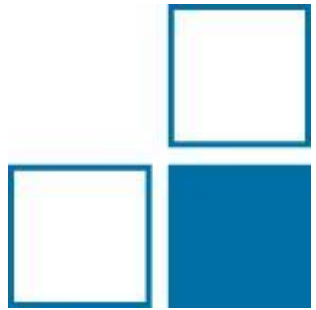
Physikalisch-Technische Bundesanstalt
Braunschweig und Berlin
Nationales Metrologieinstitut

Ringvergleiche von Hochspannungs- und Hochstrommesssystemen innerhalb DAkkS-akkreditierter Kalibrierlabore

Stephan Passon, Johann Meisner



PTB 2.31 Messwandler und Hochspannung

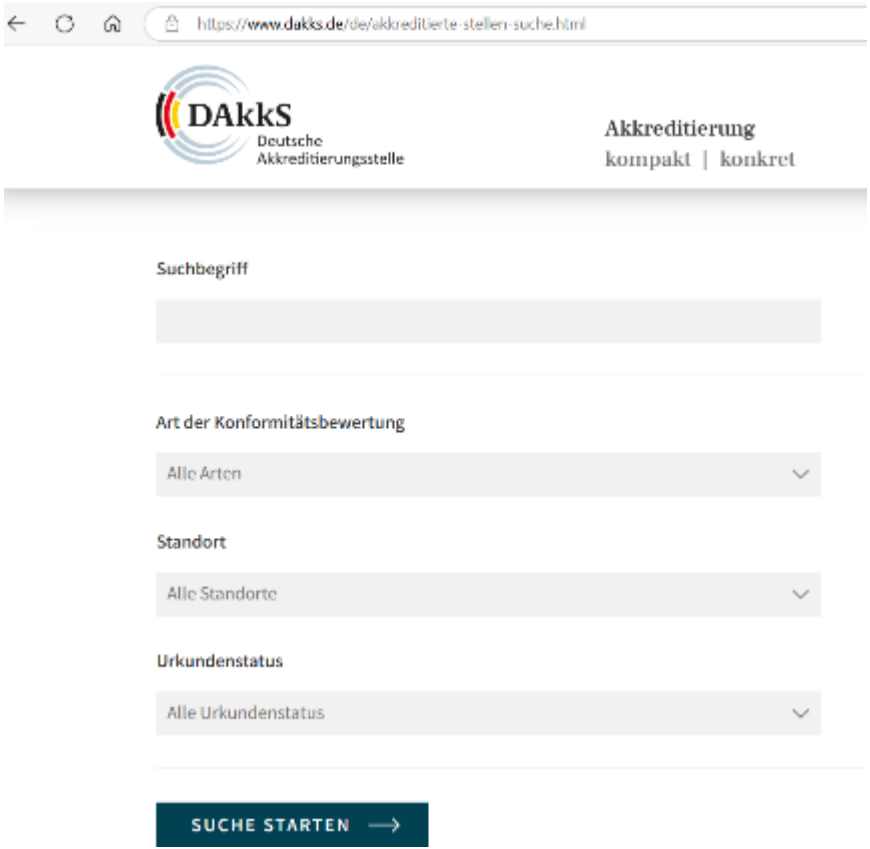
- Hohe Gleichspannung (HVDC) bis 2000 kV
- Hohe Wechselspannung (HVAC) bis 800 kV
- Hohe Stoßspannung (LI, SI, LIC) bis 2000 kV
- Hohe Stoßströme bis 20 kA (bald bis 200 kA)
- Teilentladungskalibratoren
- Kapazität und Verlustfaktor bei Hochspannung
- Spannungswandler bis 800 kV
- Stromwandler bis 100 kA
- Bürden und Messbrücken für Strom- und Spannungswandler

DAkkS Akkreditierte Labore

- Ca. 20 Labore im Bereich Hochspannungsmessgrößen und Hochspannungsimpulsmessgrößen
- Zuordnung entspricht nicht der BIPM MRA Zuordnung
- Einige Bereiche der klassischen Hochspannungs- und Hochsrommessgrößen sind „falsch“ zugeordnet (Beispiel: hoher Stoßstrom und Teilentladung)

