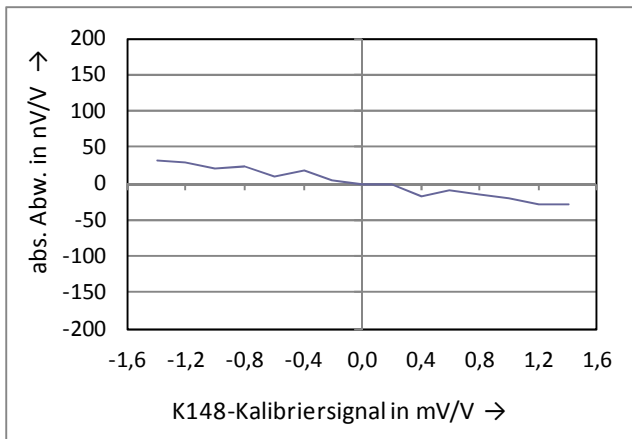


Bild 31: Absolute Abweichungen der Signale des verwendeten Verstärkers (DMP40) von den Kalibriersignalen des Brückennormals K148, nur eine Messung

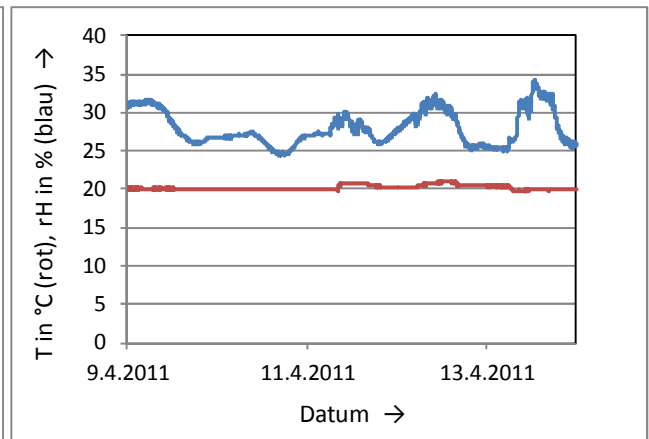


Bild 32: Temperatur (rote Kurve) und relative Luftfeuchtigkeit (blaue Kurve) vor, während und nach den Messungen

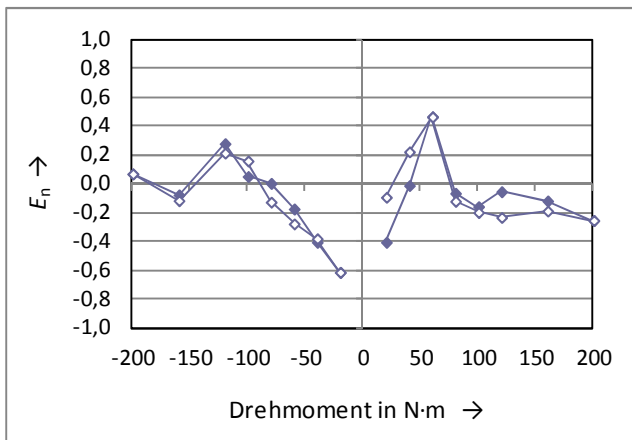


Bild 33: Berechnete E_n -Faktoren für das Messergebnis des TT1-Aufnehmers (volles Symbol – steigendes Drehmoment, leeres Symbol – fallendes Drehmoment)

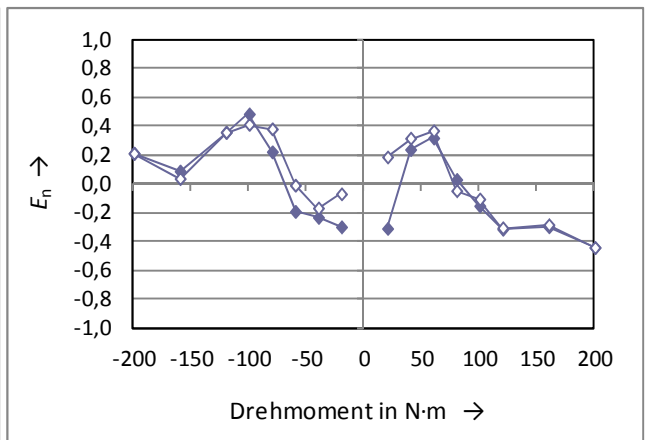


Bild 34: Berechnete E_n -Faktoren für das Messergebnis des TB2-Aufnehmers (volles Symbol – steigendes Drehmoment, leeres Symbol – fallendes Drehmoment)

Typ der Messeinrichtung: Laufgewicht

Messachse: horizontal

Kleinste angebbare Messunsicherheit ($k = 2$):

$2 \cdot 10^{-4}$

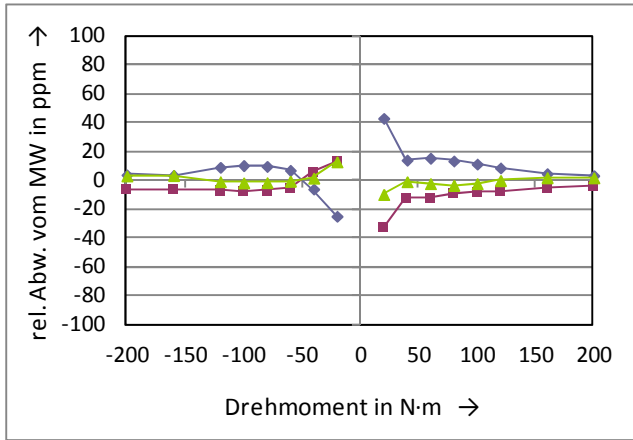


Bild 35: Relative Abweichungen der Ergebnisse der drei Messreihen des TT1-Aufnehmers (nur betragsmäßig ansteigendes Drehmoment) bezogen auf deren gemeinsamen Mittelwert (Einbaustellungen: 1 – Raute, 2 – Quadrat, 3 – Dreieck)

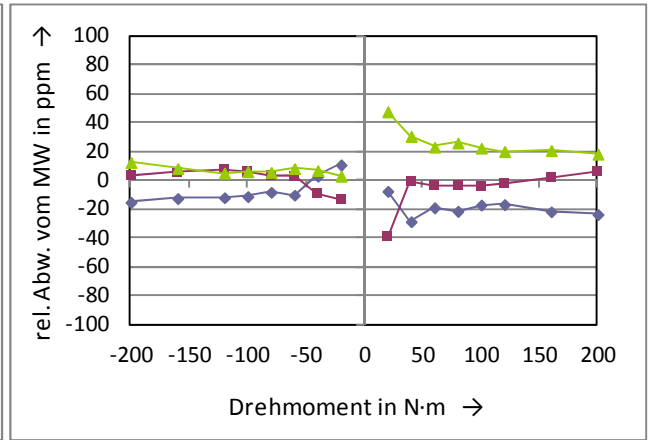


Bild 36: Relative Abweichungen der Ergebnisse der drei Messreihen des TB2-Aufnehmers (nur betragsmäßig ansteigendes Drehmoment) bezogen auf deren gemeinsamen Mittelwert (Einbaustellungen: 1 – Raute, 2 – Quadrat, 3 – Dreieck)

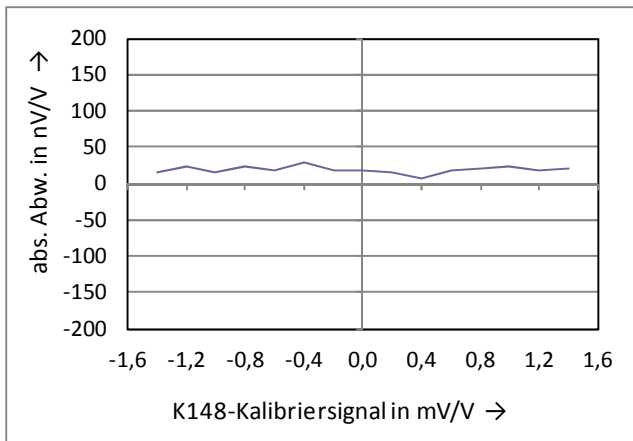


Bild 37: Absolute Abweichungen der Signale des verwendeten Verstärkers (DMP40) von den Kalibriersignalen des Brückennormals K148, nur eine Messung

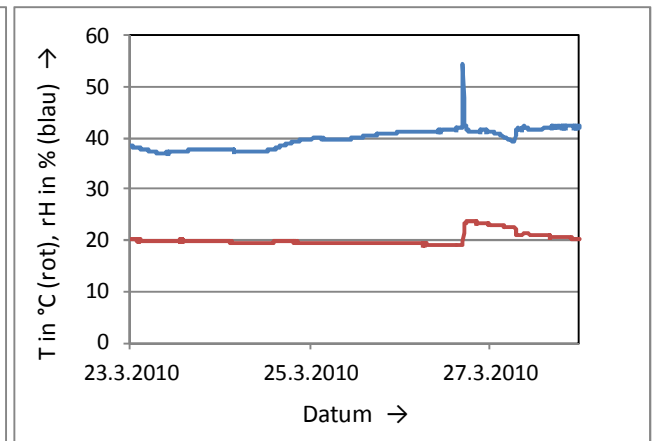


Bild 38: Temperatur (rote Kurve) und relative Luftfeuchtigkeit (blaue Kurve) vor, während und nach den Messungen

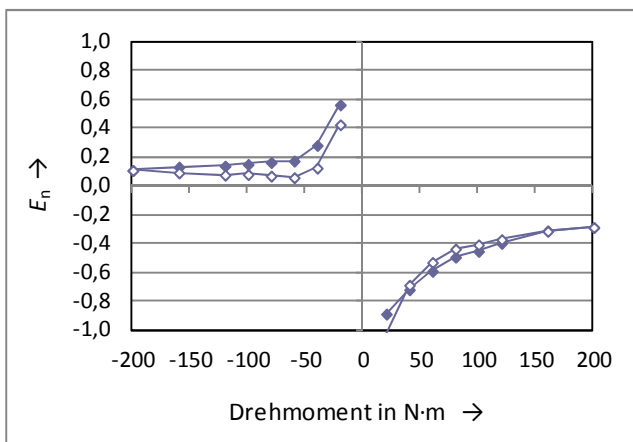


Bild 39: Berechnete E_n -Faktoren für das Messergebnis des TT1-Aufnehmers (volles Symbol – steigendes Drehmoment, leeres Symbol – fallendes Drehmoment)

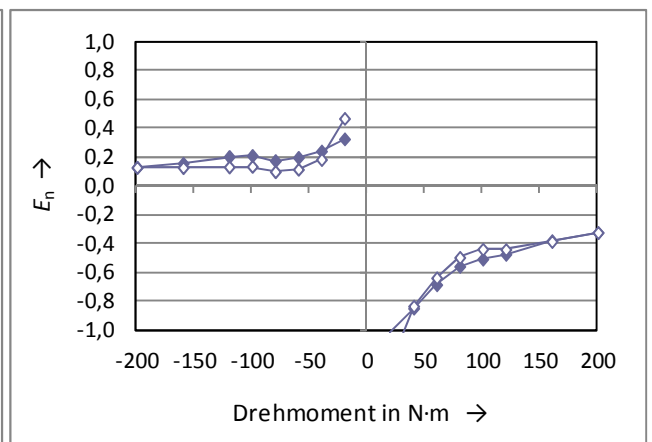


Bild 40: Berechnete E_n -Faktoren für das Messergebnis des TB2-Aufnehmers (volles Symbol – steigendes Drehmoment, leeres Symbol – fallendes Drehmoment)

Typ der Messeinrichtung: Laufgewicht

Messachse: horizontal

Kleinste angebbare Messunsicherheit ($k = 2$):

