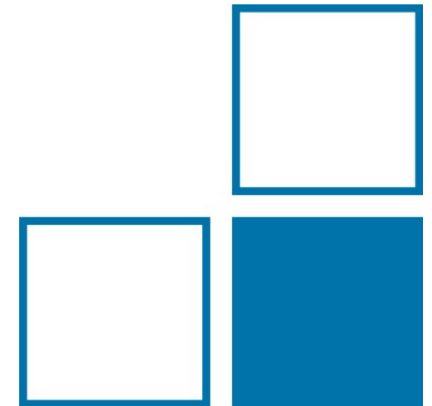


# Europäisches Joint Research Project *G/QS*

## Graphene Impedance Quantum Standard

Stephan Bauer, PTB  
Für das GIQS Projekt



## 1. Realisierung der Impedanz-Einheiten (Ohm, Farad, Henry)

im neuen, revidierten  $SI$

⇒ Rückführbarkeit auf Naturkonstanten ( $e$  und  $h$ )



## 2. Verkürzung der Rückführbarkeits-Kette

## 3. Nutzung von Primär-Normalen beim Anwender

z.B. Kalibrierlaboratorien, Industrie, kleinere Staatinstitute

# Das G/QS Projekt – Graphene Impedance Quantum Standard

- Joint Research Project im *European Metrology Programme for Innovation and Research* wichtigstes europäisches Programm für Forschung in der Metrologie
- Koordinierung durch *EURAMET* *European Association of National Metrology Institutes*
- Dauer: 3 Jahre Juli 2019 – Juni 2022
- 11 Projektpartner aus 9 Ländern



The EMPIR initiative is co-funded by the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme and the EMPIR Participating States

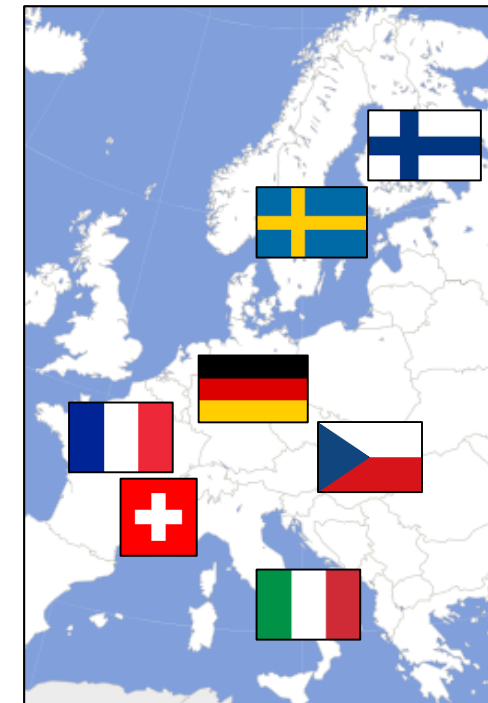


POLITECNICO DI TORINO

CNRS



LABORATOIRE NATIONAL DE MÉTROLOGIE ET D'ESSAIS



KRISS Korea Research Institute of Standards and Science



# Umsetzung der Projektziele

---

- 1. Herstellung von easy-to-use Quantennormalen**  
Graphen-basierte Quanten-Hall-Bauelemente
- 2. Entwicklung einfacherer Impedanz-Messbrücken**  
Auf Basis digitaler Spannungsquellen und Josephson Spannungsnormalen
- 3. Kombination von Impedanz-Messbrücken mit Graphen QHR**
- 4. Entwicklung von Kryosystemen for all-in-one operation**  
Betrieb von Quantennormal und Josephson-Spannungsnormal in einem System

