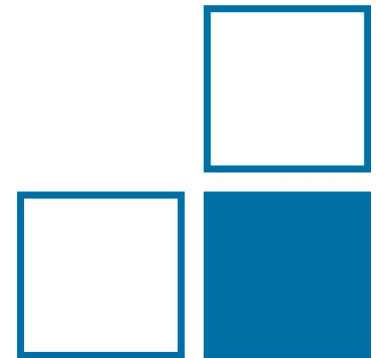


Automatic 2-Terminal-Pair Bridge for Capacitance Measurements

Automatische Zweitor-Kapazitätsmessbrücke

1. Motivation: Geplante Anwendung in AG 2.13
2. Setup und Komponenten
3. Messprogramm und Messergebnisse
4. Zusammenfassung



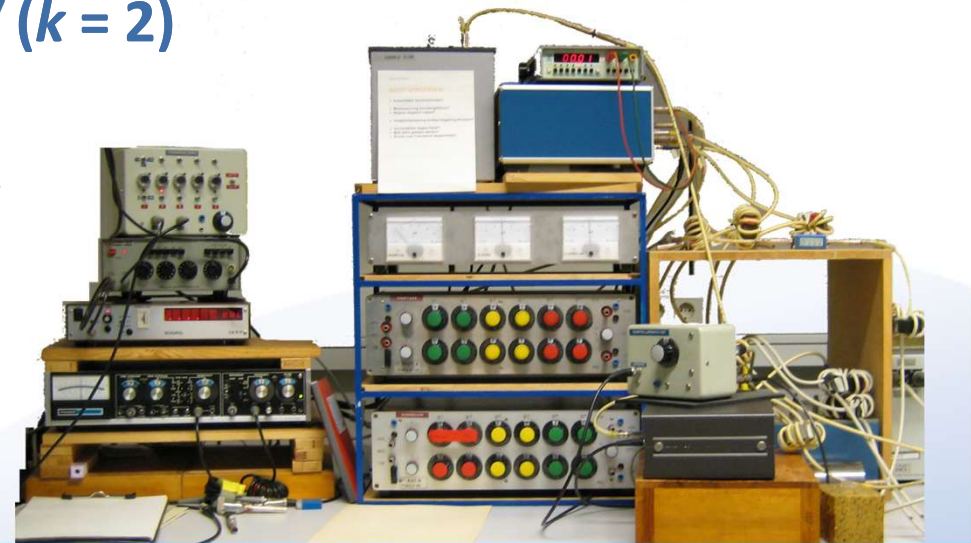
1. Motivation

Vorhandene Kapazitätsmessbrücke
Genutzt für Kundenkalibrierungen

- Manuelle, analoge 2-Tor Brücke in AG 2.13 (seit ca. 1995)
- 1:1- und 1:10-Kapazitätsmessungen/-kalibrierungen
- Kleine Unsicherheit: **10 pF bis 10 nF: $1 \cdot 10^{-7}$ ($k = 2$)**
- Typischerweise 2 Messpunkte pro Tag,
Messungen über 1 Woche (10 Messpunkte
wegen Kondensator-Drift)

**Ziel: Bereitstellung einer zusätzlichen
und automatisierbaren Brücke**

1 nF Kapazitätsnormal



2. Setup und Komponenten

Ausgangssystem (vorhanden) für die Umrüstung

- Bücken-Setup resultierend aus europäischem FP-IV-Projekt „Modular System for the Calibration of Capacitance Standards based on the Quantum Hall Effect“ (2001 bis 2003)
 - PTB (Deutschland)
 - NPL (Großbritannien)
 - IEN (Italien)
 - METAS (Schweiz)
 - CTU (Tschechien)
 - NML (Irland)
 - INETI (Portugal)