- HVDC beginnt eigentlich ab 1500 V
- HVAC beginnt eigentlich ab 1000 V

- DAkkS Datenbank ist leider unübersichtlich



Vergleichsmessungen und Eignungsprüfungen

Auszug aus einem Checkliste-Bericht zur DIN EN ISO/IEC 17025:2018

6.5 Metrologische Rückführbarkeit

6.5.3	Wenn eine metrologische Rückführbarkeit auf SI-Einheiten technisch nicht möglich ist, muss das Laboratorium die metrologische Rückführbarkeit auf eine geeignete Referenz nachweisen, z. B.: a) zertifizierte Werte von solchen zertifizierten Referenz-materialien, die von einem kompetenten Hersteller zur Verfügung gestellt werden; b) Ergebnisse von Referenzmessverfahren, festgelegten Verfahren oder auf Konsens beruhenden Normalen, die genau beschrieben werden und für die akzeptiert wird, dass sie für ihren beabsichtigten Einsatz geeignete Mess-ergebnisse erzielen und dies durch einen geeigneten Vergleich abgesichert wird.

7.7 Sicherung der Validität von Ergebnissen

7.7.2	Das Laboratorium muss, sofern verfügbar und zweckmäßig, seine Leistung durch Vergleich mit den Ergebnissen anderer Laboratorien überwachen. Diese Überwachung muss geplant und geprüft werden und muss eines oder beides des Folgenden beinhalten, ohne darauf beschränkt zu sein: a) Teilnahme an Eignungsprüfungen; [➔ANMERKUNG] b) Teilnahme an Programmen von Vergleichen zwischen Laboratorien, die keine Eignungsprüfungen sind.

Problemstellung

Welche Schwierigkeiten gibt es bei den Laboren einen Vergleich zu organisieren?

- Vergleiche sind kein Kerngeschäft → Prio niedrig
- Vergleichspartner sind gleichzeitig Konkurrenz → schwierige oder keine Kommunikation
- Auswertung und Organisation ist Aufwendig → Personalmangel
- Manchmal gibt es keine nationalen Partner → spezielle Messgrößen
- Transport der Hochspannungsmesseinrichtungen schwierig → Größe und Gewicht

Wie ist es in den letzten Jahren gelaufen?

- Begutachter im Hochspannungsbereich stellten Mangel an Vergleichen fest
- PTB AG 2.31 hat 2022 begonnen die Vergleiche zu organisieren
    - Zusammenstellung der Teilnehmer (Schwierigkeit ist die DAkkS Datenbank)
    - Bereitstellung der Transfernormale
    - Zeitliche und logistische Organisation
    - Auswertung und Bericht

Beispiel einer Auswertung (ISO/IEC 17043)

Calculation of mean value:

$$X_{Rm} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} X_i$$

X_{Rm} Mean value
X_i Value of participant
n Number of participants

Calculation of weighted mean value:

$$X_R = \frac{\sum_{i=1}^{n} \frac{X_i}{U_i^2}}{\sum_{i=1}^{n} \frac{1}{U_i^2}}$$

X_R Weighted mean value
X_i Value of participant
n Number of participants
U_i Expanded measurement uncertainty of paticipant

Calculation of expanded measurement uncertainty of weighted mean value:

$$U_R = 2 * \sqrt{\sum_{i=1}^{n} (u_i^2)}$$

n Number of participants
u_i Standard measurement uncertainty of paticipant

Beispiel einer Auswertung (ISO/IEC 17043)

Calculation of E_n value:

$$E_n = \frac{X_{Lab} - X_R}{\sqrt{U_{Lab}^2 + U_R^2}}$$

X_{lab}	the value measured by the participating mesurement systems
X_R	Weighted mean value
U_{lab}	expanded uncertainty of a participant's result
U_R	expanded measurement uncertainty of weighted mean value