$2 \cdot 10^{-4}$

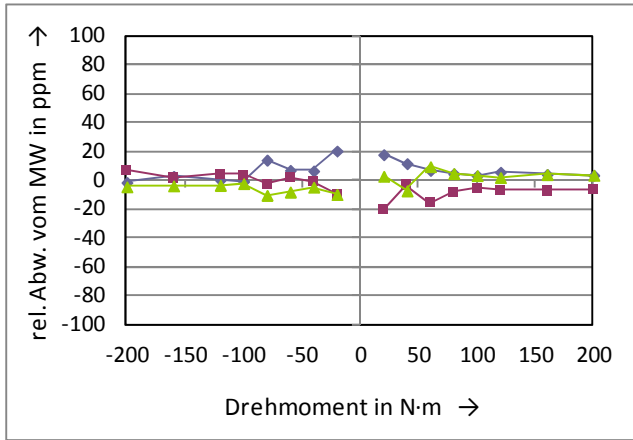


Bild 41: Relative Abweichungen der Ergebnisse der drei Messreihen des TT1-Aufnehmers (nur betragsmäßig ansteigendes Drehmoment) bezogen auf deren gemeinsamen Mittelwert (Einbaustellungen: 1 – Raute, 2 – Quadrat, 3 – Dreieck)

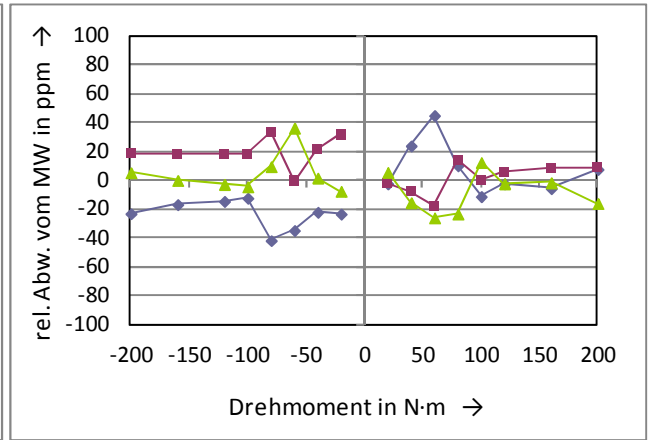


Bild 42: Relative Abweichungen der Ergebnisse der drei Messreihen des TB2-Aufnehmers (nur betragsmäßig ansteigendes Drehmoment) bezogen auf deren gemeinsamen Mittelwert (Einbaustellungen: 1 – Raute, 2 – Quadrat, 3 – Dreieck)

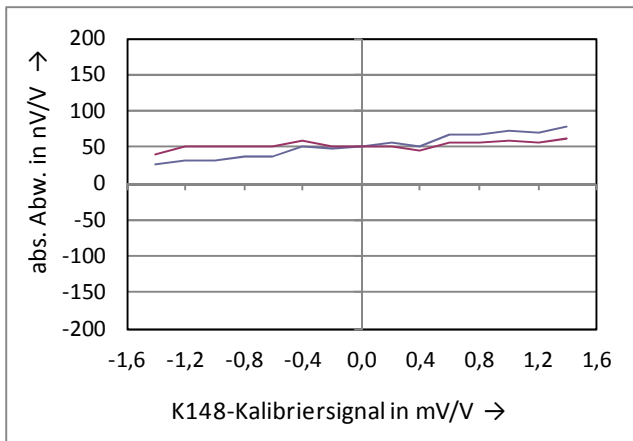


Bild 43: Absolute Abweichungen der Signale des verwendeten Verstärkers (MGCplus mit ML38) von den Kalibriersignalen des Brückennormals K148, eine Messung für jedes der beiden Transfernormale

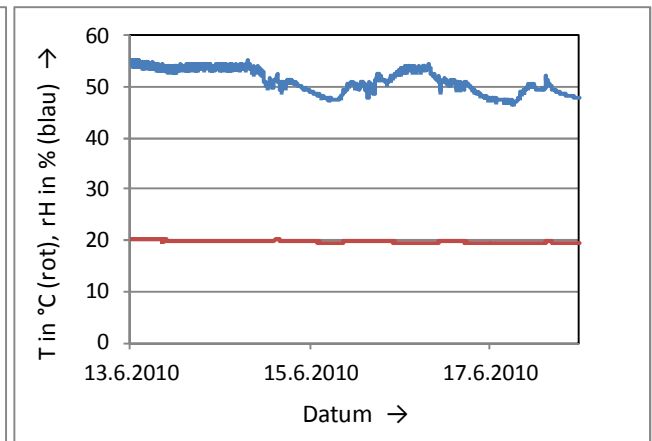


Bild 44: Temperatur (rote Kurve) und relative Luftfeuchtigkeit (blaue Kurve) vor, während und nach den Messungen

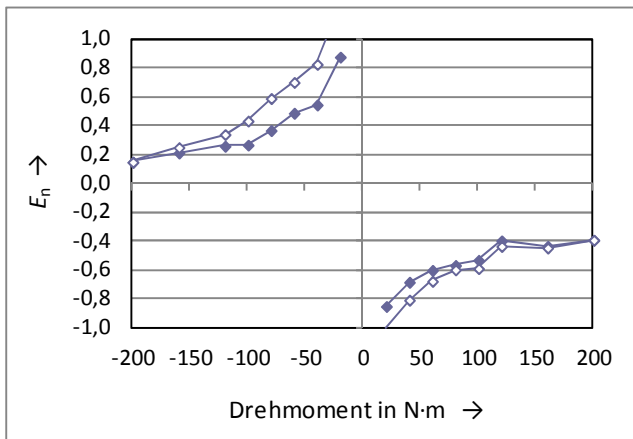


Bild 45: Berechnete E_n -Faktoren für das Messergebnis des TT1-Aufnehmers (volles Symbol – steigendes Drehmoment, leeres Symbol – fallendes Drehmoment)

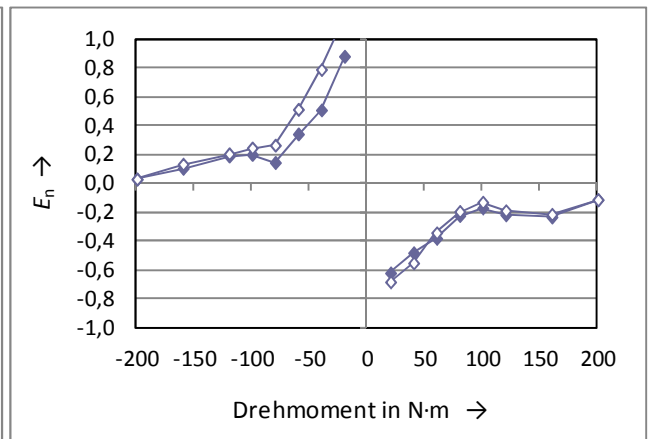


Bild 46: Berechnete E_n -Faktoren für das Messergebnis des TB2-Aufnehmers (volles Symbol – steigendes Drehmoment, leeres Symbol – fallendes Drehmoment)

Typ der Messeinrichtung: Direktbelastung

Messachse: horizontal

Kleinste angebbare Messunsicherheit ($k = 2$):

$2 \cdot 10^{-4}$

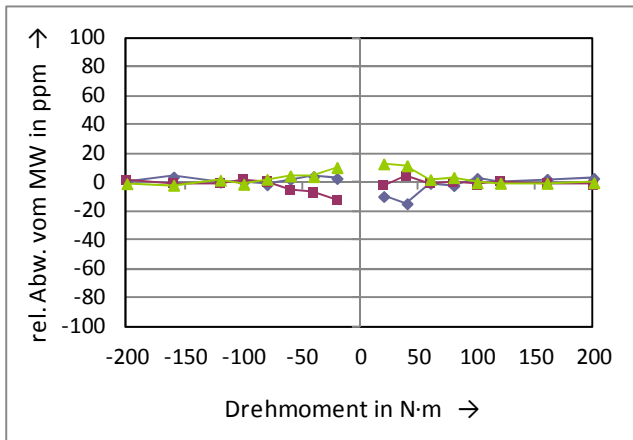


Bild 47: Relative Abweichungen der Ergebnisse der drei Messreihen des TT1-Aufnehmers (nur betragsmäßig ansteigendes Drehmoment) bezogen auf deren gemeinsamen Mittelwert (Einbaustellungen: 1 – Raute, 2 – Quadrat, 3 – Dreieck)

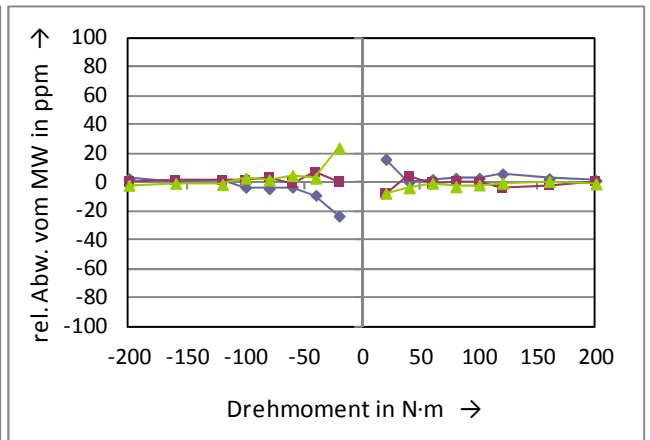


Bild 48: Relative Abweichungen der Ergebnisse der drei Messreihen des TB2-Aufnehmers (nur betragsmäßig ansteigendes Drehmoment) bezogen auf deren gemeinsamen Mittelwert (Einbaustellungen: 1 – Raute, 2 – Quadrat, 3 – Dreieck)

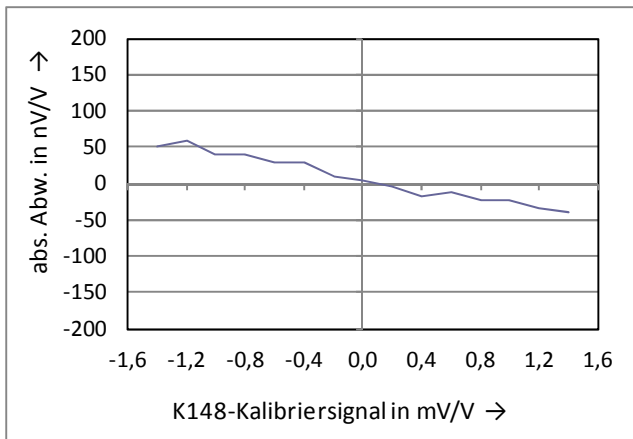


Bild 49: Absolute Abweichungen der Signale des verwendeten Verstärkers (MGCplus mit ML38) von den Kalibriersignalen des Brückennormals K148, nur eine Messung

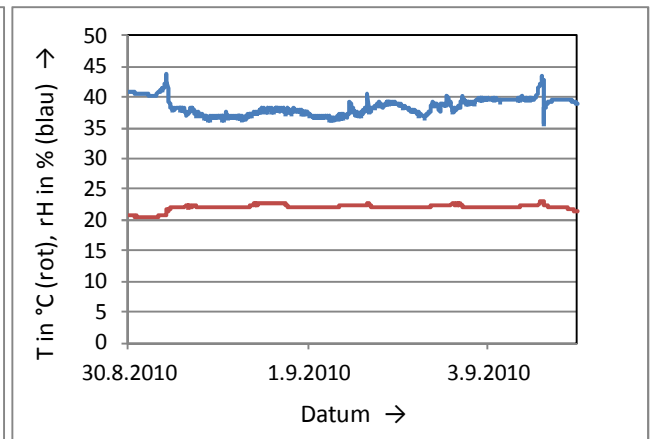


Bild 50: Temperatur (rote Kurve) und relative Luftfeuchtigkeit (blaue Kurve) vor, während und nach den Messungen

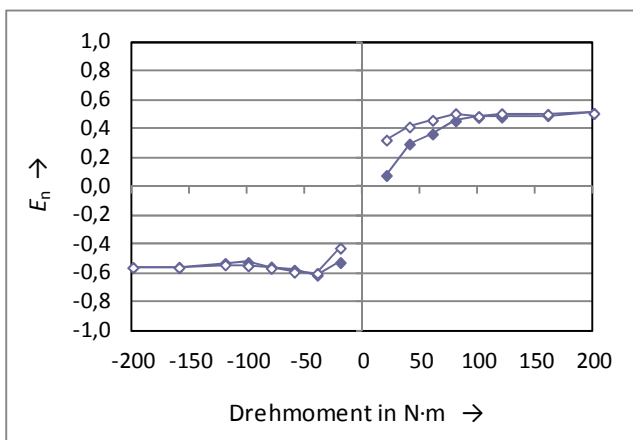


Bild 51: Berechnete E_n -Faktoren für das Messergebnis des TT1-Aufnehmers (volles Symbol – steigendes Drehmoment, leeres Symbol – fallendes Drehmoment)