2. Setup und Komponenten

Ausgangssystem (vorhanden) für die Umrüstung

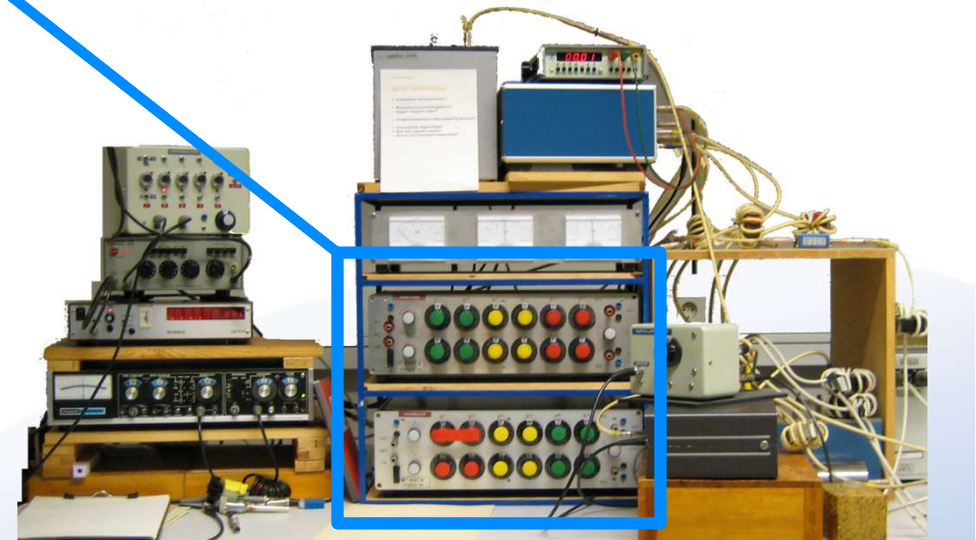
- Erreicht: QHE \rightarrow 10 pF bis 10 nF: $1 \cdot 10^{-7}$ ($k = 2$)
- Anwendungszwecke der 4-Tor Brücke (ursprünglich im Projekt geplant)
 - Quadraturbrücke
 - 1:1 Verhältnisbrücke
 - 10:1 Verhältnisbrücke

Verwendbar für neue
automatische
Zweitor-Brücke



2. Setup und Komponenten

Handgesteuerter Induktiv-Spannungs-Teiler

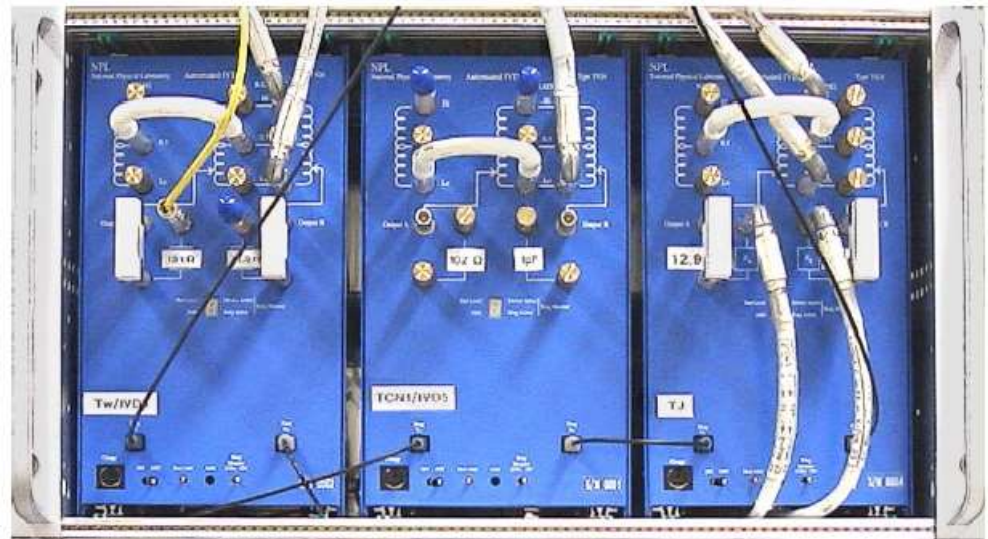


2. Setup und Komponenten

NPL-Entwicklung

Automatisierte Induktiv-Spannungs-Teiler

- Computergesteuert
- Glasfaser-Communication-Link
- Batteriebetrieb
(> 50 Stunden Dauerbetrieb)
- rauscharm
- 2-stufiges Design