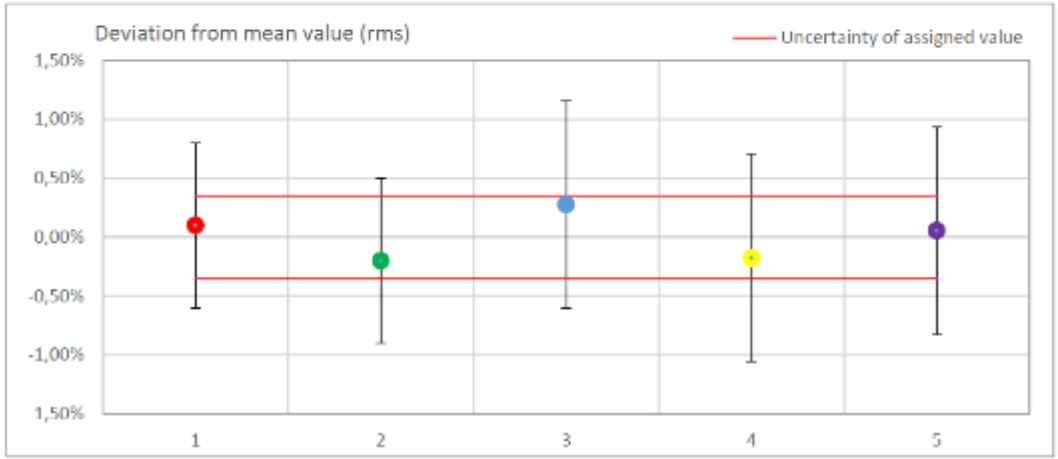
Teilnehmer 1			Teilnehmer 2			Teilnehmer 3		
En	Δx_i	U(Δxi)	En	Δx_i	U(Δxi)	En	Δx_i	U(Δxi)
0,21	0,05	0,25	0,00	0,00	0,88	-0,17	-0,01	0,03
0,02	0,01	0,51	0,01	0,01	0,69	0,01	0,00	0,07
0,05	0,05	1,11	0,30	0,12	0,41	-0,29	0,00	0,01
0,14	0,30	2,17	1,58	0,23	0,15	-1,59	-0,12	0,08
0,12	0,27	2,14	1,99	0,33	0,16	-1,98	-0,07	0,03
0,13	0,72	5,45	0,14	0,27	1,98	-0,19	0,00	0,01
-0,11	-1,39	12,40	-0,26	-1,29	5,03	0,35	0,01	0,03
0,03	0,86	25,53	-0,20	-2,24	11,05	0,33	0,03	0,10
0,04	1,10	25,52	-0,08	-0,90	10,99	0,11	0,01	0,05
0,03	1,87	58,10	-0,10	-2,83	29,11	0,10	0,01	0,08
0,00	-0,50	113,30	-0,22	-12,90	59,70	0,23	0,02	0,09
0,01	1,26	234,23	-0,07	-8,34	119,40	-0,05	-0,03	0,62

$|E_n| \leq 1$ Ergebnis akzeptabel

$|E_n| > 1$ Ergebnis nicht akzeptabel

Beispiel einer Auswertung (ISO/IEC 17043)

Number of measurement system	rms in kV	Measurement uncertainty	Deviation from mean value	E_n
1	101,19	0,70%	0,10%	0,14
2	100,88	0,70%	-0,20%	-0,29
3	101,37	0,88%	0,28%	0,31
4	100,91	0,88%	-0,18%	-0,20
5	101,14	0,88%	0,06%	0,06
X_R	101,09			
U_R	0,35%			