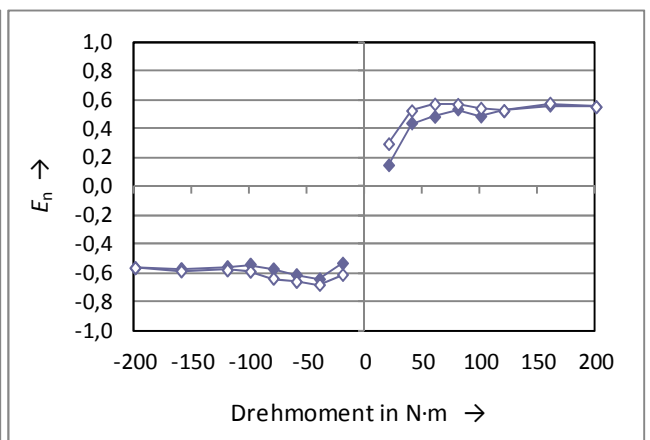


Bild 52: Berechnete E_n -Faktoren für das Messergebnis des TB2-Aufnehmers (volles Symbol – steigendes Drehmoment, leeres Symbol – fallendes Drehmoment)

Typ der Messeinrichtung: Referenz

Messachse: vertikal

Kleinste angebbare Messunsicherheit ($k = 2$):

$2 \cdot 10^{-4}$

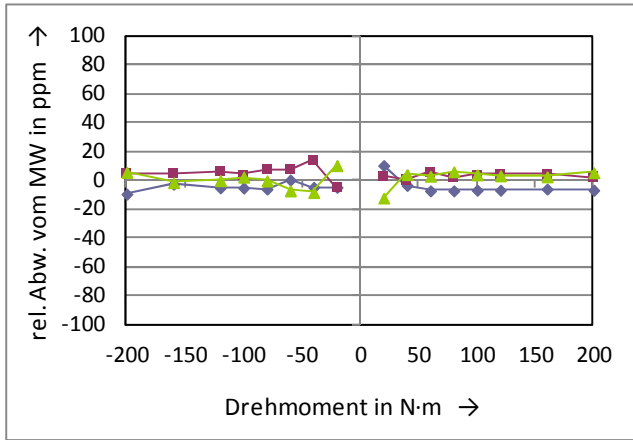


Bild 53: Relative Abweichungen der Ergebnisse der drei Messreihen des TT1-Aufnehmers (nur betragsmäßig ansteigendes Drehmoment) bezogen auf deren gemeinsamen Mittelwert (Einbaustellungen: 1 – Raute, 2 – Quadrat, 3 – Dreieck)

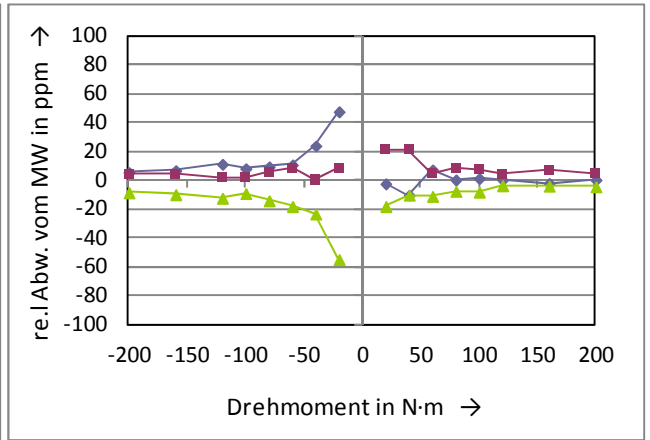


Bild 54: Relative Abweichungen der Ergebnisse der drei Messreihen des TB2-Aufnehmers (nur betragsmäßig ansteigendes Drehmoment) bezogen auf deren gemeinsamen Mittelwert (Einbaustellungen: 1 – Raute, 2 – Quadrat, 3 – Dreieck)

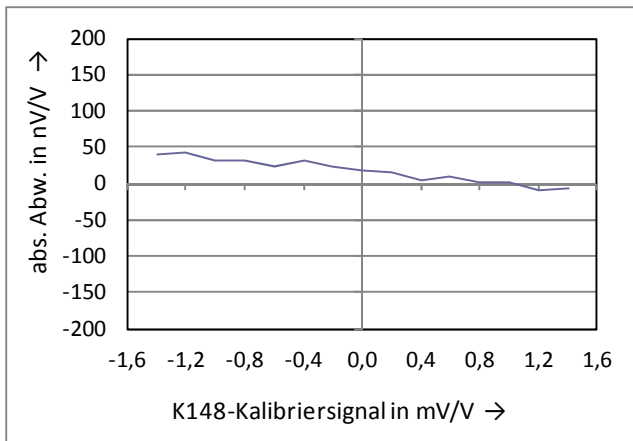


Bild 55: Absolute Abweichungen der Signale des verwendeten Verstärkers (DMP40) von den Kalibriersignalen des Brückennormals K148, nur eine Messung

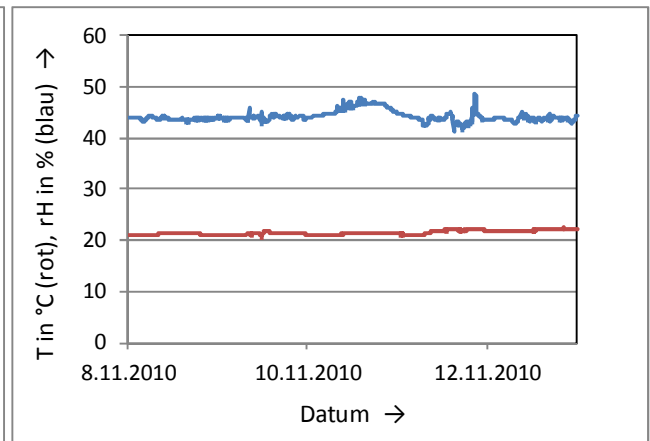


Bild 56: Temperatur (rote Kurve) und relative Luftfeuchtigkeit (blaue Kurve) vor, während und nach den Messungen

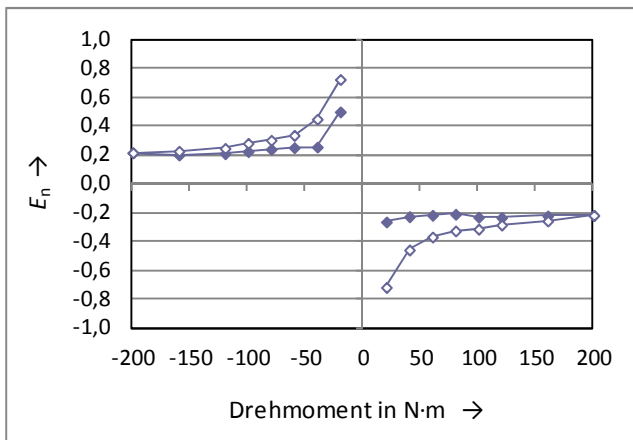


Bild 57: Berechnete E_n -Faktoren für das Messergebnis des TT1-Aufnehmers (volles Symbol – steigendes Drehmoment, leeres Symbol – fallendes Drehmoment)

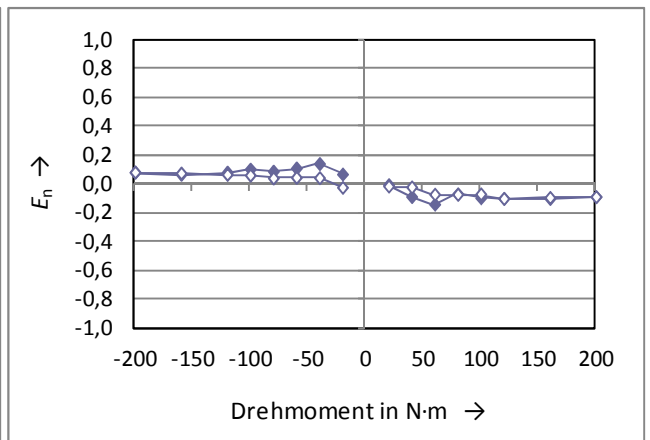


Bild 58: Berechnete E_n -Faktoren für das Messergebnis des TB2-Aufnehmers (volles Symbol – steigendes Drehmoment, leeres Symbol – fallendes Drehmoment)

Typ der Messeinrichtung: Referenz

Messachse: vertikal

Kleinste angebbare Messunsicherheit ($k = 2$):

$1 \cdot 10^{-3}$

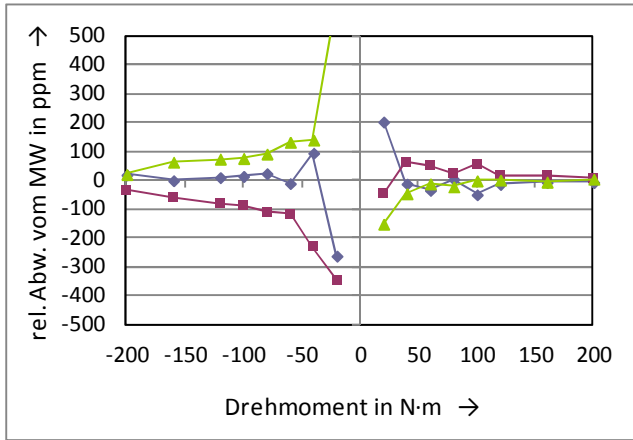


Bild 59: Relative Abweichungen der Ergebnisse der drei Messreihen des TT1-Aufnehmers (nur betragsmäßig ansteigendes Drehmoment) bezogen auf deren gemeinsamen Mittelwert (Einbaustellungen: 1 – Raute, 2 – Quadrat, 3 – Dreieck)

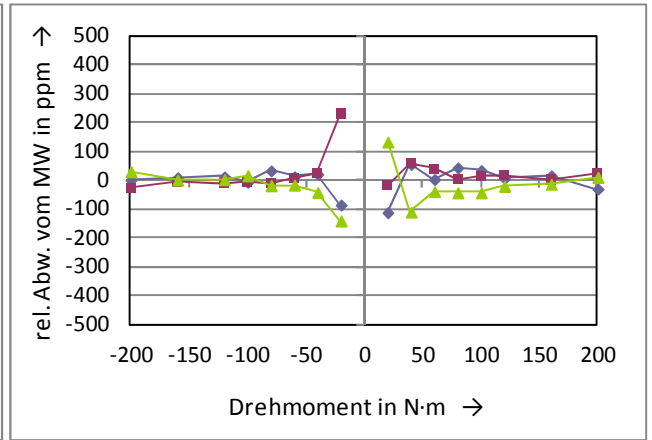


Bild 60: Relative Abweichungen der Ergebnisse der drei Messreihen des TB2-Aufnehmers (nur betragsmäßig ansteigendes Drehmoment) bezogen auf deren gemeinsamen Mittelwert (Einbaustellungen: 1 – Raute, 2 – Quadrat, 3 – Dreieck)

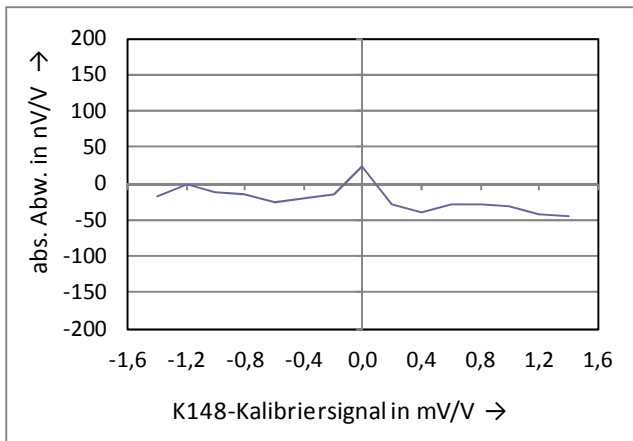


Bild 61: Absolute Abweichungen der Signale des verwendeten Verstärkers (MGCplus mit ML38) von den Kalibriersignalen des Brückennormals K148, nur eine Messung