# Arbeitspakete innerhalb des Projektes

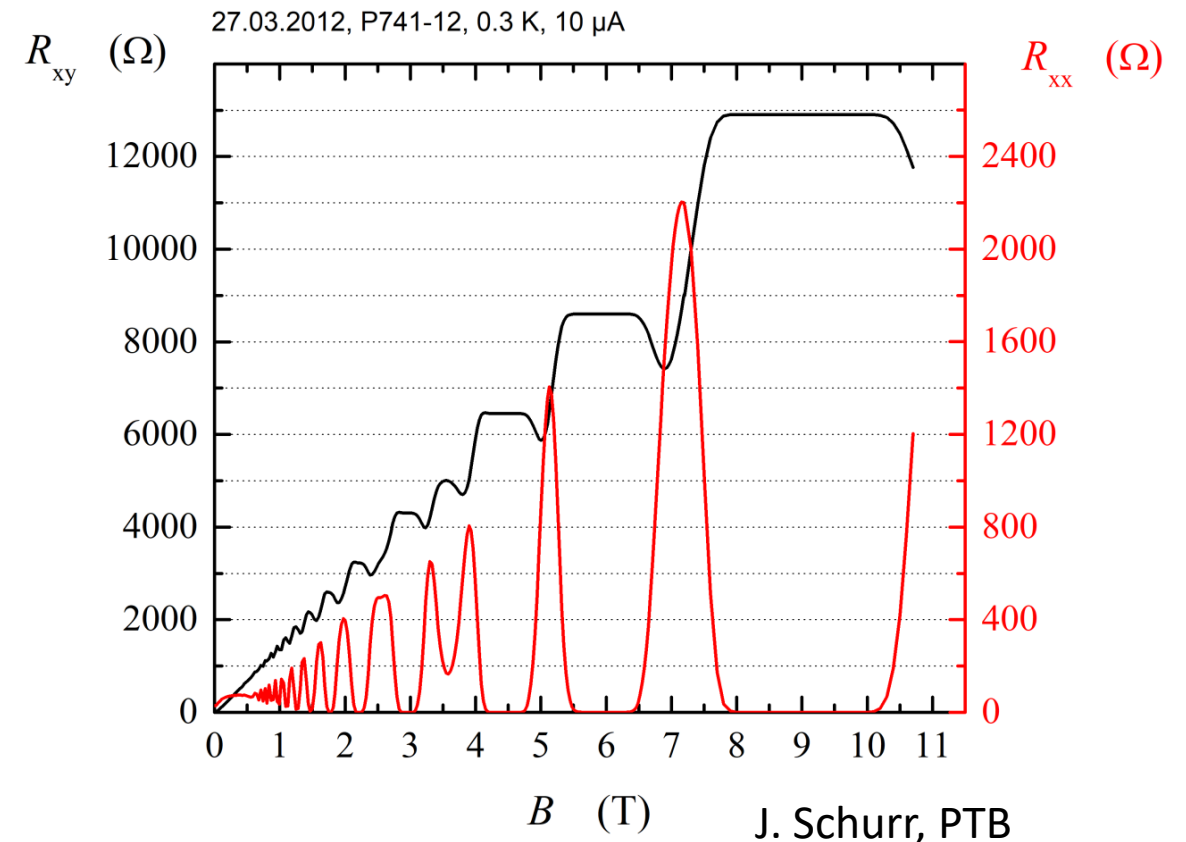
---

- **WP 1:** Graphene devices for AC-QHE applications
- **WP 2:** Digital- and Josephson impedance bridges for the realization of capacitance
- **WP 3:** Graphene AC-QHR with digital and Josephson impedance bridges
- **WP 4:** Creating impact

# Quanten-Hall Widerstand

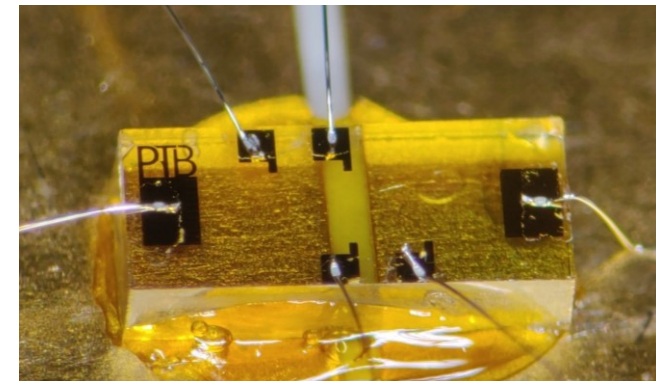
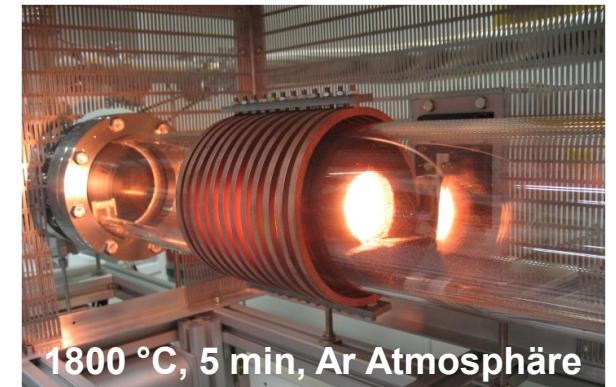
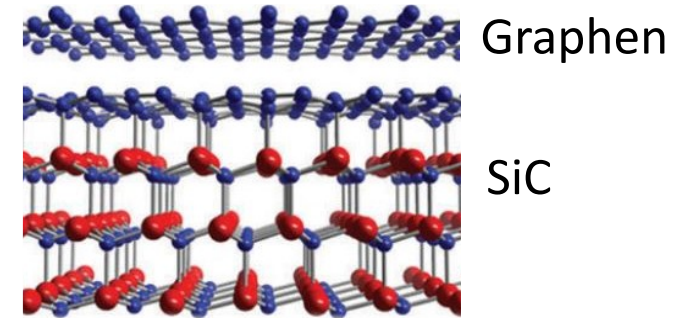
- Klaus von Klitzing entdeckte 1980 dass der Hall-Widerstand in einem 2d Elektronengas quantisierte Werte annimmt (Nobelpreis 1985)
- Der Widerstandswert wird durch die Naturkonstanten  $h$  und  $e$  bestimmt