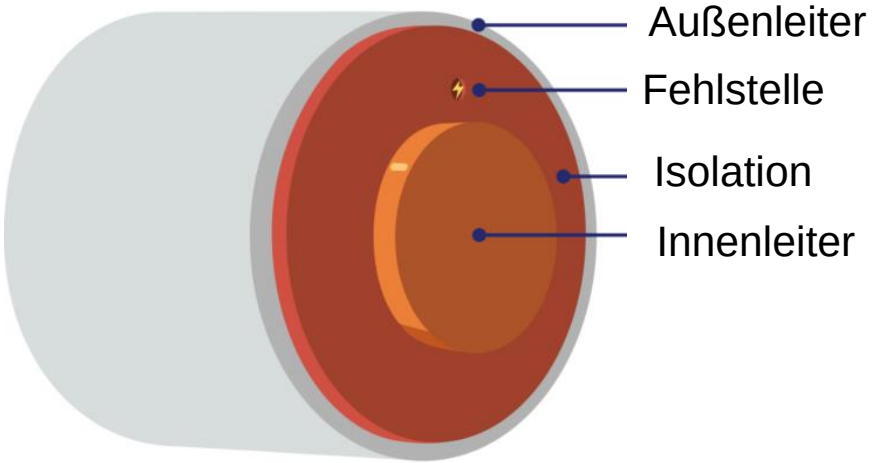


TE-Vergleich 2022

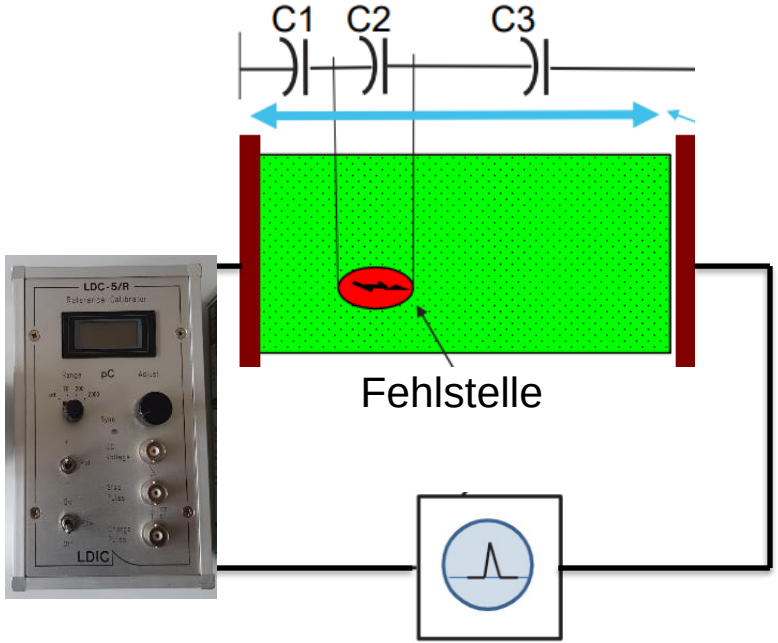
Vergleichsmessung der Messsysteme für die Kalibrierung von Teilentladungs-Kalibratoren

TE-Exkurs

Teilentladungen:



Teilentladungsmessungen:



TE-Vergleich 2022

Vergleichsmessung der Messsysteme für die Kalibrierung von Teilentladungs-Kalibratoren von 0.1 pC bis 2 nC

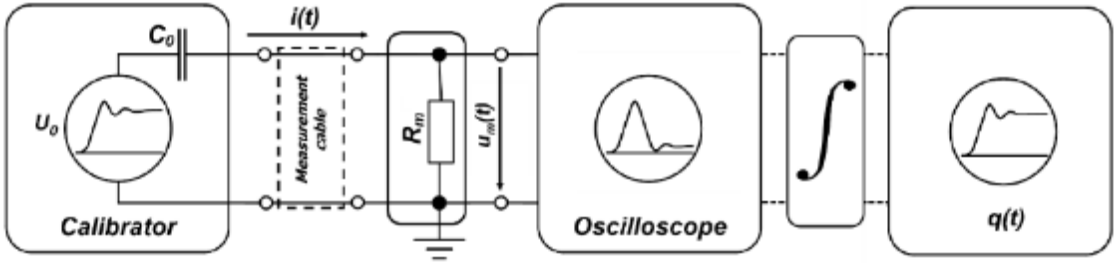


Figure 2. Numerical integration method.

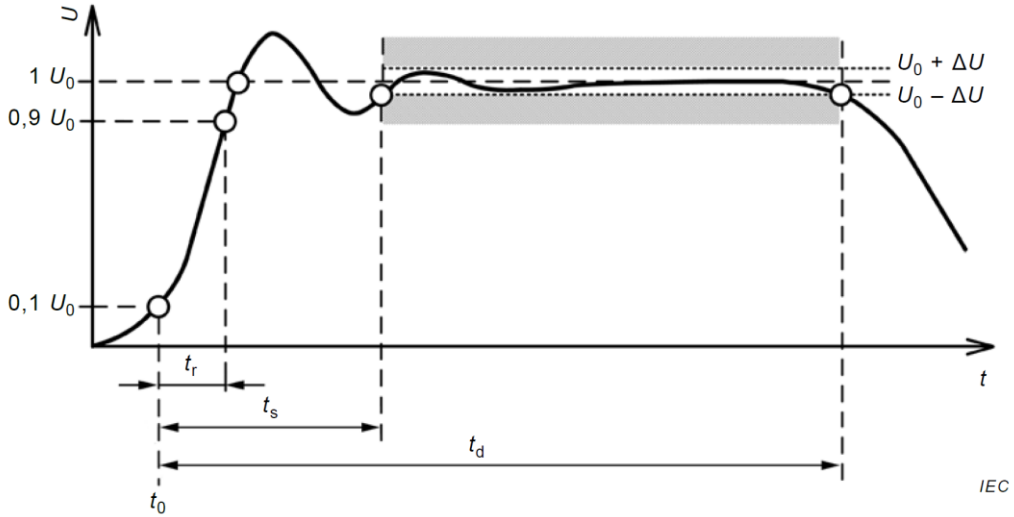
Charge $q(t)$ generated by the calibrator is

$$q(t) = \int i(t)dt = \frac{1}{R_m}\int u_m(t)dt$$

TE-Vergleich 2022

Tabelle 1. Sprungspannung nach IEC 60270, Ed. 3.1

Description	Requirement
t_r – rise time	≤ 60 ns
t_s – time to steady state	≤ 200 ns
t_d – duration of unipolar step voltages	≥ 5 µs
ΔU – Voltage variation between t_s and t_d	≤ 0.03 U_0



