

Bestimmung des Wassergehalts von Schüttgütern

Lukas Döllner

Max-Born-Gymnasium 2019



Max-Born-Gymnasium

Ziele

- Entwicklung einer Messsonde.
- Entwicklung eines Messschaltkreises.
- Vermessung der einzelnen Komponenten.
- Experimentelle Bestimmung der Messwerte.
- Weiterentwicklung der Messmethode.

Idee

Wofür brauche ich eine **zuverlässige** und **genaue** Methode, *Feuchtigkeit von Schüttgütern* zu messen?

- menschlicher Finger unzuverlässig
- Wassersparen auf automatisierten Farmen
- durch wachsende Weltbevölkerung und Klimawandel neue Herausforderung der **Ressourceneffektiven Landwirtschaft**
- **automatische Bewässerung** in Gärtnereien oder Feldern
- Feuchtigkeitsbestimmung in **verdeckten Bereichen** (Silos, Fundamente, etc.)

Erkenntnisse

- Optimaler Tiefpassfilter zur Kondensatorvermessung
- Kondensatorherstellung aus PCB-Platinen
- Wassergehalt z.B. von Sand bestimmen

In Zukunft:

- weitere Kondensatortypen testen
- weitere Schüttgüter testen
- andere Tiefpassfilter Frequenzen testen
- Einfluss des Trägermediums bestimmen
- Einfluss des Plattenabstands bestimmen