$$R_K = \frac{h}{e^2} = 25\,812,807\,459\,304\,5 \dots \Omega$$



# 1. Neuartige “easy-to-use” Quantennormale aus Graphen

- **Graphen anstelle Galliumarsenid (GaAs)**  
einlagigen, hexagonale Kohlenstoffkristallen
- Graphenwachstum und Bauelemente-Herstellung u.a. in der PTB, KRISS und CNRS
- Graphen hat außergewöhnliche Materialeigenschaften  
⇒ vereinfachte Arbeitsbedingungen bei der Einheiten-Darstellung  
Höhere Temperaturen  $T > 4\text{ K}$  ⇒ flüssiges Helium oder Kleinkühler  
Kleines Magnetfeld  $B < 5\text{ T}$  ⇒ einfache Magnetsysteme

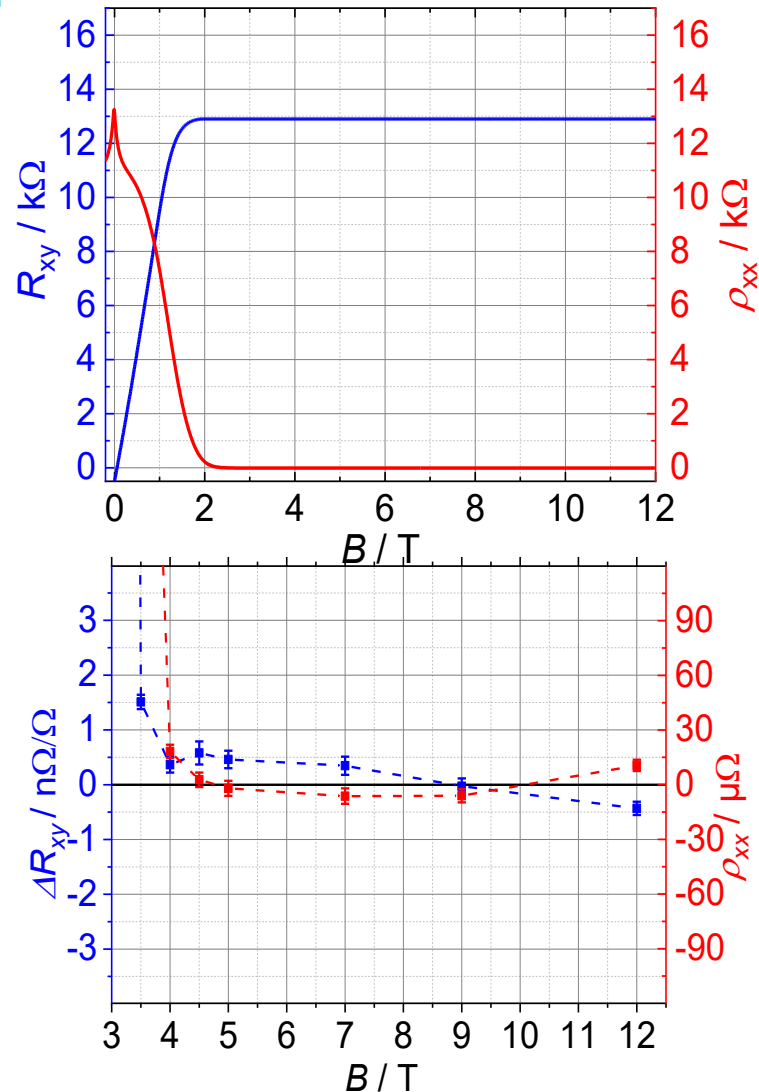




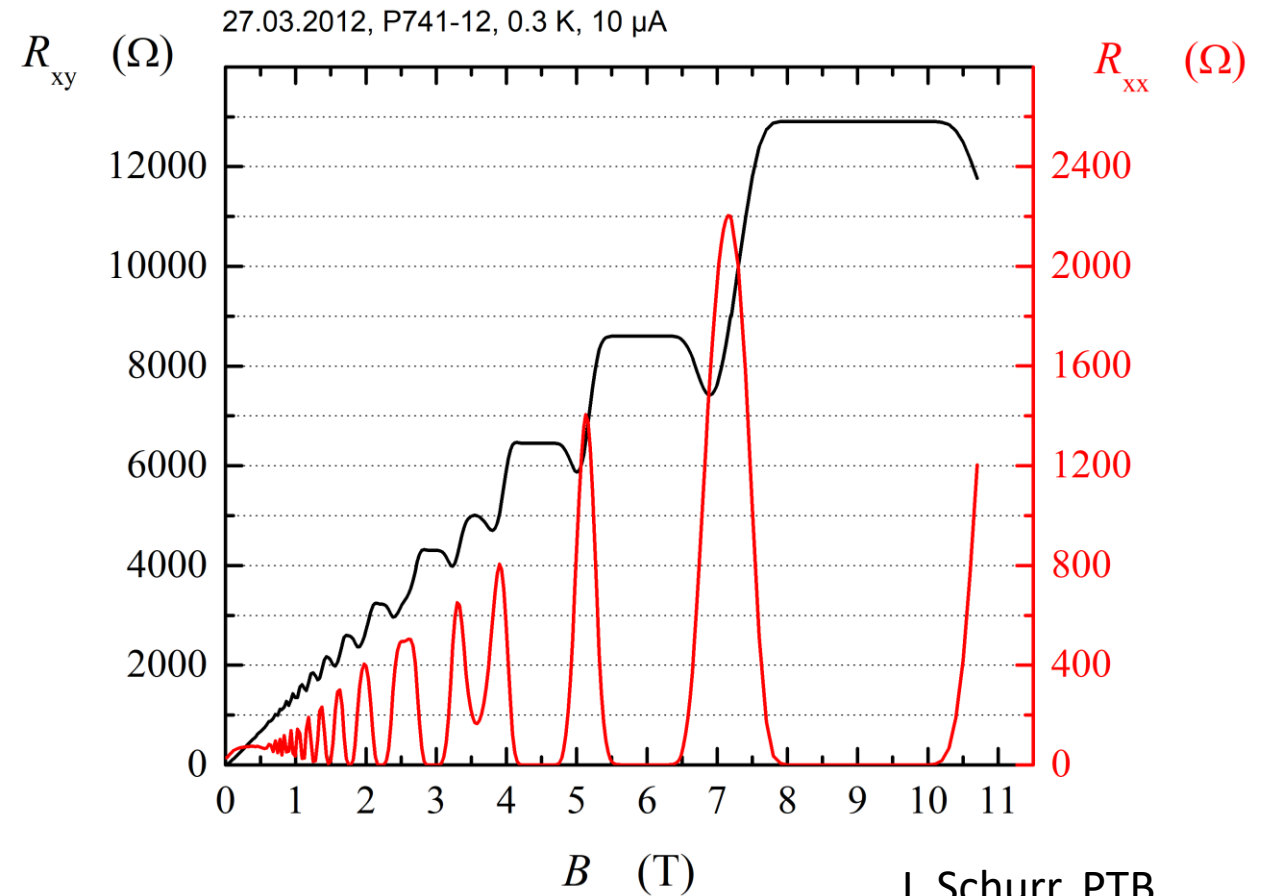
# 1. Neuartige “easy-to-use” Quantennormale aus Graphen