U_0 step voltage magnitude

mean value occurring within the steady state duration $t_d - t_s$

t_0 origin of the step voltage

time instant when the rising voltage equals 10% of U_0

t_r rise time of the step voltage

10% to 90% of peak value

t_s time to steady state

shortest instant at which the deviation ΔU from U_0 remains first time less than 3 %.

t_d step voltage duration

instant after t_s at which the magnitude of the step voltage decays below 97% of U_0

$(t_d - t_s)$ steady state duration

ΔU absolute voltage deviation from U_0

TE-Vergleich 2022

Die Messgröße „Anstiegszeit“ wurde aus folgenden Gründen ausgeschlossen:

- Wie auch schon beim internationalen Vergleich *„Supplementary Comparison EURAMET.EM-S36 Comparison of partial discharge (PD) calibrators from 0.1 pC to 10 nC”* wurde kein Konsens unter den Laborergebnissen erreicht.

- Die Messgröße ist nur eine Prüfgröße in der IEC 60270 und muss lediglich unter 60 ns liegen

- Das Normungsgremium innerhalb des IEC TC 42 erstellt momentan eine Änderung der IEC 60270

Stoßstrom 2023

Vergleichsmessung/Ringvergleich gemäß DIN EN ISO/IEC 17043:2010

zu Impulsstrommessgrößen

- Vergleich zwischen 3 Teilnehmern (IPH, Highvolt und PTB) im Herbst 2023
- Organisation durch IPH Berlin
- Auswertung durch PTB
- Bestimmung des Maßstabsfaktors entsprechend IEC 62475
- Bestimmung der Abweichung der Zeitparameter T1 und T2
- Messpunkte: I_{peak} = 200 A bis 8000 A (8µs/20µs)

2024 Stoßspannung bis 1000 V

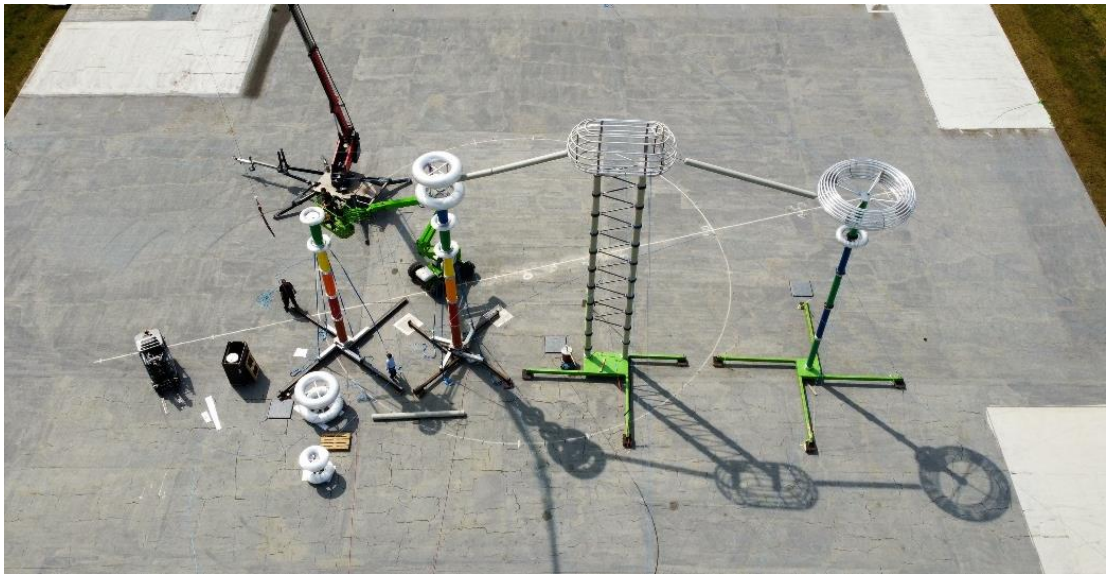
Vergleichsmessung der Messsysteme für die Kalibrierung von Stoßspannungs-Kalibratoren von 100 V bis 1000 V