Kondensatoren

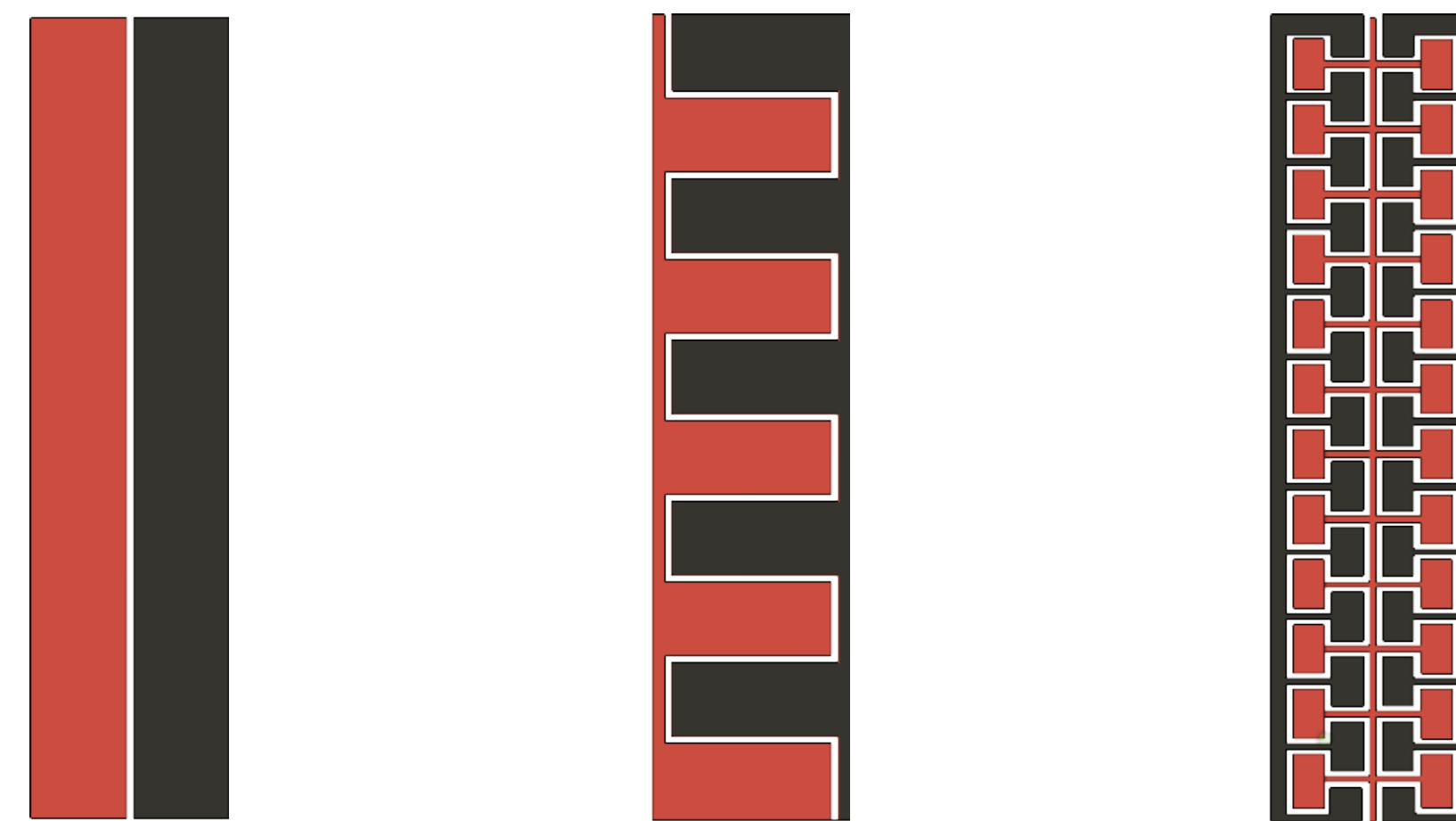
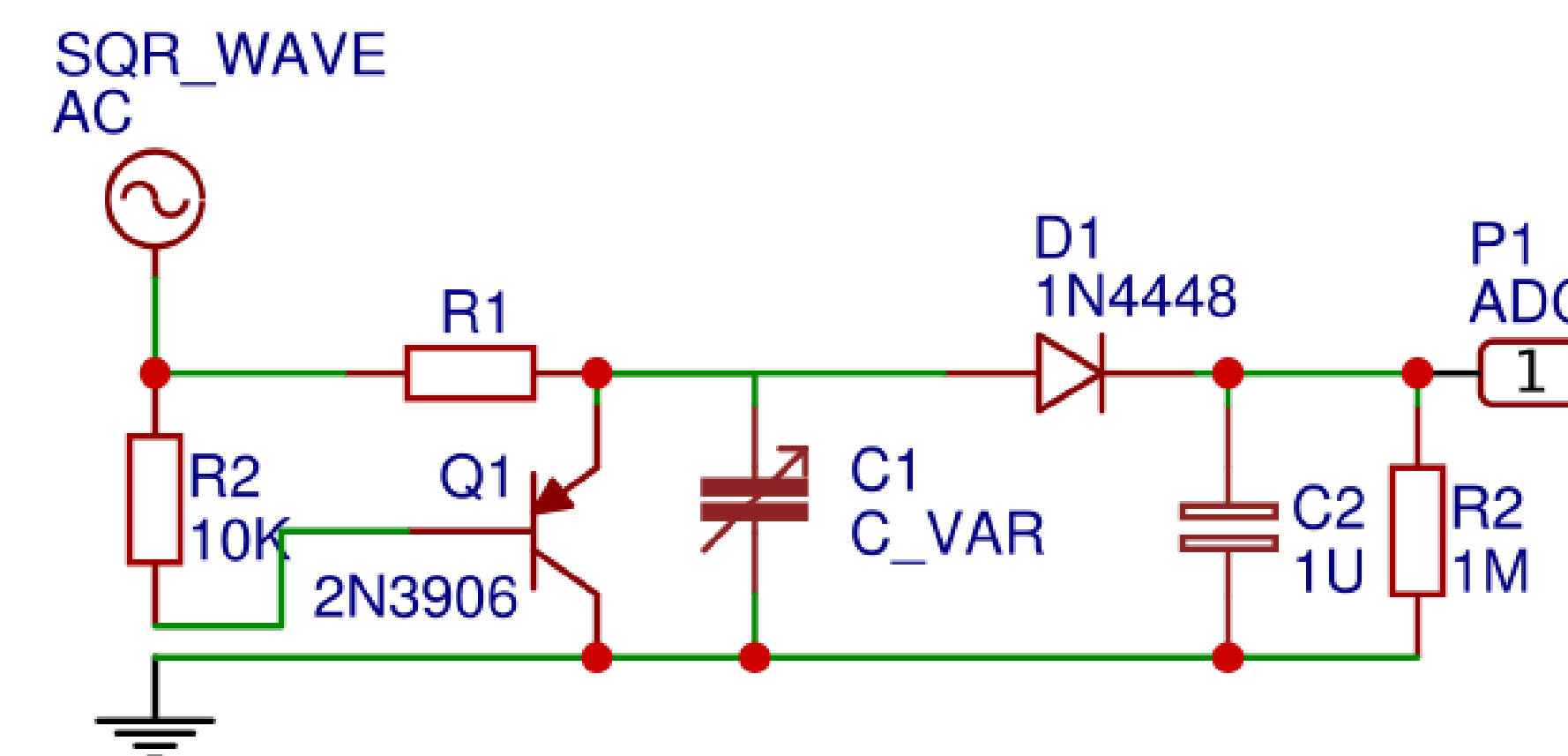


Abbildung: Typ 1 Abbildung: Typ 2 Abbildung: Typ 3
Herstellung:

1. PCB **Trägerplatine** zuschneiden (100mm x 25mm)
2. Muster aufzeichnen / mit Toner auftragen
3. Für ca. 5 min in **Eisen-(III)-Chlorid** einlegen
4. Gründlich waschen und letzte Überreste entfernen
5. Anschlusskabel auf die jeweiligen Platten löten
6. Dünne **Schutzschicht** nichtleitenden Autolack auf die Platte aufbringen

Tiefpassfilter



Erweiterter **Tiefpassfilter** mit *Hochpunktspannung der Recheckwelle* nach C_1 an $P1$. → Messung an **ADC** eines *Arduinos*

C_1 : bereits gebauter, offener Plattenkondensator.
 R_1 : **lokales Maximum** der folgenden Formel.