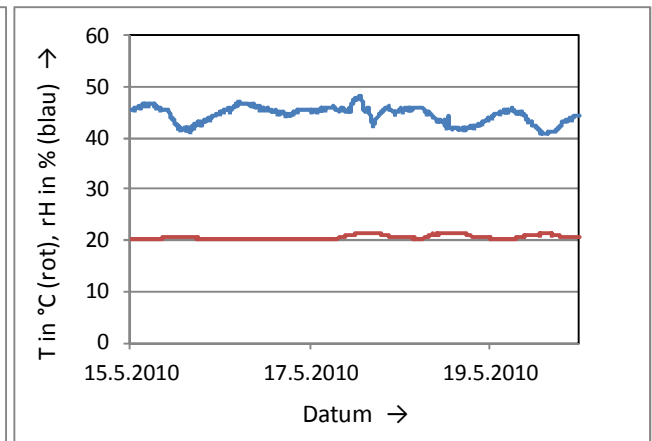


Bild 62: Temperatur (rote Kurve) und relative Luftfeuchtigkeit (blaue Kurve) vor, während und nach den Messungen

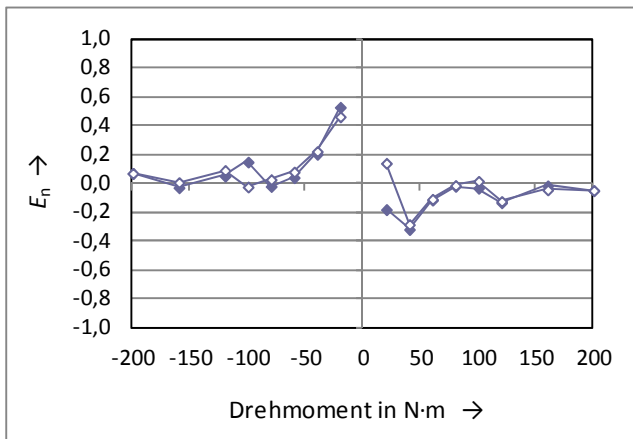


Bild 63: Berechnete E_n -Faktoren für das Messergebnis des TT1-Aufnehmers (volles Symbol – steigendes Drehmoment, leeres Symbol – fallendes Drehmoment)

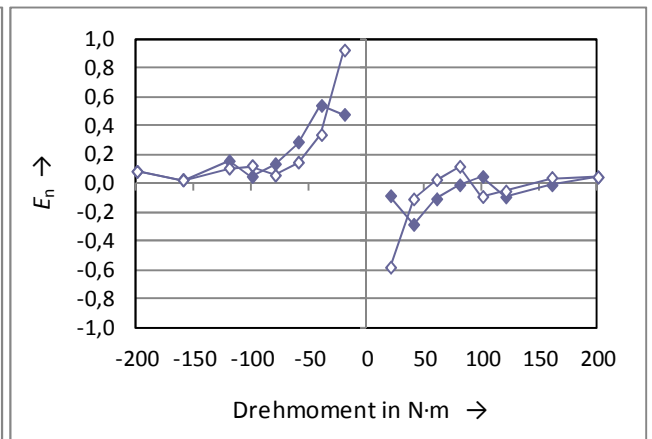


Bild 64: Berechnete E_n -Faktoren für das Messergebnis des TB2-Aufnehmers (volles Symbol – steigendes Drehmoment, leeres Symbol – fallendes Drehmoment)

Typ der Messeinrichtung: Referenz

Messachse: vertikal

Kleinste angebbare Messunsicherheit ($k = 2$):

$1 \cdot 10^{-3}$

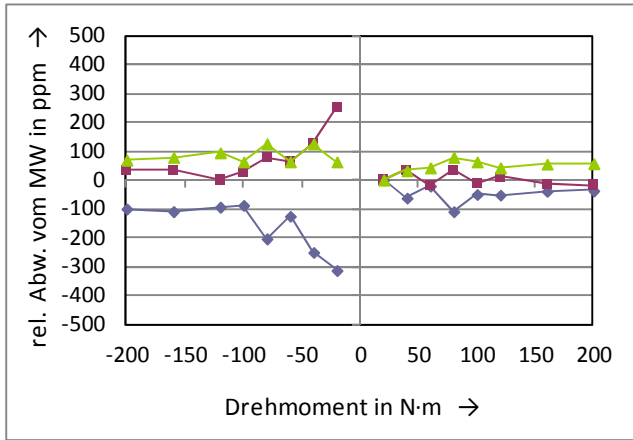


Bild 65: Relative Abweichungen der Ergebnisse der drei Messreihen des TT1-Aufnehmers (nur betragsmäßig ansteigendes Drehmoment) bezogen auf deren gemeinsamen Mittelwert (Einbaustellungen: 1 – Raute, 2 – Quadrat, 3 – Dreieck)

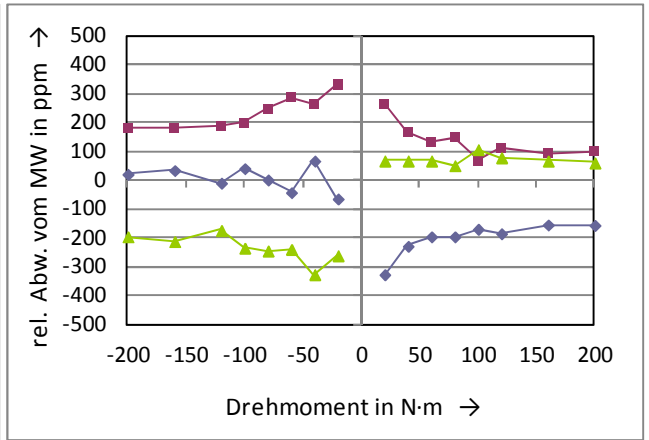


Bild 66: Relative Abweichungen der Ergebnisse der drei Messreihen des TB2-Aufnehmers (nur betragsmäßig ansteigendes Drehmoment) bezogen auf deren gemeinsamen Mittelwert (Einbaustellungen: 1 – Raute, 2 – Quadrat, 3 – Dreieck)

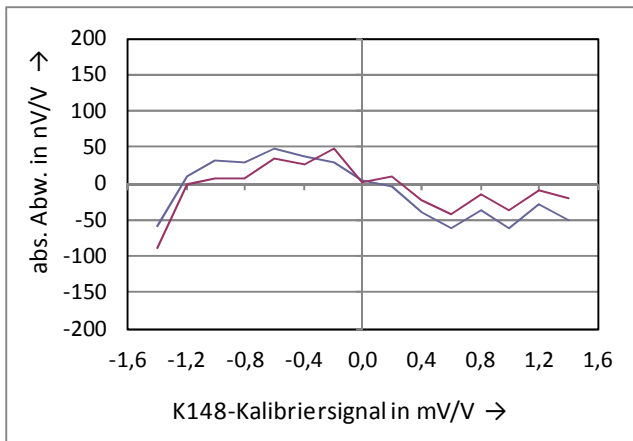


Bild 67: Absolute Abweichungen der Signale des verwendeten Verstärkers (DMCplus mit DV30) von den Kalibriersignalen des Brückennormals K148, eine Messung für jedes der beiden Transfernormale

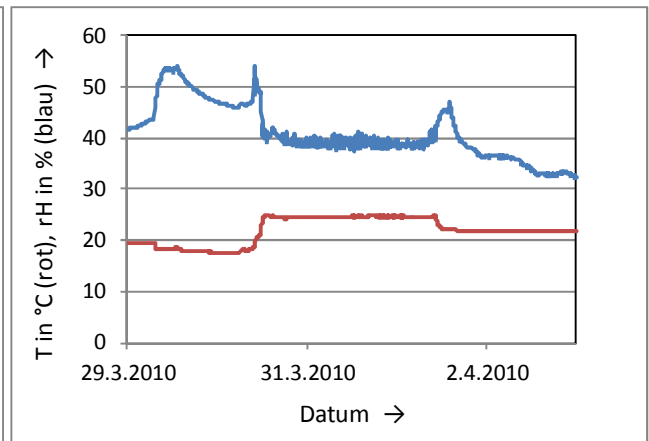


Bild 68: Temperatur (rote Kurve) und relative Luftfeuchtigkeit (blaue Kurve) vor, während und nach den Messungen

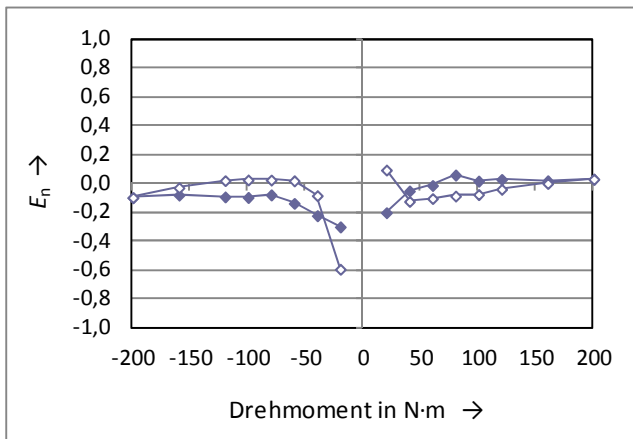


Bild 69: Berechnete E_n -Faktoren für das Messergebnis des TT1-Aufnehmers (volles Symbol – steigendes Drehmoment, leeres Symbol – fallendes Drehmoment)

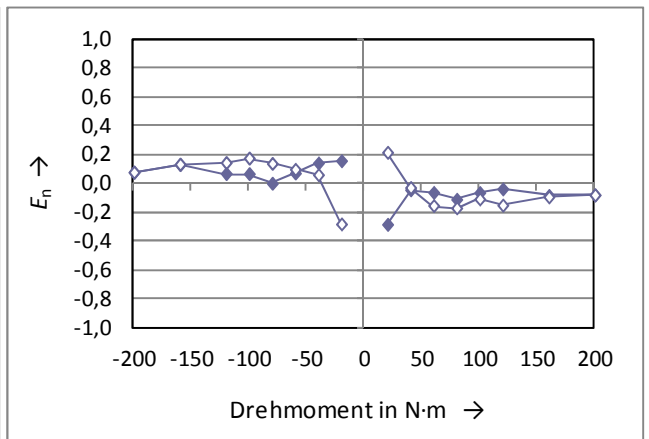


Bild 70: Berechnete E_n -Faktoren für das Messergebnis des TB2-Aufnehmers (volles Symbol – steigendes Drehmoment, leeres Symbol – fallendes Drehmoment)

Typ der Messeinrichtung: Referenz

Messachse: vertikal

Kleinste angebbare Messunsicherheit ($k = 2$):

$1 \cdot 10^{-3}$

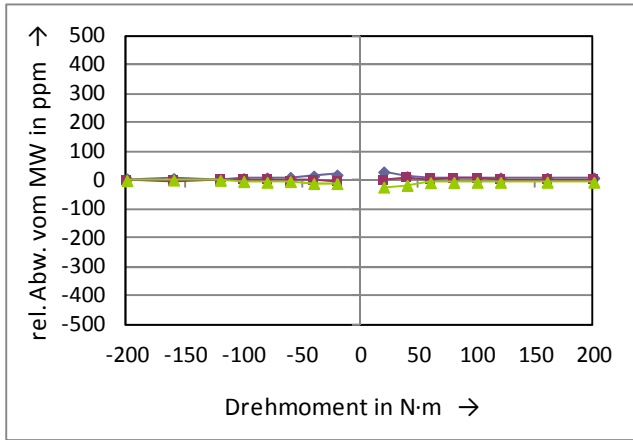


Bild 71: Relative Abweichungen der Ergebnisse der drei Messreihen des TT1-Aufnehmers (nur betragsmäßig ansteigendes Drehmoment) bezogen auf deren gemeinsamen Mittelwert (Einbaustellungen: 1 – Raute, 2 – Quadrat, 3 – Dreieck)