2. Setup und Komponenten

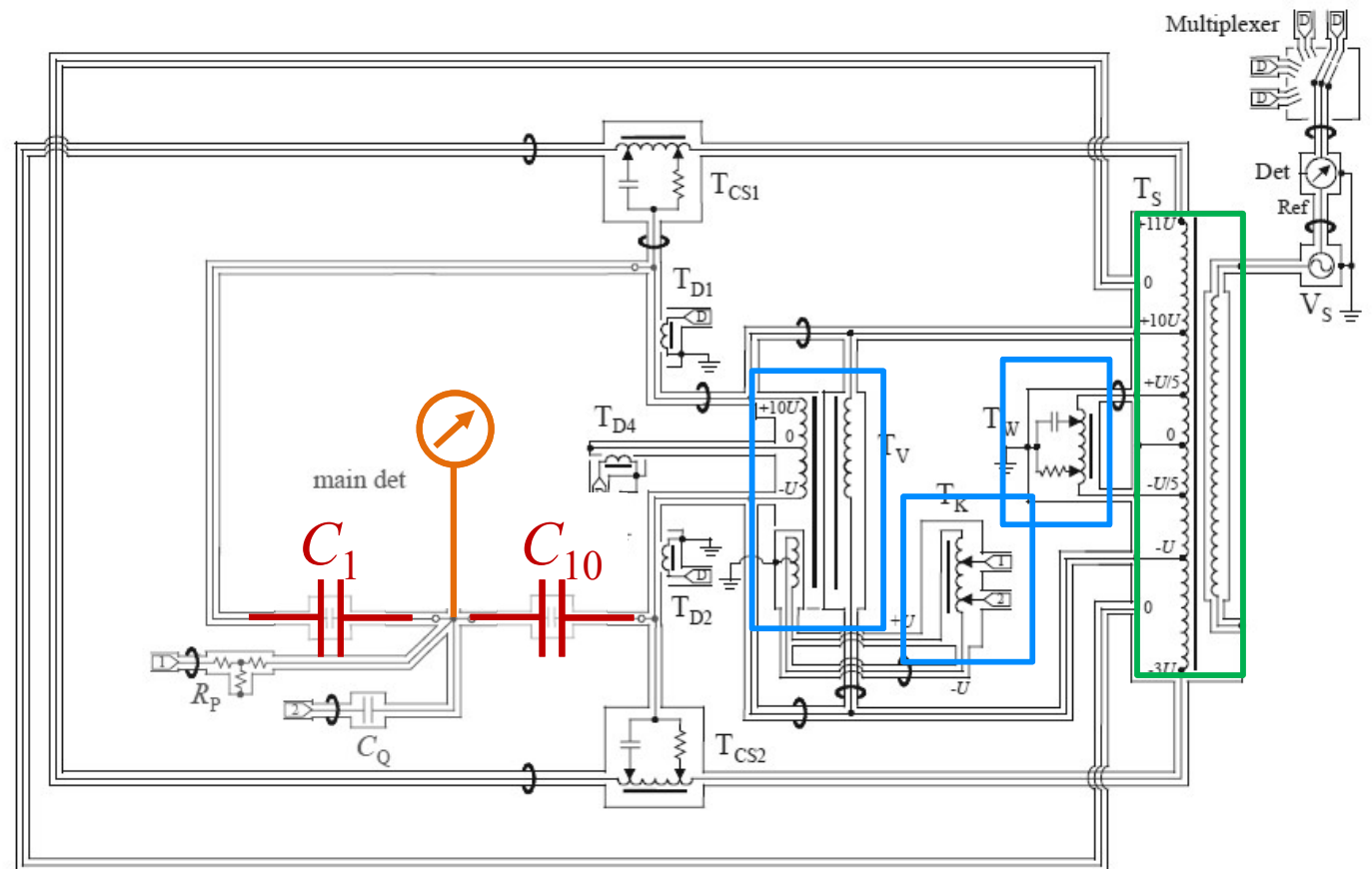
4-Tor 10:1 Brücke

Versorgungstransformator

Automatisierter Teiler

Kapazitätsnormal

Lock-In Amplifier



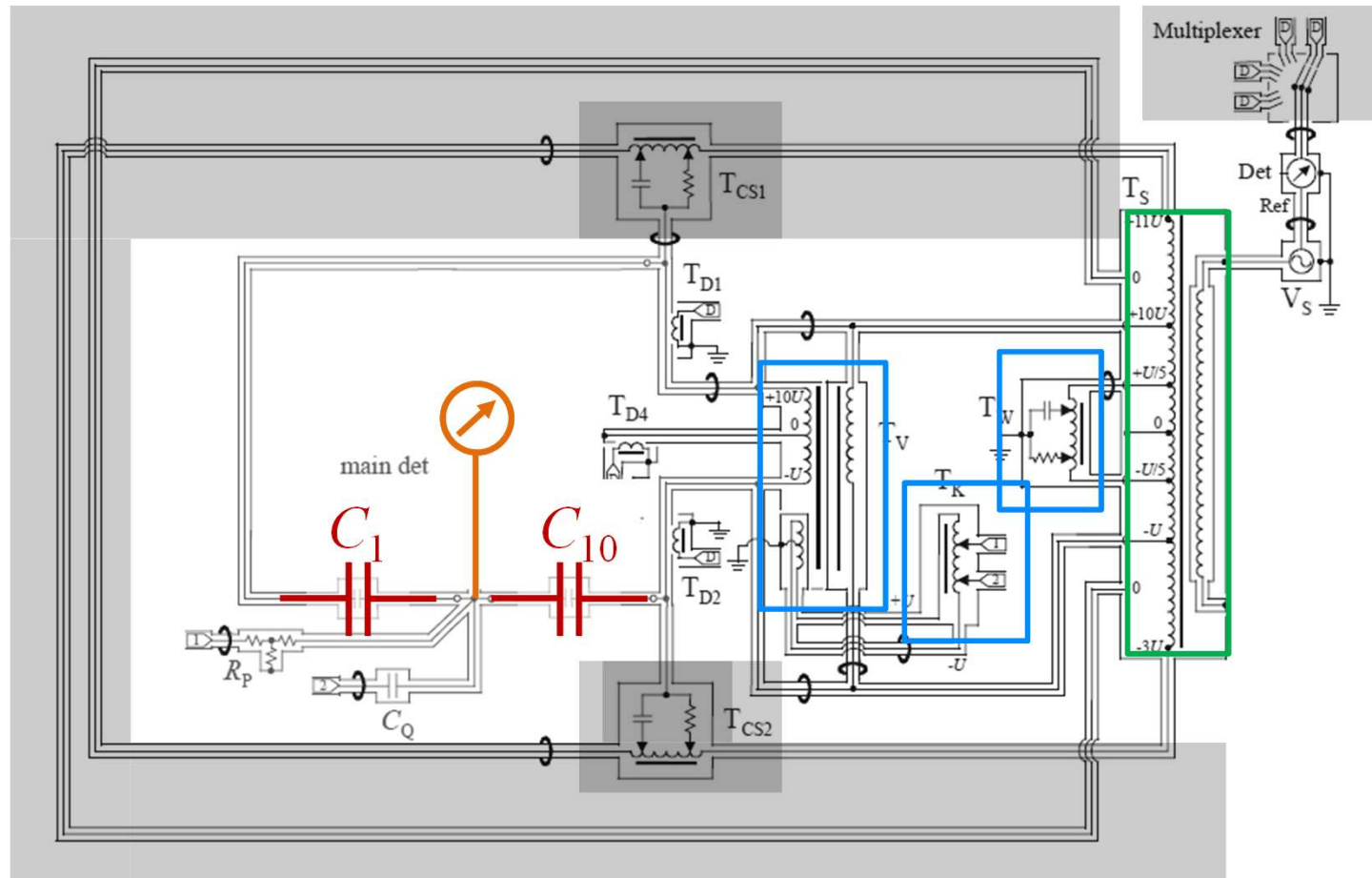