Graphen Quanten-Hall Widerstand



GaAs Quanten-Hall Widerstand

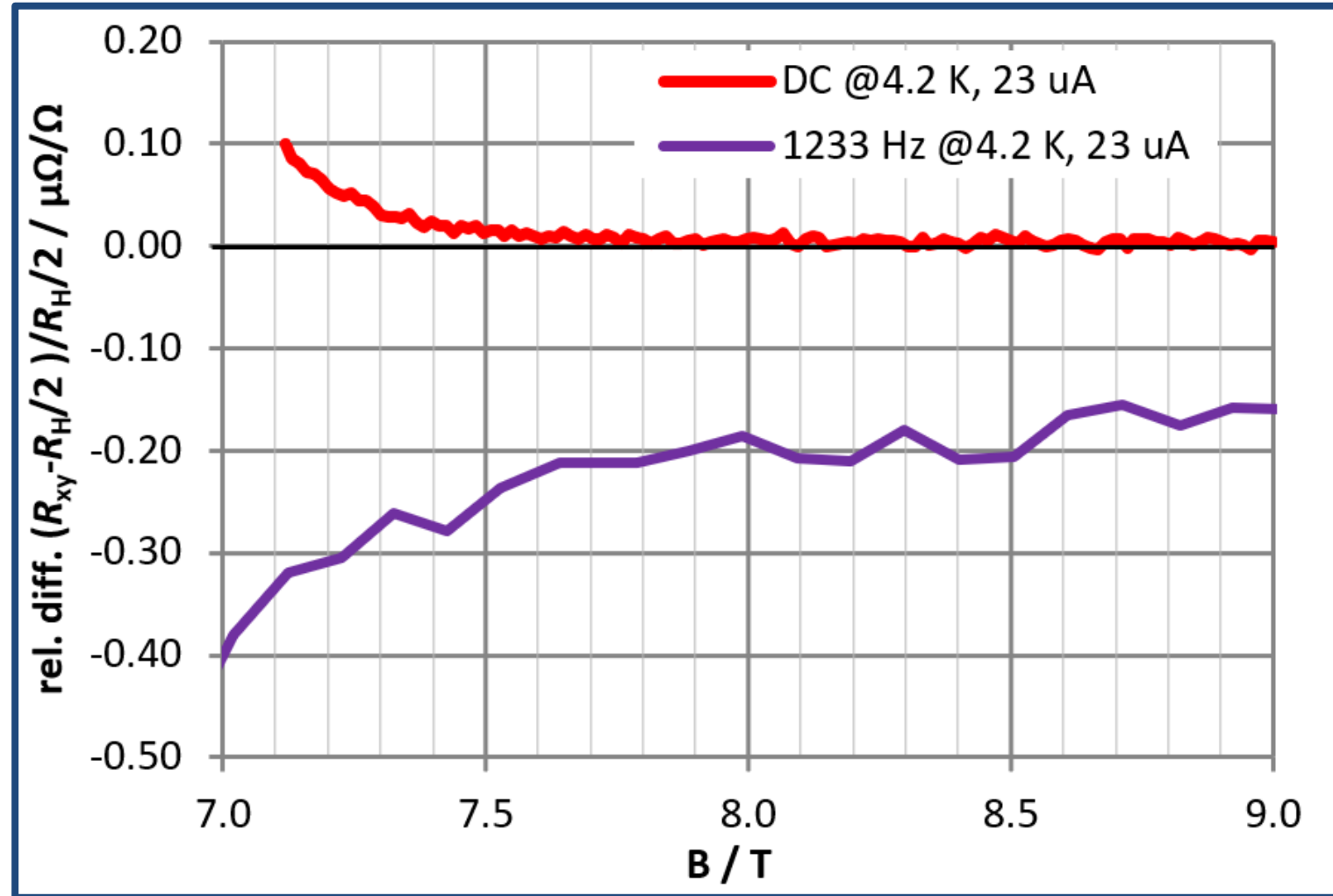


J. Schurr, PTB