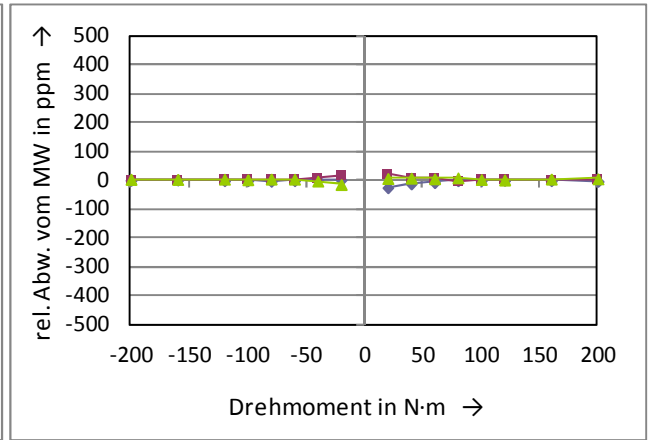


Bild 72: Relative Abweichungen der Ergebnisse der drei Messreihen des TB2-Aufnehmers (nur betragsmäßig ansteigendes Drehmoment) bezogen auf deren gemeinsamen Mittelwert (Einbaustellungen: 1 – Raute, 2 – Quadrat, 3 – Dreieck)

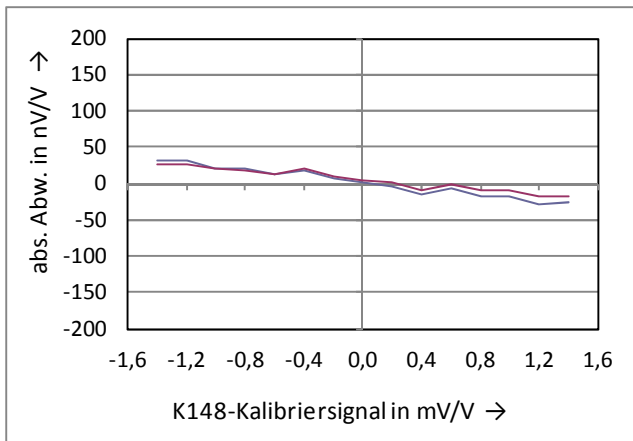


Bild 73: Absolute Abweichungen der Signale des verwendeten Verstärkers (MGCplus mit ML38) von den Kalibriersignalen des Brückennormals K148, eine Messung für jedes der beiden Transfornormale

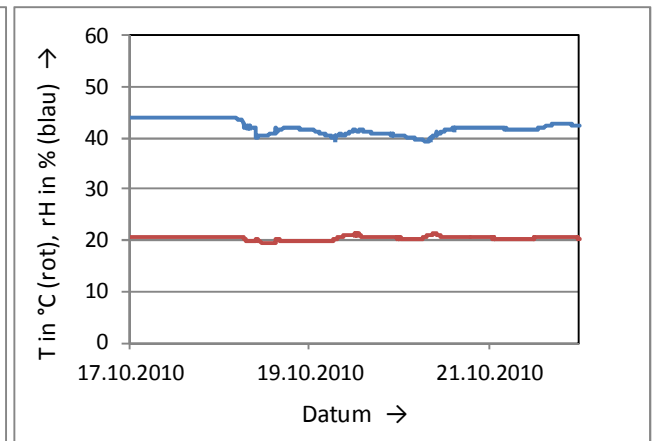


Bild 74: Temperatur (rote Kurve) und relative Luftfeuchtigkeit (blaue Kurve) vor, während und nach den Messungen



Bild 75: Berechnete E_n -Faktoren für das Messergebnis des TT1-Aufnehmers (volles Symbol – steigendes Drehmoment, leeres Symbol – fallendes Drehmoment)

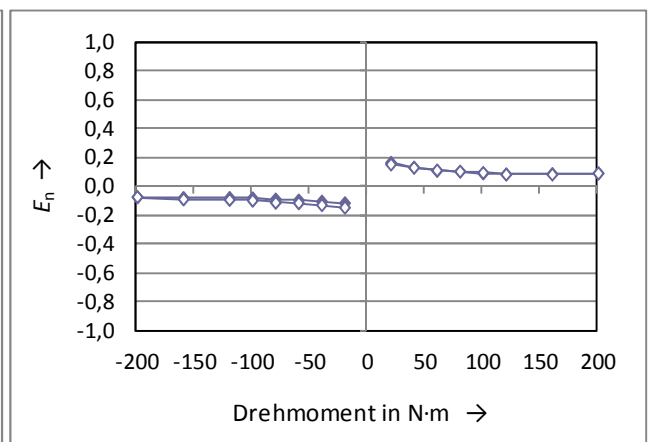


Bild 76: Berechnete E_n -Faktoren für das Messergebnis des TB2-Aufnehmers (volles Symbol – steigendes Drehmoment, leeres Symbol – fallendes Drehmoment)

Porsche

Typ der Messeinrichtung: Referenz

Messachse: horizontal

Kleinste angebbare Messunsicherheit ($k = 2$):

$1 \cdot 10^{-3}$

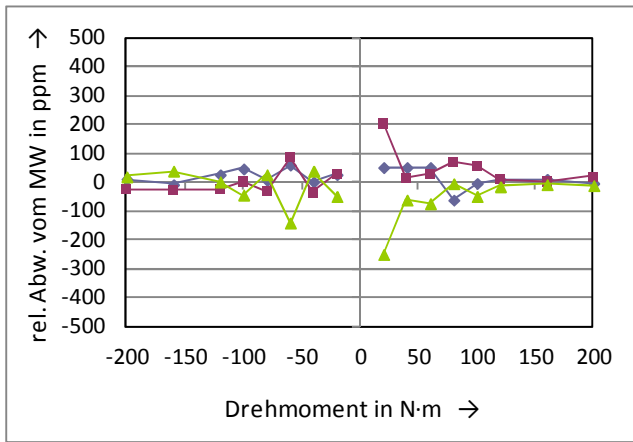


Bild 77: Relative Abweichungen der Ergebnisse der drei Messreihen des TT1-Aufnehmers (nur betragsmäßig ansteigendes Drehmoment) bezogen auf deren gemeinsamen Mittelwert (Einbaustellungen: 1 – Raute, 2 – Quadrat, 3 – Dreieck)

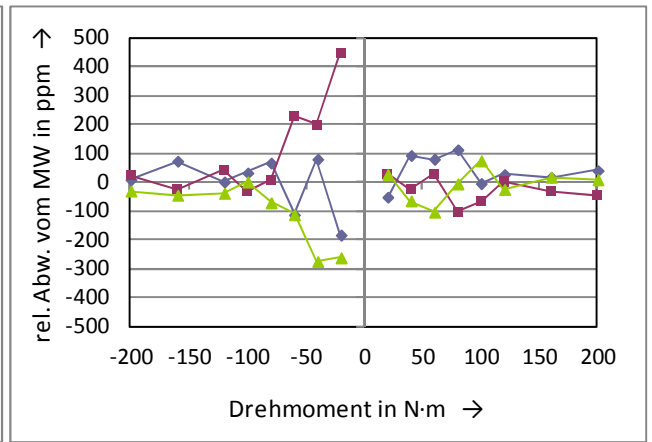


Bild 78: Relative Abweichungen der Ergebnisse der drei Messreihen des TB2-Aufnehmers (nur betragsmäßig ansteigendes Drehmoment) bezogen auf deren gemeinsamen Mittelwert (Einbaustellungen: 1 – Raute, 2 – Quadrat, 3 – Dreieck)

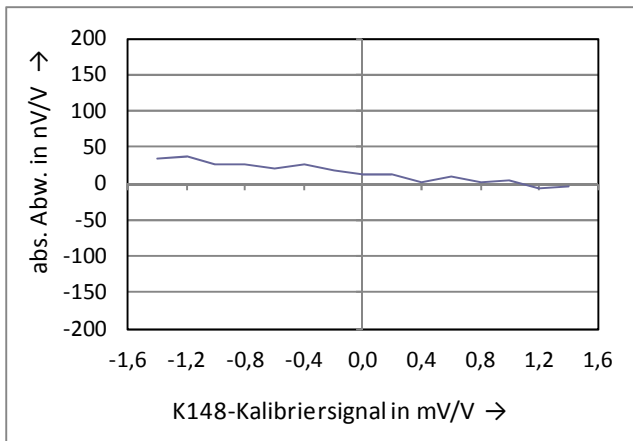


Bild 79: Absolute Abweichungen der Signale des verwendeten Verstärkers (MGCplus mit ML38) von den Kalibriersignalen des Brückennormals K148, nur eine Messung

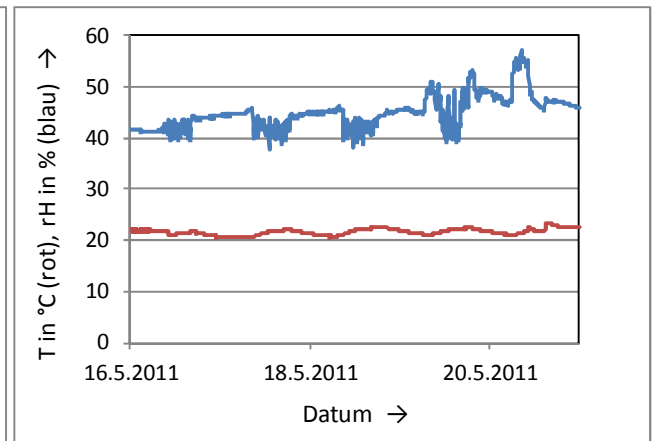


Bild 80: Temperatur (rote Kurve) und relative Luftfeuchtigkeit (blaue Kurve) vor, während und nach den Messungen

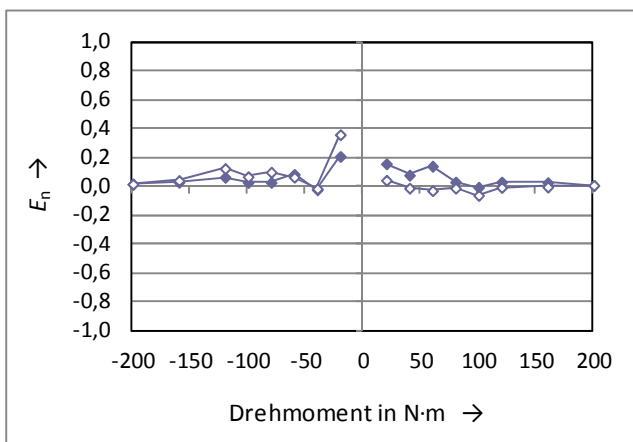


Bild 81: Berechnete E_n -Faktoren für das Messergebnis des TT1-Aufnehmers (volles Symbol – steigendes Drehmoment, leeres Symbol – fallendes Drehmoment)

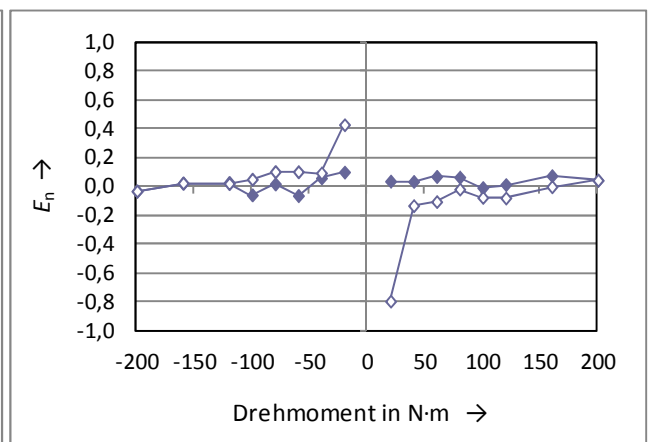


Bild 82: Berechnete E_n -Faktoren für das Messergebnis des TB2-Aufnehmers (volles Symbol – steigendes Drehmoment, leeres Symbol – fallendes Drehmoment)

Typ der Messeinrichtung: Referenz (mit Adapter für Vierkantanschluss)