2. Setup und Komponenten

4-Tor 10:1 Brücke



2-Tor 10:1 Brücke

(ohne ausgegraute Teile)



3. Die Brücke

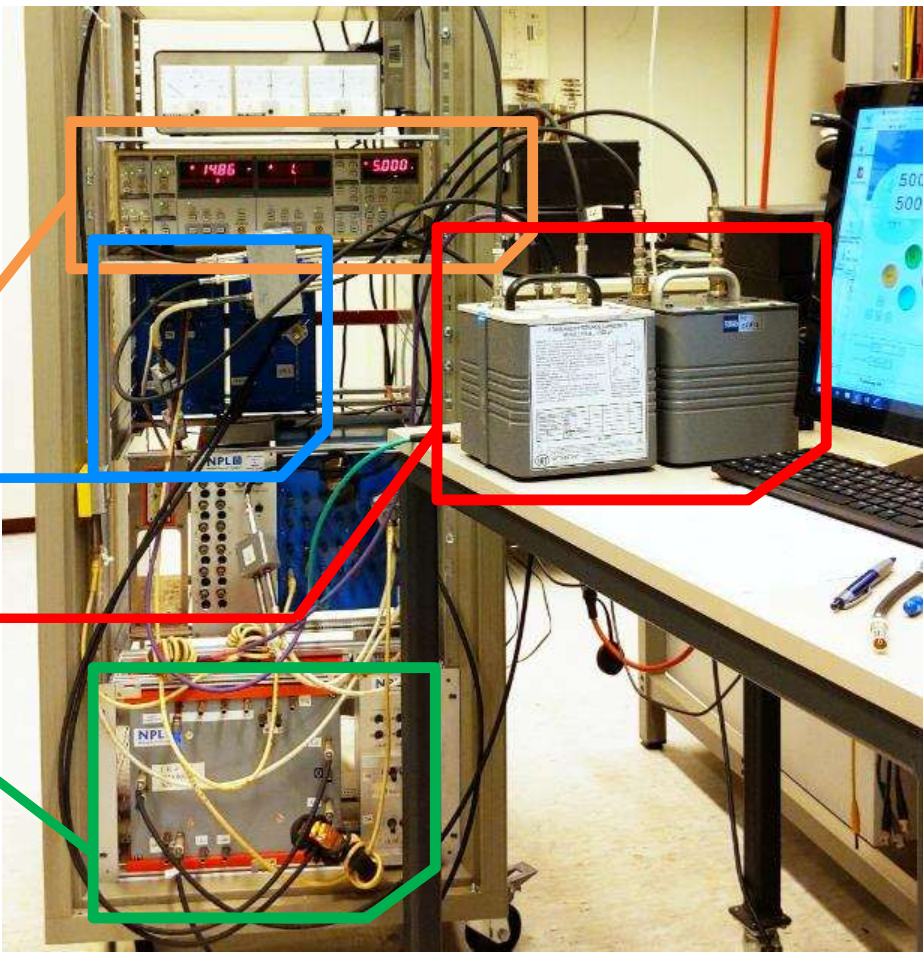
Nach Umbau der vorhandenen Brücke:

Lock-In Amplifier

Automatisierter Teiler

Kapazitätsnormal

Versorgungstransformator



3. Messprogramm

AZ2 Automatik 10:1 Messungen

1. Parameters 2. Start Controls

Kondensator Info

C1 Name
AH 1675

C3 Name (UUT)
AH 1673

Messfrequenz
1233.1

C1 Wert
100.000154p

C3 Nom. Wert
10p

Lock-In Spannung
5 V
Für 50 V, Amplifier einsetzen, gain = 70

Geräte Adresse

Lock-In GPIB Addr
GPIB0::8::INSTR

Adr: IVDs VISA-Ref
COM3

Adr: Main Teiler
6

Adr: Wagner Teiler
2

Messschleife

Anzahl von Messungen
10

Initial Delay (s)
300

Verzögerung zwischen Messungen (Minuten)
0

Brücke Komponente

CQ Wert
999.952f

delta10to1
2.45E-7

Kommentare zur Messdatei

START

X (Wagner): 469583
Y (Wagner): 530130
XY(Wagner) readout: 0.00289561
0.000165463
XV sens: 9.6E-7
YV sens: 1.7E-7
Warte auf nächste Messung...
Finished

Current Teiler Values

Main X
499694

Wagner X
469583

Main Y
500239

Wagner Y
530130

STOP

Final X
500062

X sens
3.02E-8

Final Y
500513

Y sens
4.22E-8

Automatik-Messprogramm

User Input Interface:

- Reference
- Prüfling
- Spannung
- Frequenz
- Anzahl der Messungen
- Zeitlicher Abstand zwischen den einzelnen Messungen

Physikalisch-Technische Bundesanstalt ■ Braunschweig und Berlin

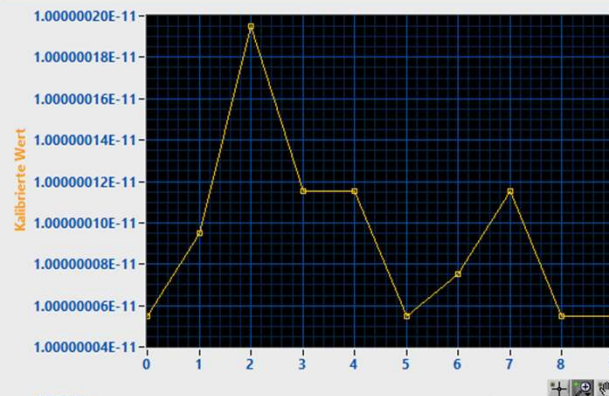
Nationales Metrologieinstitut

10

3. Messprogramm

AZ2 Automatik 10:1 Messungen

1. Parameters 2. Start Controls



Ergebnisse

1.00000006E-11
1.00000010E-11
1.00000020E-11
1.00000012E-11
1.00000012E-11
1.00000006E-11
1.00000008E-11
1.00000012E-11
1.00000006E-11
1.00000006E-11
0.00000000E+0
0.00000000E+0
0.00000000E+0

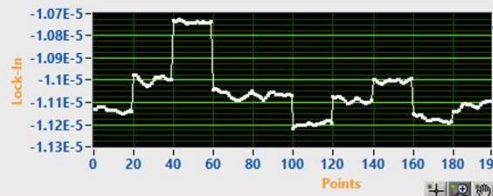
Messung Panel for Automatic Z-2 Bridge A.G. 2.13

Mittelwert

1.00000009E-11

Type-A Unsicherheit:
Standardabweichung
relative

4.467E-8



X Lock-in -11.1u
Y Lock-in -11.5u
X abw 14.9n
Phase 13.96

Nächste-Messung

-00:03:22

Messung ist
Fertig

X (Wagner): 469583
Y (Wagner): 530130
XY(Wagner) readout: 0.00289561,
0.000165463
XV sens: 9.6E-7
YV sens: 1.7E-7

Warte auf nächste Messung...
Finished

Current Teiler Values

Main X 499694 Wagner X 469583
Main Y 500239 Wagner Y 530130

STOP

Final X 500062 X sens 3.02E-8
Final Y 500513 Y sens 4.22E-8

Automatik-Messprogramm

Messschleife:

- Selbsttests
- Hauptabgleich
- Wagnerabgleich

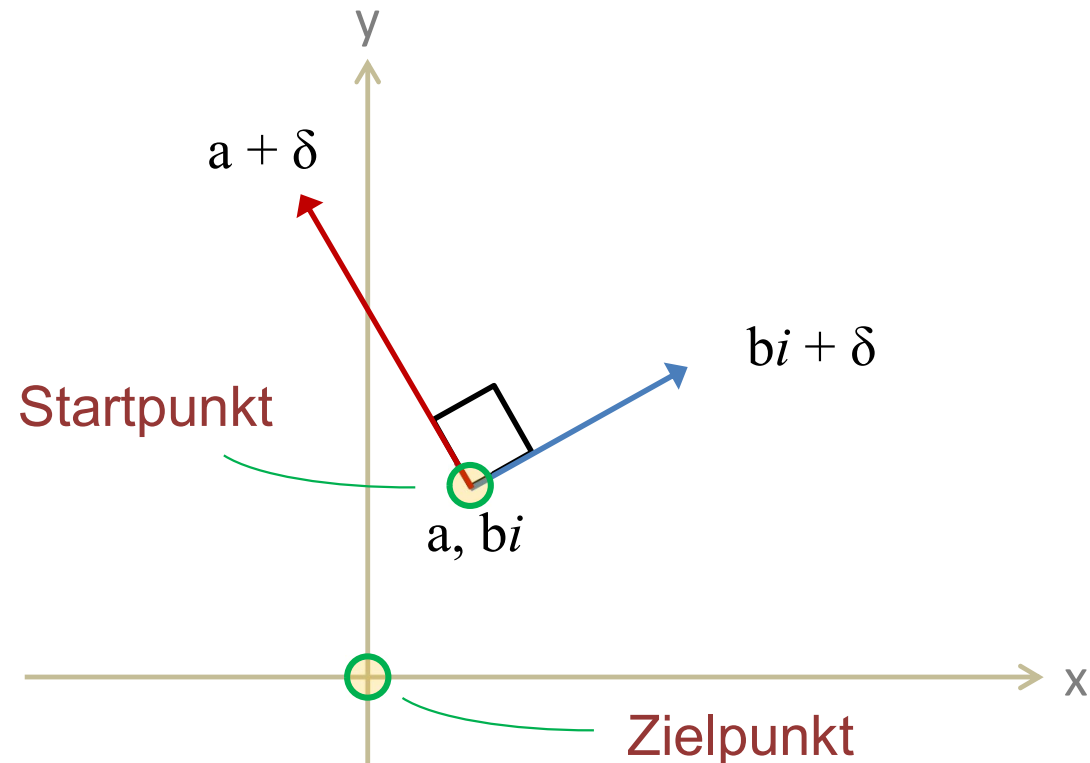
Mit Vektor-Abgleich-Verfahren

Messergebnis generieren:

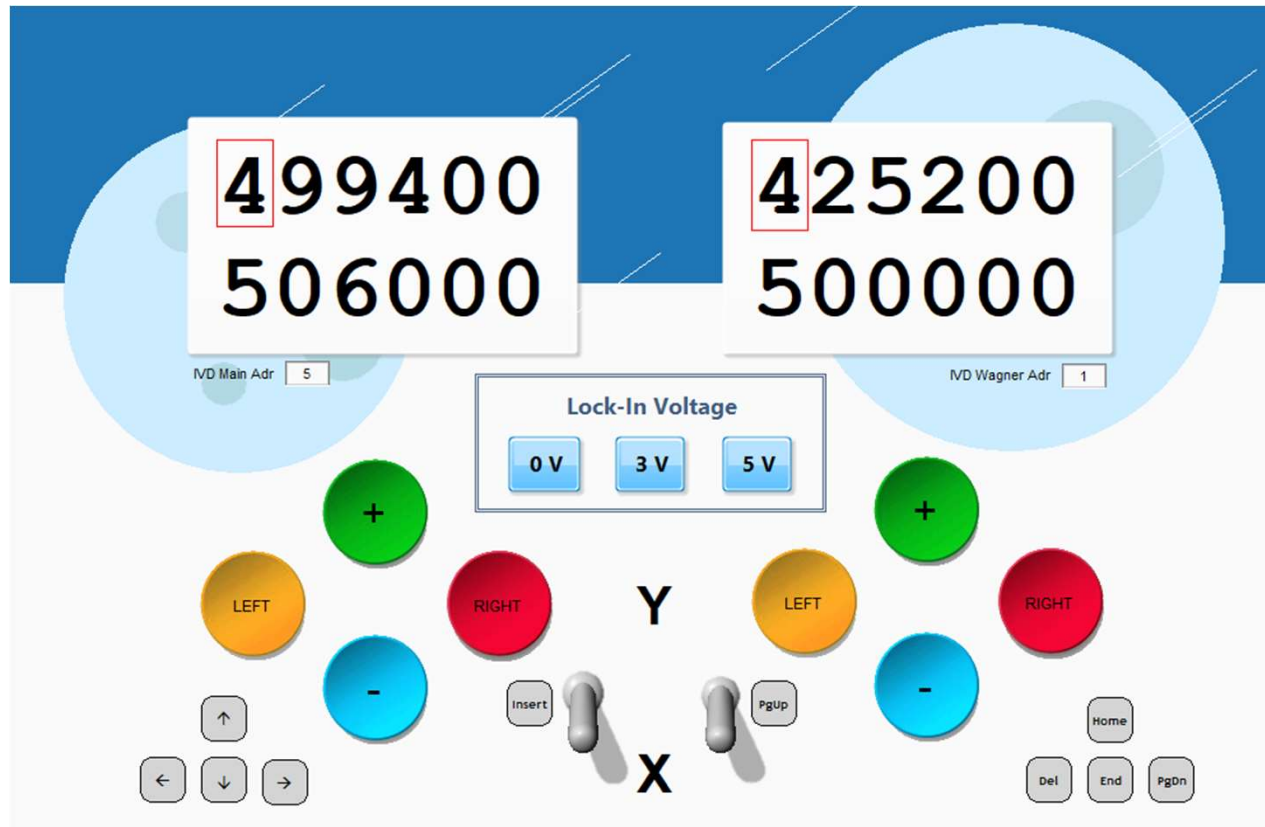
- Unsicherheitsbudget
- Raumparameters während der Messung