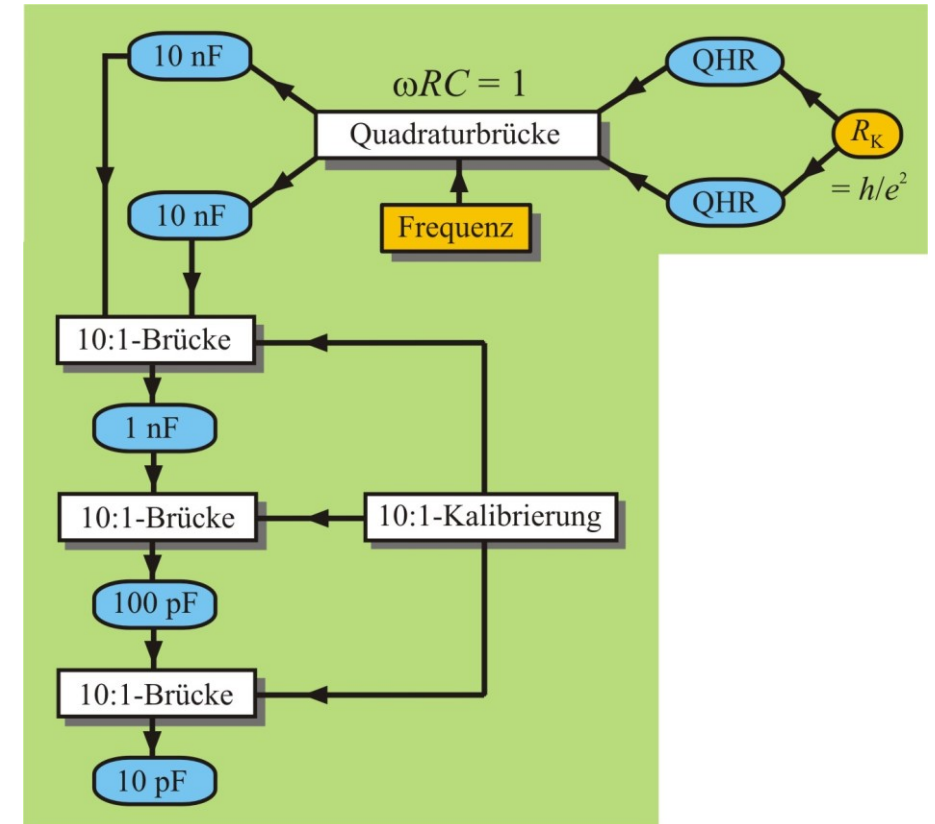
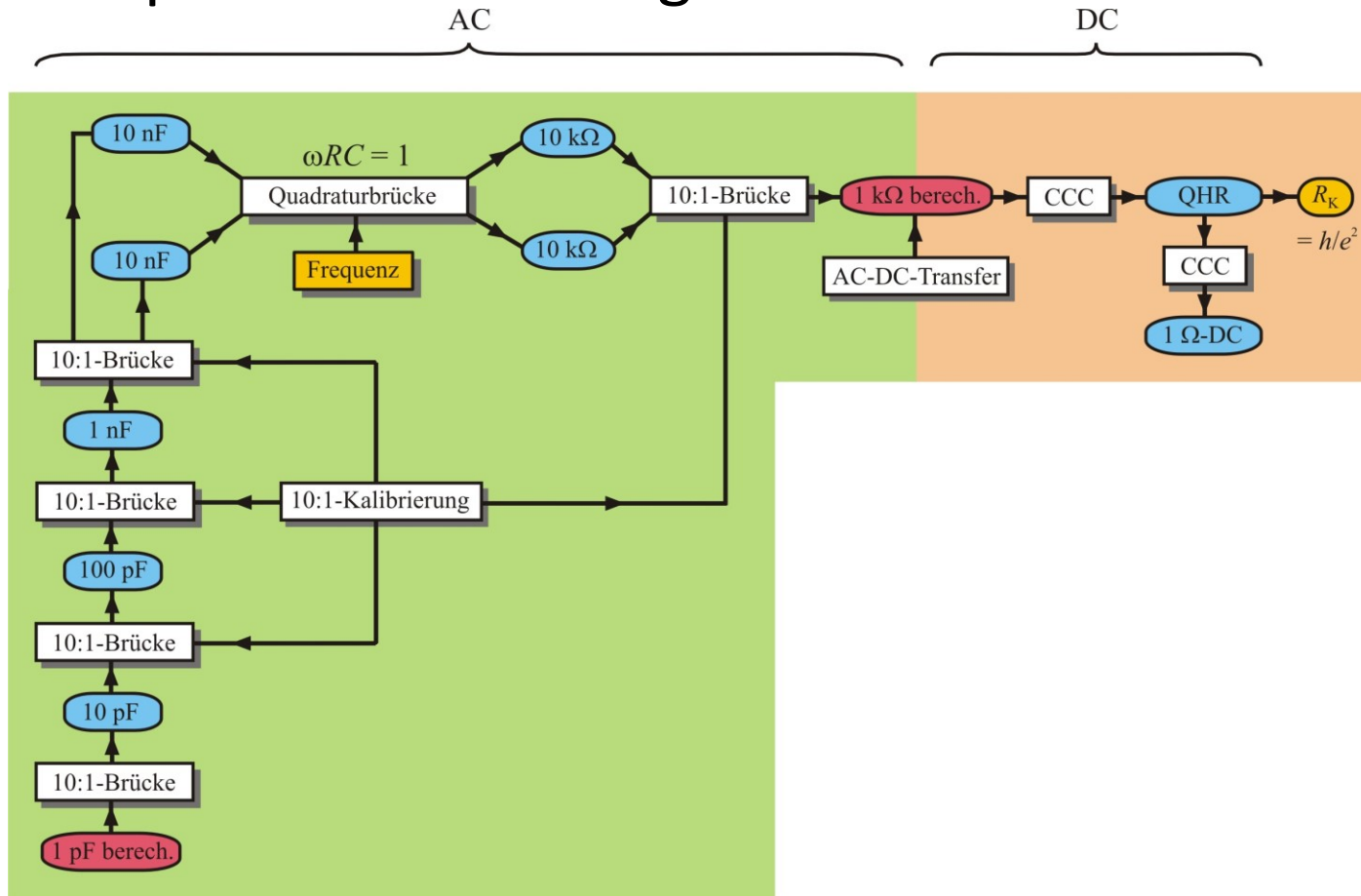
# 1. Neuartige “easy-to-use” Quantennormale aus Graphen