Messachse: vertikal

Kleinste angebbare Messunsicherheit ($k = 2$): $1 \cdot 10^{-3}$

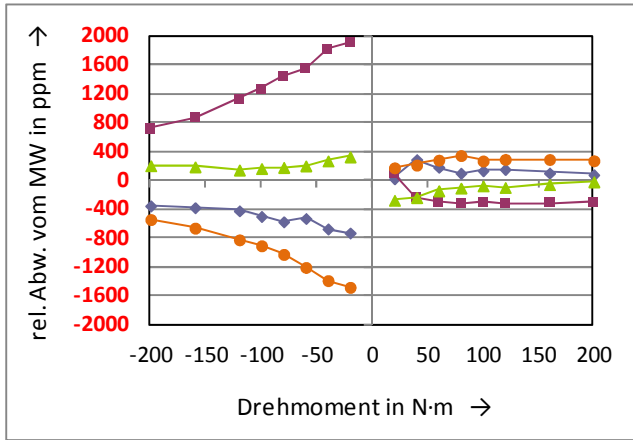


Bild 83: Relative Abweichungen der Ergebnisse der drei Messreihen des TT1-Aufnehmers (nur betragsmäßig ansteigendes Drehmoment) bezogen auf deren gemeinsamen Mittelwert (Einbaustellungen: 1 – Raute, 2 – Quadrat, 3 – Dreieck, 4 – Kreis)

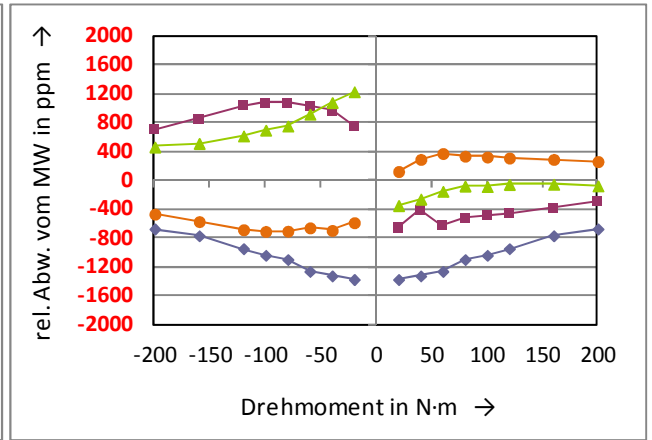


Bild 84: Relative Abweichungen der Ergebnisse der drei Messreihen des TB2-Aufnehmers (nur betragsmäßig ansteigendes Drehmoment) bezogen auf deren gemeinsamen Mittelwert (Einbaustellungen: 1 – Raute, 2 – Quadrat, 3 – Dreieck, 4 – Kreis)

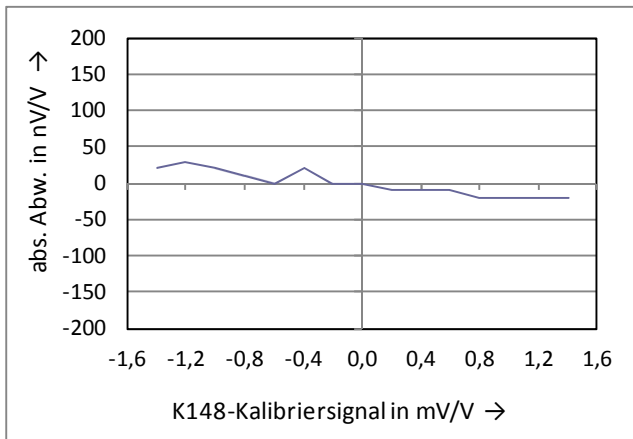


Bild 85: Absolute Abweichungen der Signale des verwendeten Verstärkers (MGCplus mit ML38) von den Kalibriersignalen des Brückennormals K148, nur eine Messung

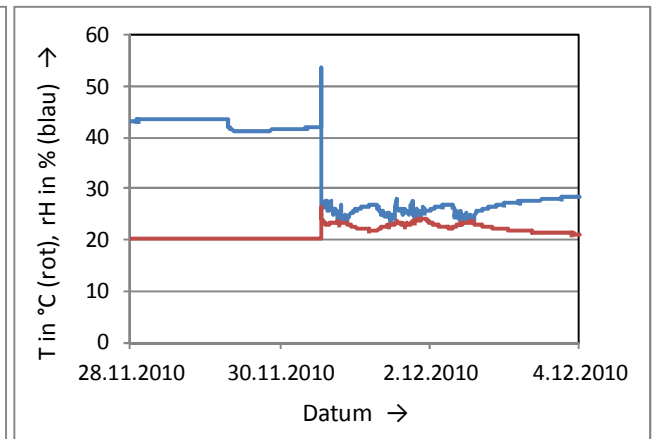


Bild 86: Temperatur (rote Kurve) und relative Luftfeuchtigkeit (blaue Kurve) vor, während und nach den Messungen

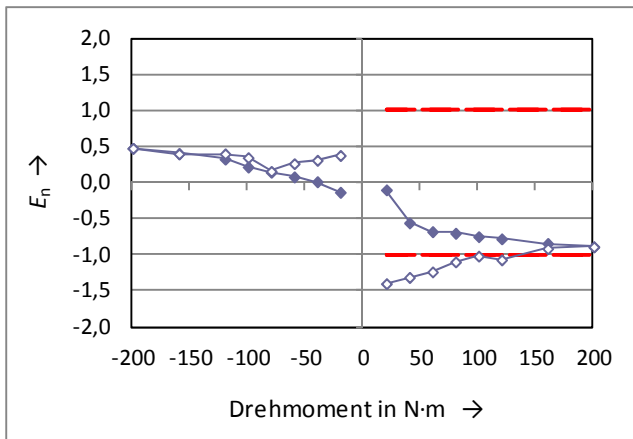


Bild 87: Berechnete E_n -Faktoren für das Messergebnis des TT1-Aufnehmers (volles Symbol – steigendes Drehmoment, leeres Symbol – fallendes Drehmoment)

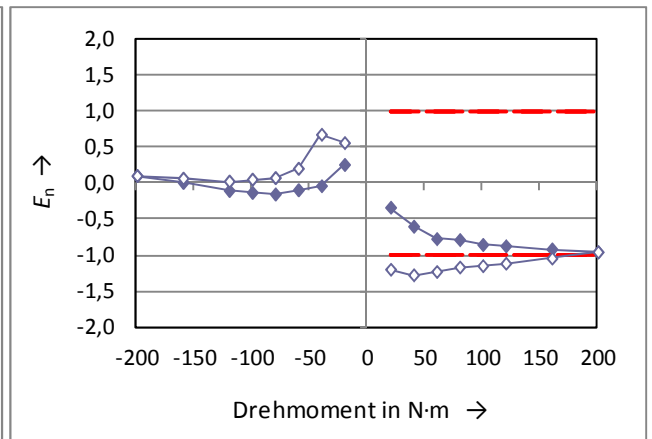


Bild 88: Berechnete E_n -Faktoren für das Messergebnis des TB2-Aufnehmers (volles Symbol – steigendes Drehmoment, leeres Symbol – fallendes Drehmoment)

Typ der Messeinrichtung: Referenz

Messachse: horizontal

Kleinste angebbare Messunsicherheit ($k = 2$):

$2 \cdot 10^{-3}$

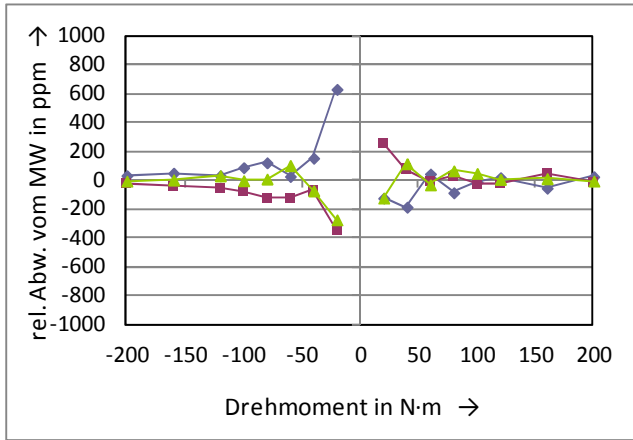


Bild 89: Relative Abweichungen der Ergebnisse der drei Messreihen des TT1-Aufnehmers (nur betragsmäßig ansteigendes Drehmoment) bezogen auf deren gemeinsamen Mittelwert (Einbaustellungen: 1 – Raute, 2 – Quadrat, 3 – Dreieck)

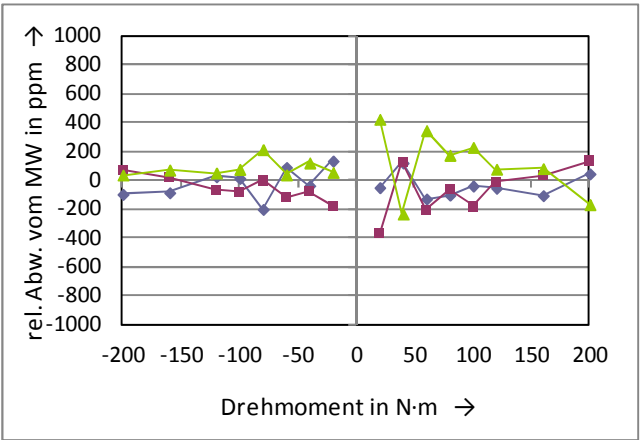


Bild 90: Relative Abweichungen der Ergebnisse der drei Messreihen des TB2-Aufnehmers (nur betragsmäßig ansteigendes Drehmoment) bezogen auf deren gemeinsamen Mittelwert (Einbaustellungen: 1 – Raute, 2 – Quadrat, 3 – Dreieck)

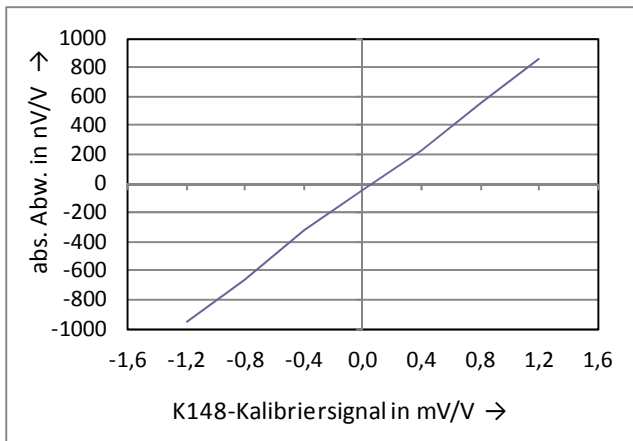


Bild 91: Absolute Abweichungen der Signale des verwendeten Verstärkers (NI 9237) von den Kalibriersignalen des Brückennormals K148, nur eine Messung

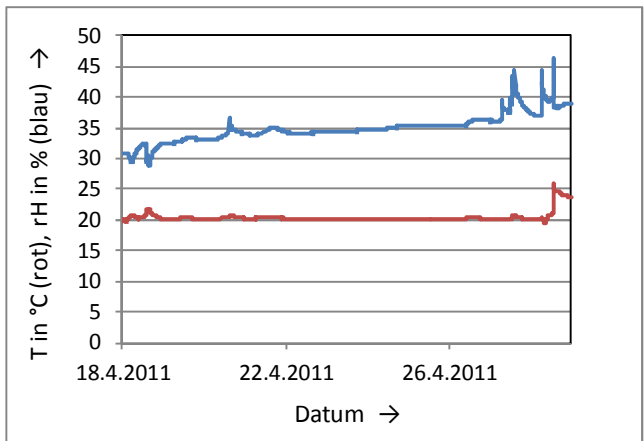


Bild 92: Temperatur (rote Kurve) und relative Luftfeuchtigkeit (blaue Kurve) vor, während und nach den Messungen

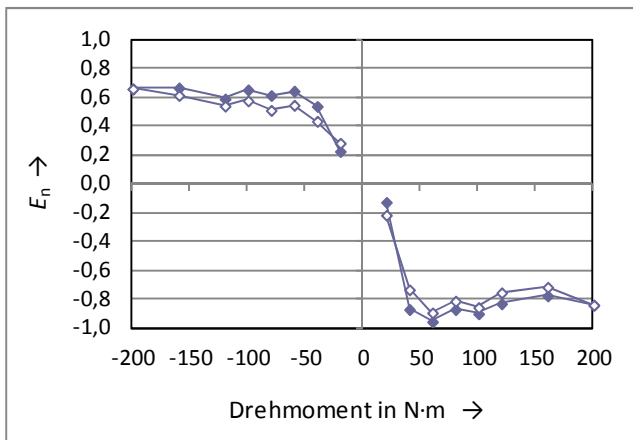


Bild 93: Berechnete E_n -Faktoren für das Messergebnis des TT1-Aufnehmers (volles Symbol – steigendes Drehmoment, leeres Symbol – fallendes Drehmoment)