3. Messprogramm: Vektor-Abgleich Verfahren

- Realteil, a
- Imaginärteil, bi
- **Vektor 1:** $a + \delta$
- **Vektor 2:** $bi + \delta$
- Real- vs. Imaginärteil:
Phasenwinkel immer 90°
- Brücke abgeglichen, wenn $x + y = 0$
- Zielpunkt berechenbar mit zwei Vektoren

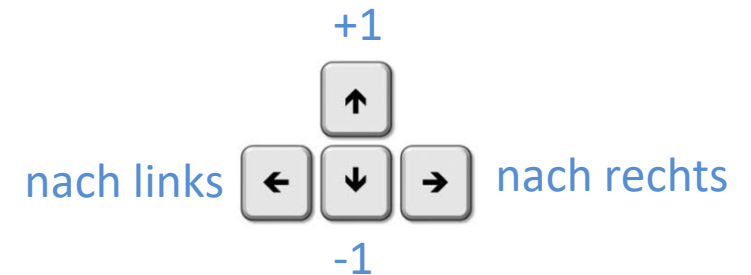


3. Halbautomatik-Programm



Halbautomatik-Programm

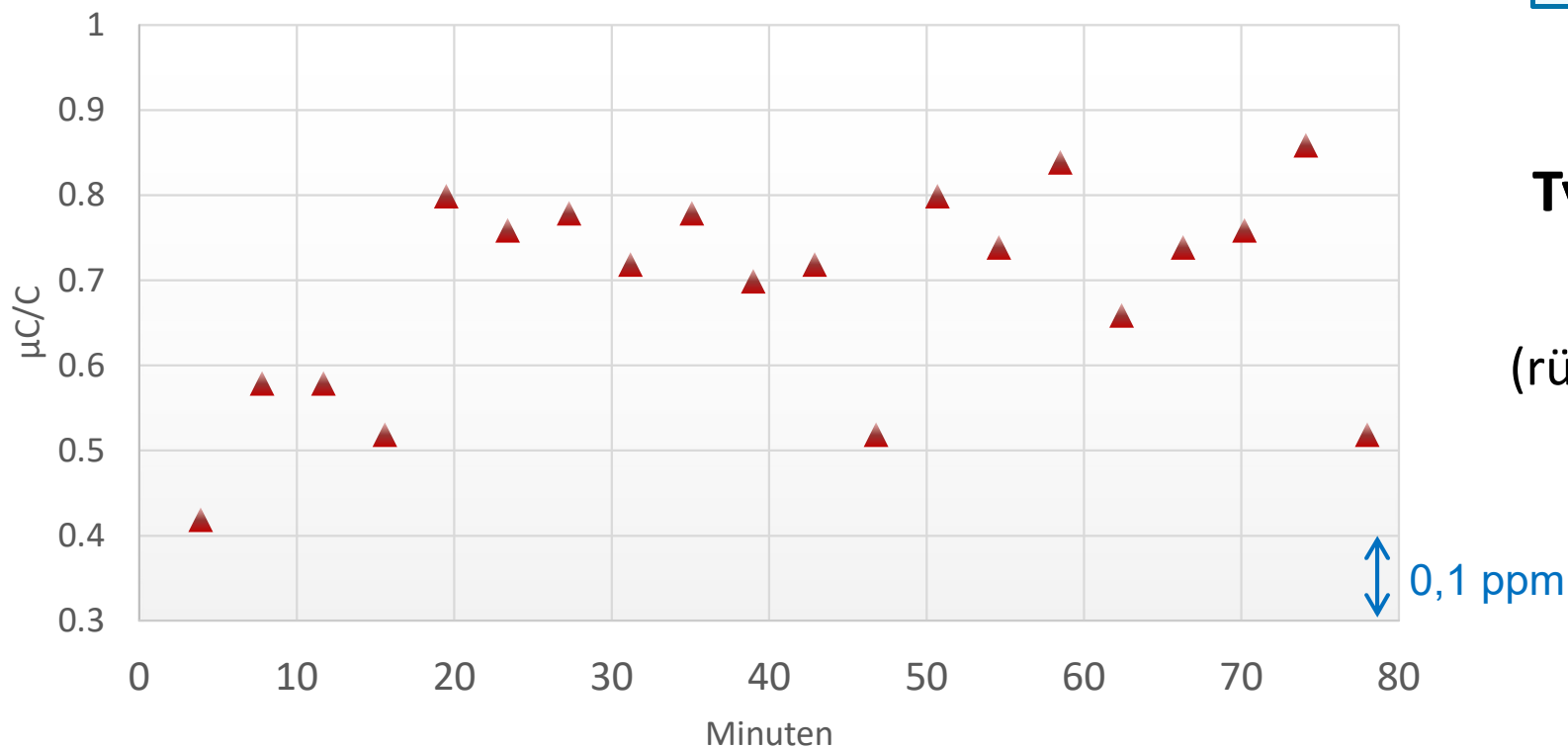
- Tastaturgesteuert (oder Maus)