Graphen Quanten-Hall Widerstand



## 2. Entwicklung einfach bedienbarer Impedanz-Messbrücken

- Komplexe Rückführketten nutzen transformatorbasierte Messbrücken

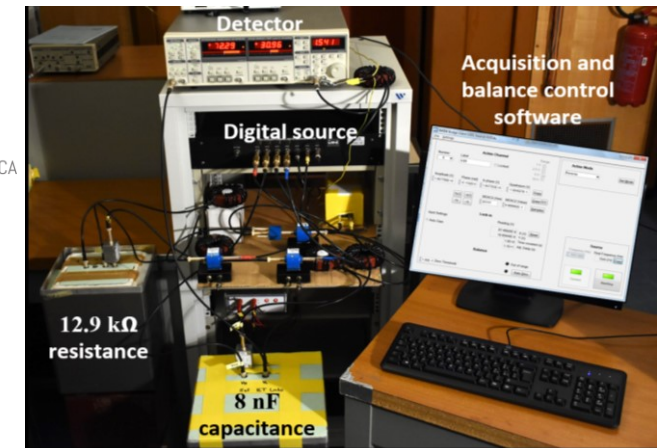
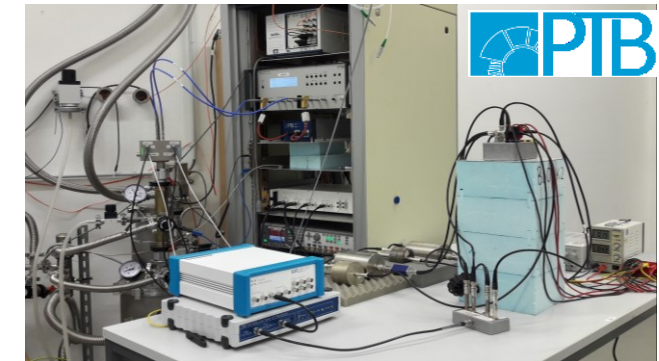
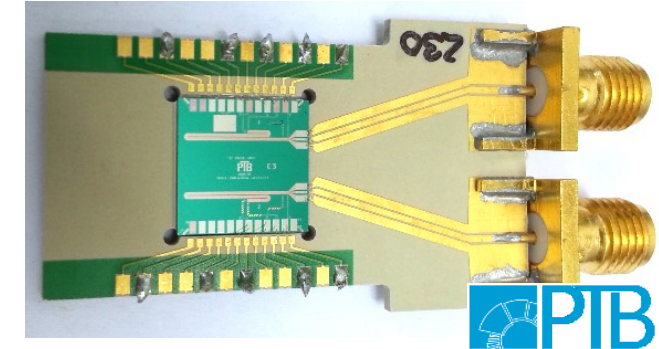