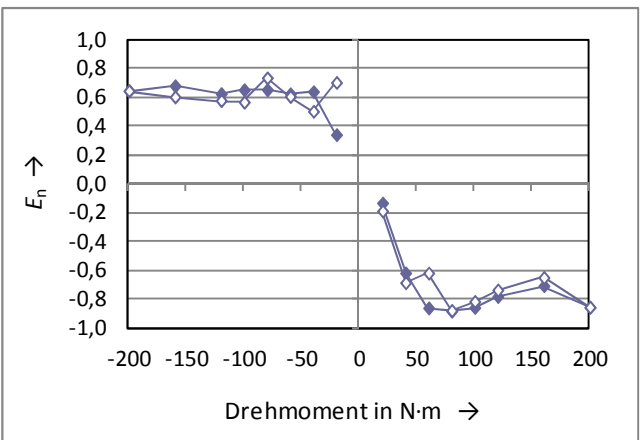


Bild 94: Berechnete E_n -Faktoren für das Messergebnis des TB2-Aufnehmers (volles Symbol – steigendes Drehmoment, leeres Symbol – fallendes Drehmoment)

Typ der Messeinrichtung: Referenz

Messachse: vertikal

Kleinste angebbare Messunsicherheit ($k = 2$):

$2 \cdot 10^{-3}$

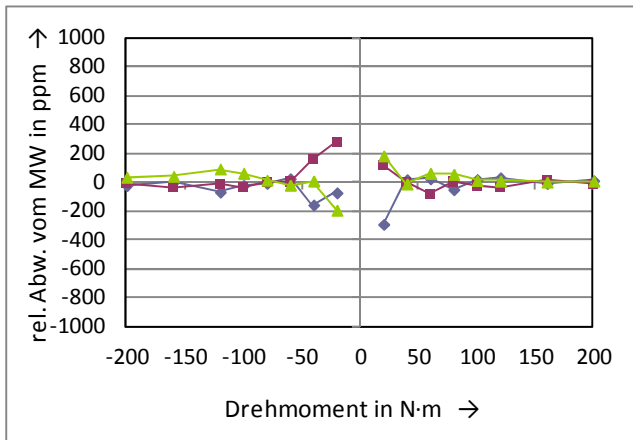


Bild 95: Relative Abweichungen der Ergebnisse der drei Messreihen des TT1-Aufnehmers (nur betragsmäßig ansteigendes Drehmoment) bezogen auf deren gemeinsamen Mittelwert (Einbaustellungen: 1 – Raute, 2 – Quadrat, 3 – Dreieck)

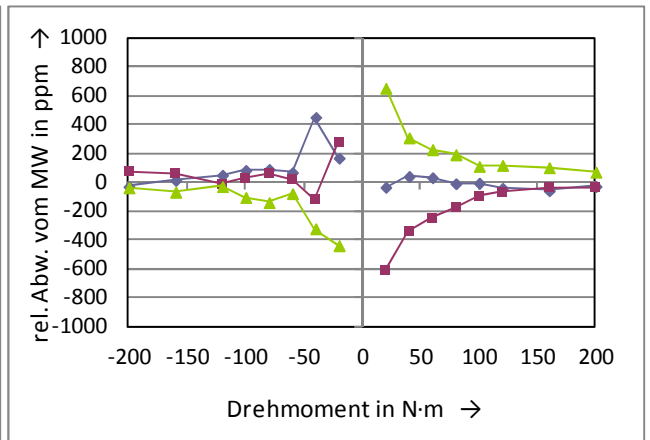


Bild 96: Relative Abweichungen der Ergebnisse der drei Messreihen des TB2-Aufnehmers (nur betragsmäßig ansteigendes Drehmoment) bezogen auf deren gemeinsamen Mittelwert (Einbaustellungen: 1 – Raute, 2 – Quadrat, 3 – Dreieck)

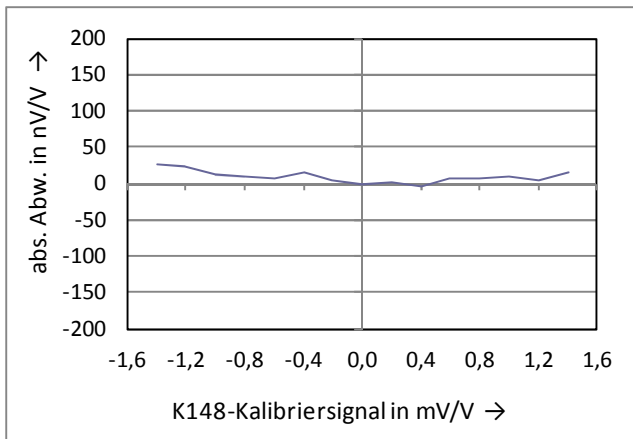


Bild 97: Absolute Abweichungen der Signale des verwendeten Verstärkers (MGCplus mit ML38) von den Kalibriersignalen des Brückennormals K148, nur eine Messung

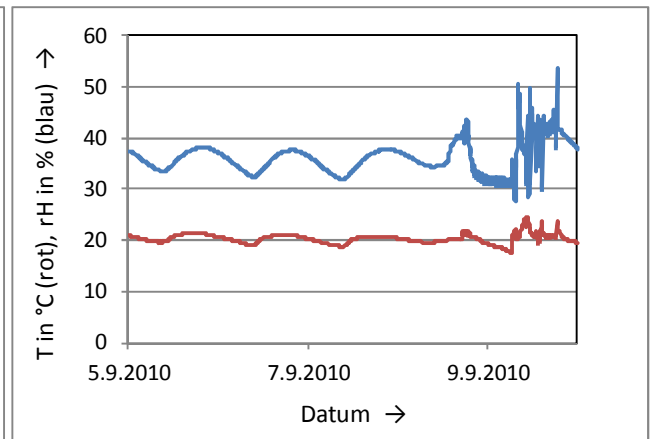


Bild 98: Temperatur (rote Kurve) und relative Luftfeuchtigkeit (blaue Kurve) vor, während und nach den Messungen

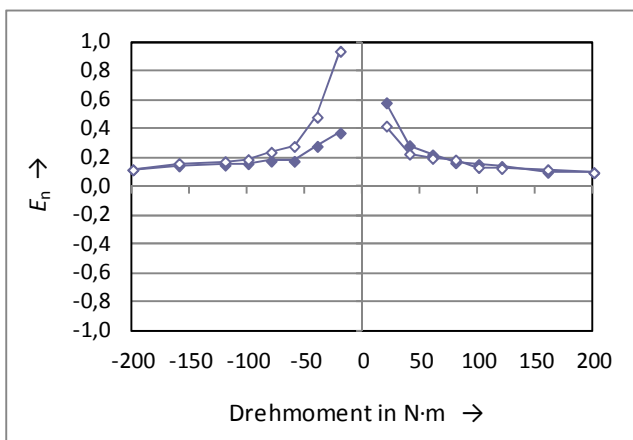


Bild 99: Berechnete E_n -Faktoren für das Messergebnis des TT1-Aufnehmers (volles Symbol – steigendes Drehmoment, leeres Symbol – fallendes Drehmoment)

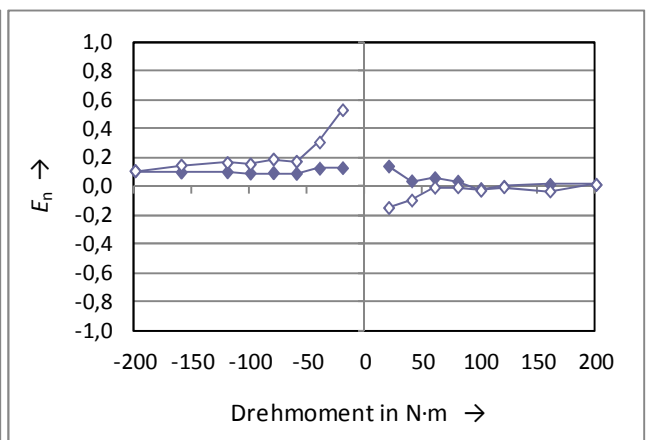


Bild 100: Berechnete E_n -Faktoren für das Messergebnis des TB2-Aufnehmers (volles Symbol – steigendes Drehmoment, leeres Symbol – fallendes Drehmoment)

Biegemoment- bzw. Querkrafteinfluss auf die Transfornormale

Einige Ergebnisse der Teilnehmer lassen vermuten, dass die Ausrichtung der Kalibriereinrichtung in dem einen oder anderen Fall nicht optimal war. Das scheint insbesondere dann zuzutreffen, wenn die Empfindlichkeiten sehr stark von der Einbaustellung abhängen, wie zum Beispiel bei den mit dem TB2-Aufnehmer bestimmten Kurven im Labor 09301. Damit eine Bewertung dieses Einflusses überhaupt möglich ist, wurde die kombinierte Biegemoment-Querkraftabhängigkeit des Ausgangssignales der Transfornormale im Labor Drehmomentservice Dr. Peschel gemessen.

In einer ersten Messung wurden die beiden Aufnehmer horizontal eingespannt und im unbelasteten Zustand um die ebenfalls horizontale Achse gedreht. Dabei äußert sich das (für beide Aufnehmer unterschiedliche) Eigengewicht, das als Querkraft wirkt und zusätzlich ein Biegemoment hervorruft, in einem Messsignal, dessen Größe unter anderem davon abhängt, wie gut die Drehmomentmessbrücke gegen diesen Einfluss abgeglichen ist. Im Idealfall sollte keine Signaländerung zu beobachten sein. Die Bilder 101 und 102 zeigen aber, dass eine solche Signalvariation auftritt: es sind jeweils die auf das Nennsignal bezogenen relativen Änderungen zum Mittelwert dargestellt. Man sieht, dass der Effekt bei dem TB2-Aufnehmer stärker hervortritt, wobei zu berücksichtigen ist, dass die Masse des TB2-Aufnehmers mit Adaptern etwa viermal so groß ist wie die des TT1-Aufnehmers. Die beobachteten Änderungen sind jedoch in beiden Fällen vernachlässigbar.

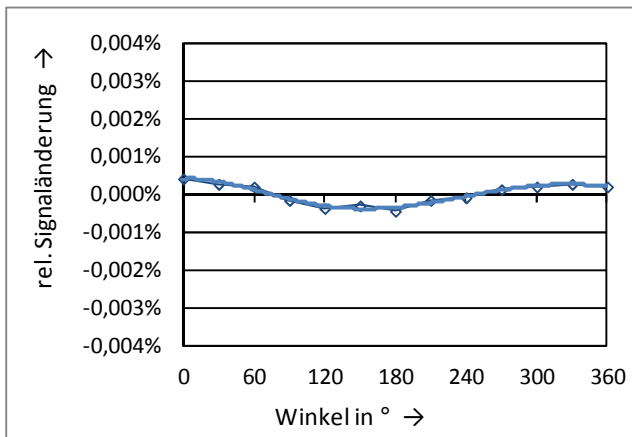


Bild 101: Auf das Nennsignal bezogene relative Änderung des Signales der Drehmomentmessbrücke des unbelasteten TT1 -Aufnehmers bei Rotation um die horizontale Messachse (Symbole – Messpunkte, dicke Linie – Ausgleichsfunktion)

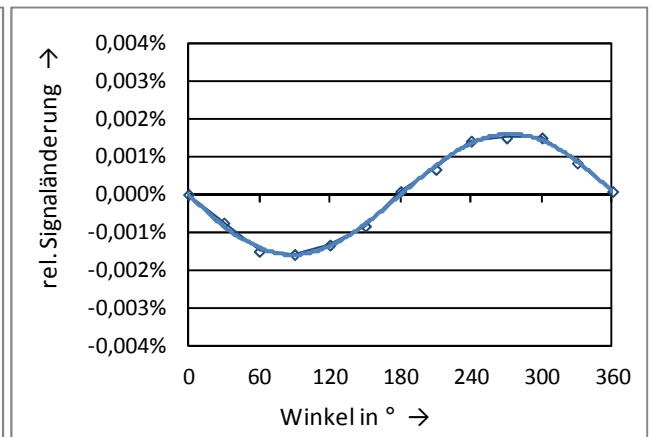


Bild 102: Auf das Nennsignal bezogene relative Änderung des Signales der Drehmomentmessbrücke des unbelasteten TB2 -Aufnehmers bei Rotation um die horizontale Messachse (Symbole – Messpunkte, dicke Linie – Ausgleichsfunktion)