- Für Schnelltest
- Für Brücke Debugging
- Für schwierige Abgleiche

3. Messergebnisse

Messergebnisse (20-Punkte) für einen 10 pF-Prüfling



100 pF : 10 pF

Type-A Unsicherheit:

$1,2 \times 10^{-7}$ ($k = 1$)

(rückführbar auf AC-QHE)

4. Zusammenfassung



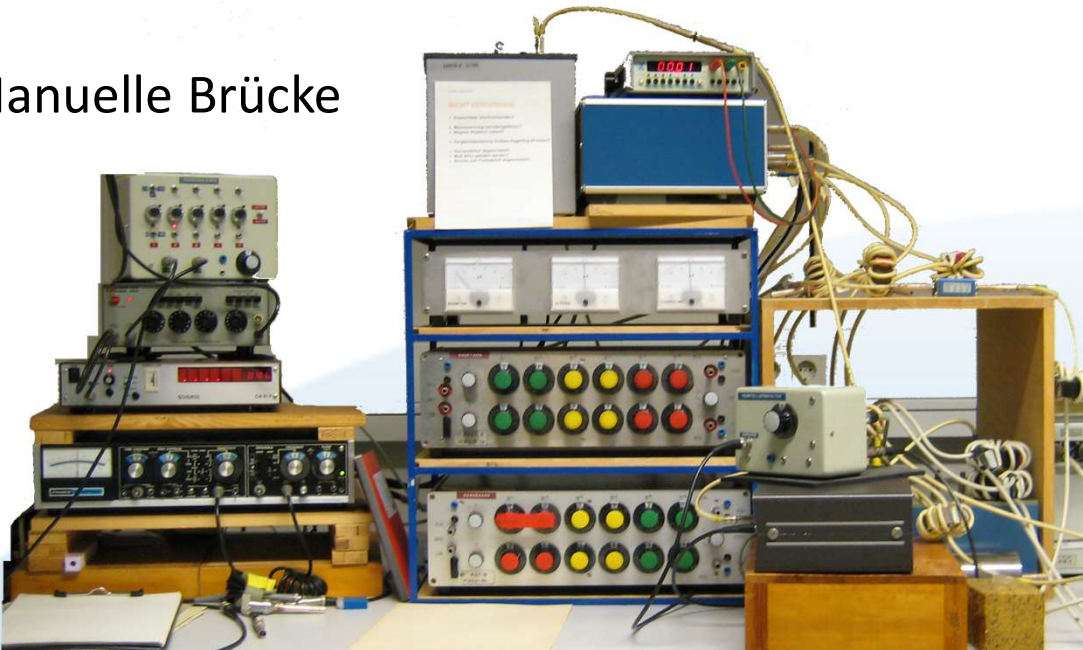
- ① Gesamtunsicherheit der automatisierten Brücke ist doppelt so groß wie die der manuellen Brücke
- ② Mehrere Messung pro Tag möglich, über mehrere Tage
- ③ Automatisches Erstellen von Messergebnis-Protokoll und Unsicherheitsbudget
- ④ Programmierbar
- ⑤ Erlaubt Fernsteuerung

319. PTB Seminar



Automatic 2-Terminal-Pair Bridge for Capacitance Measurements

Manuelle Brücke



Automatik-
Brücke