## 2. Entwicklung einfach bedienbarer Impedanz-Messbrücken

Erzeugung präziser Spannungen  
„Josephson **A**rbitrary **W**aveform **G**enerator“

“Digitally-assisted four-terminal pair Bridge”  
für R-R und C-C Vergleiche  
10 pF – 10 nF, 20 kHz– 100 kHz

Volldigitale / Josephson Impedanz Messbrücken



M. Marzano et al., “A fully digital bridge towards the realization of the farad from the quantum Hall effect”, submitted

J. Kučera et al., IEEE Trans. Instrum. Meas. 68, 2106 (2018).



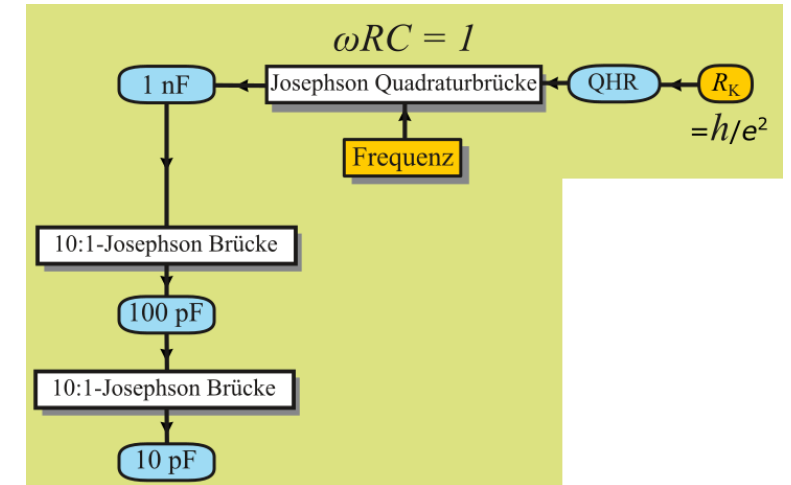
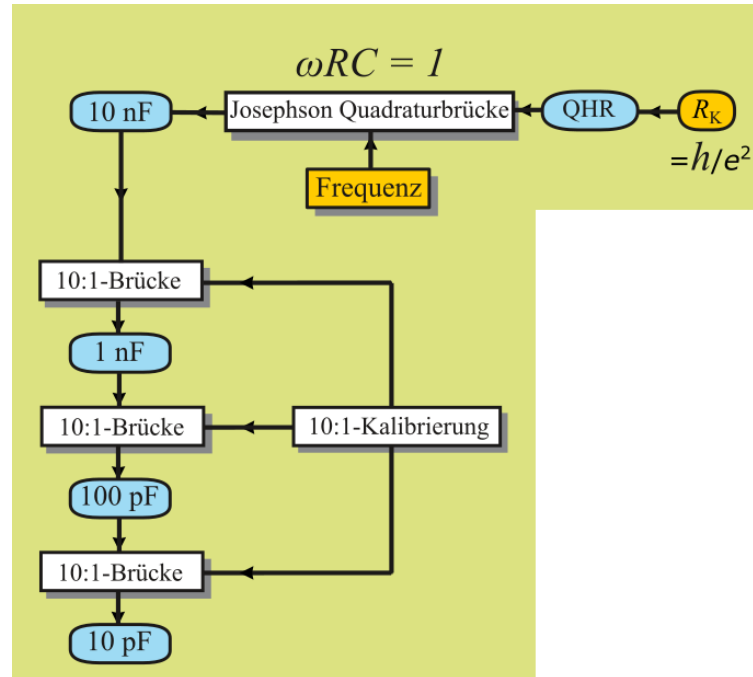
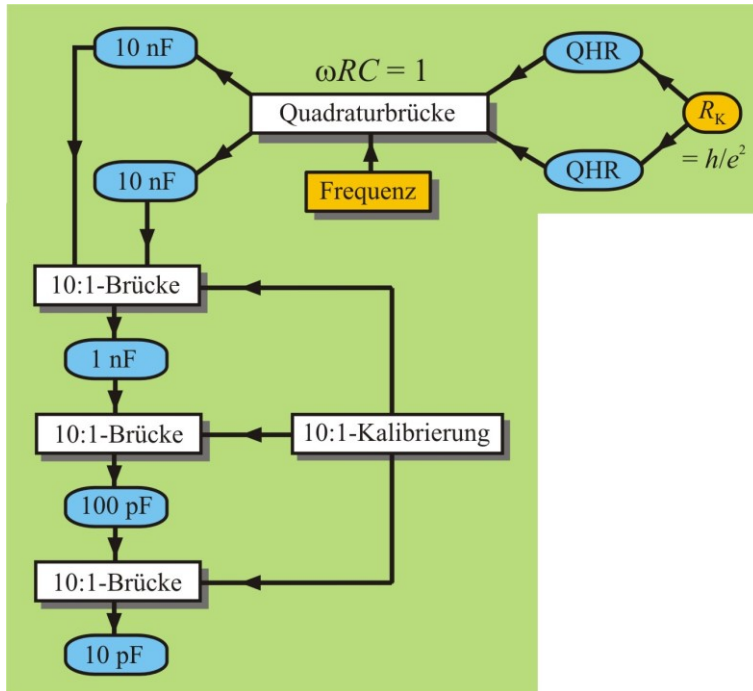
LABORATOIRE  
NATIONAL  
DE MÉTROLOGIE  
ET D'ESSAIS