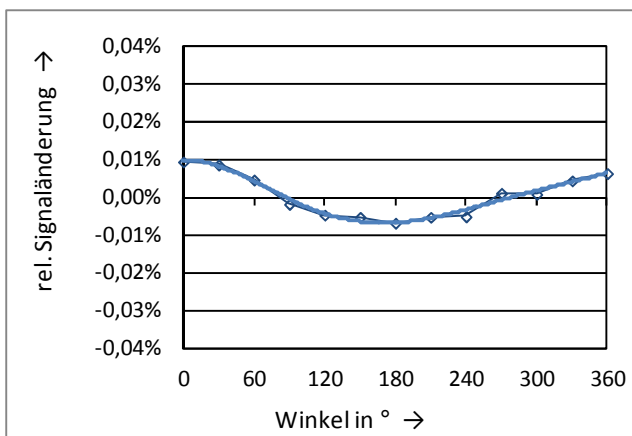


Bild 103: Auf das Nennsignal bezogene relative Änderung des Signales der Drehmomentmessbrücke des mit einer Querkraft von 102 N (entspricht einem Biegemoment von 11,2 N·m) belasteten TT1 -Aufnehmers bei Rotation um die horizontale Messachse (Symbole – Messpunkte, dicke Linie – Ausgleichsfunktion)

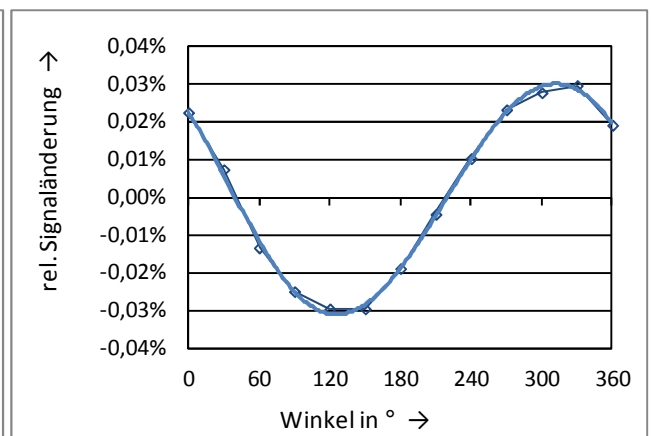


Bild 104: Auf das Nennsignal bezogene relative Änderung des Signales der Drehmomentmessbrücke des mit einer Querkraft von 158 N (entspricht einem Biegemoment von 18,2 N·m) belasteten TB2 -Aufnehmers bei Rotation um die horizontale Messachse (Symbole – Messpunkte, dicke Linie – Ausgleichsfunktion)

In einer weiteren Messung (Bilder 103 und 104) wurde in einem Abstand von 110 mm bis 115 mm von der Messbrücke eine konstante Gewichtskraft von 102 N bzw. 158 N senkrecht zur Messachse aufgebracht und das Ausgangssignal für verschiedene Winkelstellungen der Aufnehmer im Bereich von 0° bis 360° aufgezeichnet. Dabei wurde der in den Bildern 101 und 102 gezeigte, sehr kleine Effekt des Eigengewichts korrigiert. Zu beachten sind die jetzt unterschiedlichen Skalierungen der Ordinatenachsen.

Der Abstand der Kraft von der Messstelle betrug ca. 110 mm beim TT1-Aufnehmer. Bei einer Kraft von 102 N ergab sich ein Biegemoment von 11,2 N·m. Beim TB2-Aufnehmer betrug der Abstand ca. 115 mm, so dass bei einer Kraft von 158 N ein Biegemoment von 18,2 N·m resultierte. Die Diagramme zeigen, dass der Einfluss beim TB2-Aufnehmer sichtbar größer ist und nicht allein mit der größeren Querkraft bzw. dem größeren Biegemoment erklärt werden kann.

Diese Ergebnisse können aber leider nicht direkt zur Erklärung der in einzelnen Messungen festgestellten Abweichungen herangezogen werden. Wenn die durch ein Verspannen des Aufnehmers in der Kalibriereinrichtung erzeugten Querkräfte und Biegemomente (auch Axialkräfte sind möglich) während der Messung konstant sind, dann ist nicht zu erwarten, dass sie die Empfindlichkeit der Drehmomentmessbrücke bezüglich des Drehmomentes verändern. Ein solcher Effekt der Änderung der Empfindlichkeit der Messbrücken durch konstante Zusatzkomponenten wurden bisher nicht nachgewiesen (sind aber auch nicht ausgeschlossen). Vielmehr ist es wahrscheinlich, dass die Zusatzkomponenten selbst durch die Aufbringung des Drehmomentes verändert wurden und sich dann in einem Übersprechen äußern, das eine Empfindlichkeitsänderung suggeriert. Hier kann nur eine direkte Mehrkomponentenmessung oder eine Messung des Verformungszustandes während der Belastung weitere Informationen liefern. Im Idealfall aber sollten die auf den Kalibriergegenstand einwirkenden Zusatzkomponenten durch eine gute Ausrichtung und die Verwendung geeigneter biegeweicher Kupplungen hinreichend klein sein.

Kalibrierscheine

Die von den Laboratorien gelieferten Kalibrierscheine entsprechen im Wesentlichen den Anforderungen. Zwei Teilnehmer hatten bis zum Schluss keine vollständig ausgefüllten Kalibrierscheine vorgelegt.

Beim **allgemeinen Aufbau** der Kalibrierscheine gab es kleinere Abweichungen bei

- der kompletten Benennung der Adaptionen (7)
- der Bezeichnung für die Kalibriereinrichtung (1)
- den Angaben zu den Messkabeln (3)
- den Angaben zu den Kalibrierbedingungen (3)
- den Angaben zu den Messverstärkern (1)
- den Angaben zum Kalibriergegenstand (1).

In zwei Fällen fehlte die grafische Darstellung der Ergebnisse, in einem weiteren Fall war diese nicht sinnvoll.

Die Verteilung der Abweichungen auf die Teilnehmer war folgende: 00101: 1, 09301: nicht bewertet, 37801: 0, 37701: 1, 10401: 1, 41401: 1, 47801: 1, 49301: 2, 08001: 1, 19801: 3, 51101: 1, Porsche: 2, TÜV-AT: nicht bewertet, 50601: 1, 24801: 4.

Insgesamt handelt es sich hierbei in der Regel um kleinere Abweichungen, die bei entsprechender Sorgfalt vermieden werden können. Die Gültigkeit der Kalibrierung wird dadurch nicht in Frage gestellt.

Bei den berichteten **Ergebnissen** gab es folgende sachliche und formale Abweichungen

- Ergebnis bei 0 N·m im Fall II gleich 0 mV/V (1)
- angegebene Messunsicherheiten zum Teil kleiner als der „bmc“-Wert (2)
- kleinere Abweichungen bei den berechneten Ergebnissen und Messunsicherheiten in der letzten Stelle (2)
- zu viele Nachkommastellen der Koeffizienten der Ausgleichsfunktionen (3)
- kleinere Abweichungen bei den berechneten Kenngrößen, u. a. Vorzeichenfehler (3)

- Kenngrößen: $h = 0$ mV/V bei 100%, wurde aber nicht gemessen (1)
- Kenngrößen: r mit falscher Stellenzahl, falschem Wert oder fehlender Einheit (5)
- Formale Fehler: Einheit in „[]“, kursive Schreibweise von Variablen, unpassende Auflösung der Ergebnisse
- Diagramme: relative Abweichungen können bei 0 N·m nicht bestimmt werden, die Funktionen haben keinen Wert bei 0 N·m und die Kurven verlaufen auch nicht durch den Koordinatenursprung (1)
- Diagramme: die komplette dritte Messreihe fehlt (1)
- Diagramme: die Messpunkte sollten nicht durch eine wie auch immer ausgeglichene Interpolationsfunktion verbunden werden (1)
- die Scheine von vier Teilnehmern enthielten keine Diagramme.

Die Verteilung der Abweichungen auf die Teilnehmer war folgende: 08001: 3, 10401: 3, 24801: 5, 37701: 4, 37801: 1, 49301: 8, 50601: 2, Porsche: 7, TÜVAT: 4.

Zu beachten ist bei Kalibrierscheinen, die aus Messungen auf Referenzanlagen resultieren, dass es sich bei den berichteten Rohwerten in der Regel um interpolierte und tarierte Werte handelt. Ein Hinweis darauf ist sehr hilfreich. Zweisprachige Scheine sollten einen Vermerk darüber enthalten, welche Sprache – bei DAkkS-Scheinen die deutsche Sprache – die rechtlich verbindliche ist. Ein Hinweis in der Zweitsprache sollte genügen. Wenn Linearitätsabweichungen in Diagrammen dargestellt werden, muss der lineare Bezugswert angegeben werden, damit die Darstellungen vergleichbar sind.

Viele der genannten Abweichungen wurden bereits im Rahmen von Audits oder Begutachtungen behoben. Die Liste zeigt aber, dass es eine Reihe von Fehlermöglichkeiten gibt und nur eine systematische Kontrolle das Vermeiden von Fehlern sicherstellen kann.

8. Bewertung des Ringvergleichs

In diesem Ringvergleich wurden die messtechnischen Fähigkeiten von 13 DKD- bzw. DAkkS-akkreditierten Laboratorien sowie zweier weiterer, nicht in Deutschland akkreditierter Laboratorien mit dem Drehmomentlabor der PTB verglichen. Generell kann gesagt werden, dass die große Mehrzahl der berechneten E_n -Werte im Bereich zwischen -1 und 1 liegt. Bei einem Teilnehmer (37801) liegt ein einzelner Wert, bei zwei Laboratorien (37701 und 10401) liegen insgesamt drei Werte außerhalb dieses Bereichs. Nur zwei Laboratorien haben mehrere Werte, die aus dem Intervall fallen (09301 nur TB2, TÜV AT TT1 und TB2). Das zuletzt genannte Labor arbeitete mit Vierkanten und hatte damit Bedingungen, die dem RV nicht ganz entsprechen. Trotzdem wurde die Messunsicherheit auf $2 \cdot 10^{-3}$ erhöht. Nicht geklärt werden konnte, warum der TB2-Aufnehmer bei 09301 relative große konstante Abweichungen zeigte, der TT1-Aufnehmer aber nicht. Vermutlich reagiert der TB2-Aufnehmer doch empfindlicher auf die etwas höhere Temperatur bzw. die geringere relative Luftfeuchte bei dieser Messung. Zu einem späteren Zeitpunkt ergab eine Wiederholungsmessung mit demselben TB2-Aufnehmer im Rahmen einer Begutachtung des Labors bei deutlich besseren Umgebungsbedingungen eine wesentlich bessere Übereinstimmung mit der Messung in der PTB.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass dieser DKD-Ringvergleich eine hervorragende Übereinstimmung der Messergebnisse der 15 Teilnehmer erbracht hat und damit als sehr gute Bestätigung der Einhaltung der von den Laboren ausgewiesenen bzw. akkreditierten Messunsicherheiten gelten kann. Die Hinweise zu den Ergebnisberichten (Kalibrierscheinen) sind geeignet, mögliche Fehlerursachen bei der Erstellung dieser Scheine herauszufinden und entsprechende Maßnahmen zur Vermeidung dieser Fehler zu ergreifen.

Referenzen

[1] Röske, D.

Final report on the torque key comparison CCM.T-K1. Measurand torque: 0 N·m, 500 N·m, 1000 N·m, Metrologia: 46 (2009), Tech. Suppl., 07002 [Online only], 32 S.
Link: <http://dx.doi.org/10.1088/0026-1394/46/1A/07002>