- Vergleich zwischen 4 Teilnehmern (Dr. Strass, IPH, Highvolt und PTB) im Frühling 2024
- Organisation durch Dr. Strauss und PTB
- Auswertung durch PTB
- Bestimmung des Maßstabsfaktors entsprechend IEC 60060
- Bestimmung der Abweichung der Zeitparameter T_1, $T_{2,}$ T_c und T_p
- Messpunkte: U_m = 100 V bis 1000 V (LI, LIC und SI)

2025 HVDC

- Transfernormal für 20 kV und 150 kV entwickelt - optional bis 1200 kV

- Möglichkeit als Ringversuch bei den jeweiligen Laboren, oder zentral in der PTB

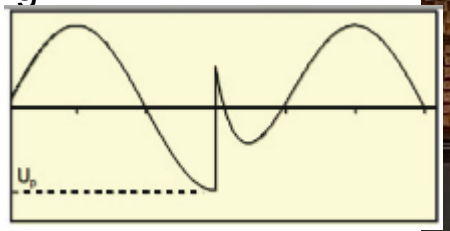


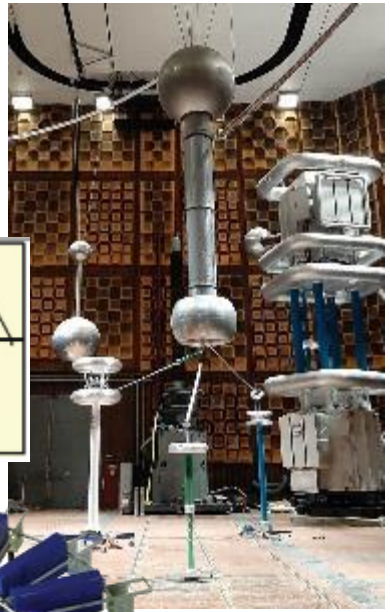
Ausblick I – neue Messgrößen

Metrologie-Forschungsprojekte führen zu neuen Messgrößen

HV-com² - 19NRM07

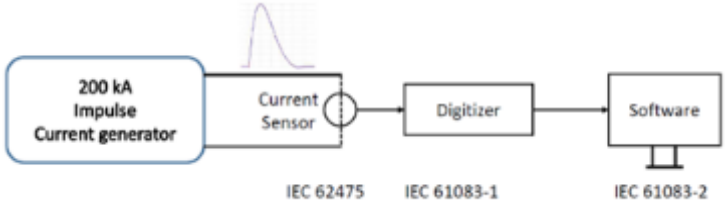
- Überlagerte und zusammengesetzte Hochspannung

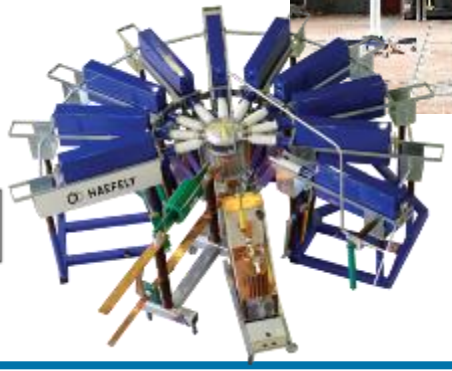




ELITE -24GRD05

- Hoher Stoßstrom ungleich 8/20
- Stoßspannung mit T_1 schneller als 0,84 µs
- Strom-Sprungantwort





Ausblick II

- Zukünftige mögliche Vergleiche:
  - Hohe Stoßspannung (LI, SI, LIC)
  - Kapazität und tanD bei hoher Wechselspannung
  - Stoßstrom ungleich 8/20 (z.B. 10/350) und > 20 kA

- Wünsche an DAkkS:
  - Vereinfachung der Datenbankstruktur
  - Umstrukturierung der Bereiche z.B. Stoßstrom (Gespräche haben bereits begonnen)
- Wünsche an die DAkkS akkreditierten Labore:
  - Organisation der Vergleiche in einem „Gremium“ aus Hochspannungslaboren
  - Durchführung und Auswertung der Vergleiche
- Leistung der PTB in Zukunft
  - PTB kann bei einem Vergleich gern Teilnehmer sein
  - PTB kann bei einem Vergleich das Transfernormal stellen

Physikalisch-Technische Bundesanstalt
Braunschweig und Berlin
Bundesallee 100
38116 Braunschweig

Stephan Passon
Telefon: 0531 592-2390
E-Mail: stephan.passon@ptb.de