POLITECNICO  
DI TORINO

## 2. Entwicklung einfach bedienbarer Impedanz-Messbrücken

- Vereinfachter Aufbau durch digitale Messbrücken
- Automatisierung möglich

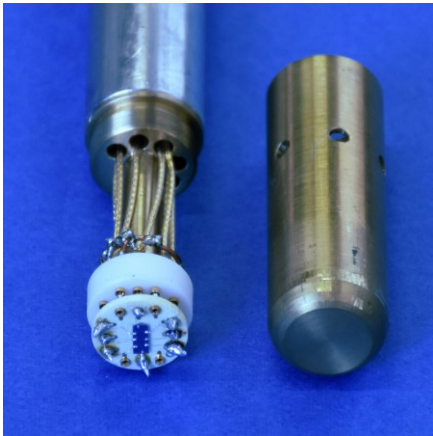




# 3. Kryo-Systeme für Graphen Quanten-Hall-Widerstände



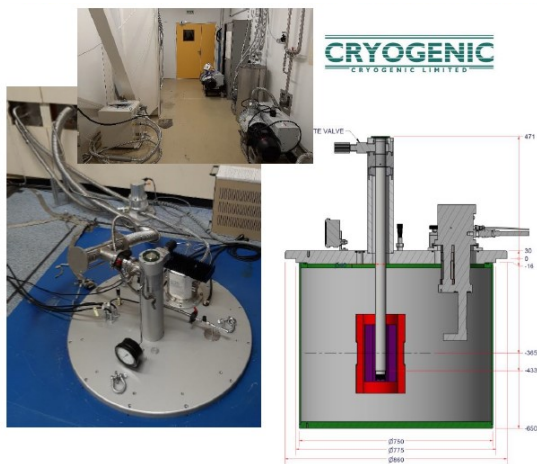
Geschirmter  
Probenhalter



Koaxialer Probenstab  
für einen 6 T Magnet  
im Transport Dewar



Probenhalter für zwei  
QHR in LHe in einem 7  
T Magnet (links).  
Trockener Kleinkühler  
mit 5 T Magnet (rechts)



Neues Kleinkühlersystem  
(1.4 K) mit 14 T Magnet  
für QHR Proben



Kleinkühler für den  
kombinierten Betrieb  
von QHR und  
Josephson  
Spannungsnormal



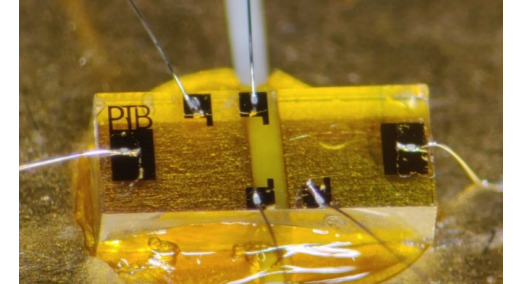
## 1. Langfristige Vision: Nutzung von Primär-Normalen beim Anwender

z.B. Kalibrierlaboratorien, Industrie, kleinere Staatinstitute

## 2. Darstellung der Impedanz-Einheiten (Ohm, Farad, Henry)

## 3. Realisierung im neuen SI mittels Graphen-Quantennormale

## 4. Entwicklung von einfachen Messbrücken und Kryosystemen



POLITECNICO  
DI TORINO

CNRS



KRISS  
Korea Research Institute of Standards and Science



LABORATOIRE  
NATIONAL  
DE MÉTROLOGIE  
ET D'ESSAIS





Alle Infos und News  
[ptb.de/empir2019/giqs/home/](https://ptb.de/empir2019/giqs/home/)  
oder auf



**Möchten Sie Stakeholder des Projekts werden ?**

**Vielen Dank !**