Für **alle** hier genutzten Kondensatoren: $R_1 \approx 2 \text{ k}\Omega$.
$$U(R) = U_S(1 - e^{-\frac{t}{R \cdot C_{\min}}}) - U_S(1 - e^{-\frac{t}{R \cdot C_{\max}}}) \quad (1)$$

Kapazitätsveränderung

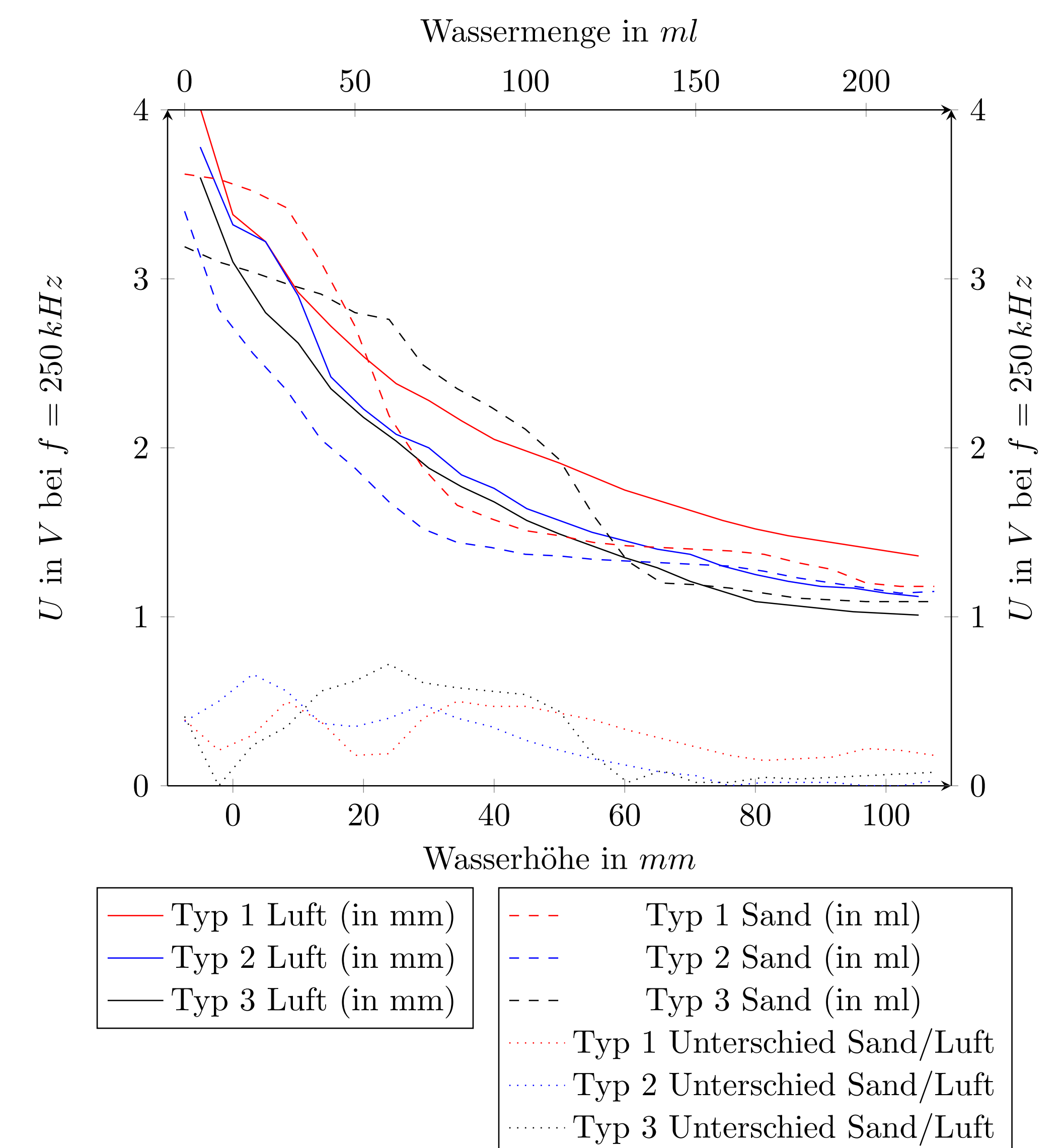


Abbildung: Messkurven von Luft / Sand und Differenz

(100 mm Wasserhöhe = 100 % Wassergehalt)

Zusammenfassung

Um den *Wassergehalt* der Schüttgüter zu *messen*, durchsetzt ein *offener Plattenkondensator* die Substanzen mit einem *elektrischen Wechselfeld*. Die Kapazität des Kondensators hängt von der **Permittivität** des Dielektrikums ab. Wird ein *Widerstand* davor geschaltet, bildet sich ein *Tiefpassfilter*, dessen *Hochpunktspannung* sich mit der *Kapazitätsänderung des Kondensators* ändert. Durch die *Entladung des Kondensators* in Spannungstief erreicht man *zusätzliche Messgenauigkeit*.

Kapazität

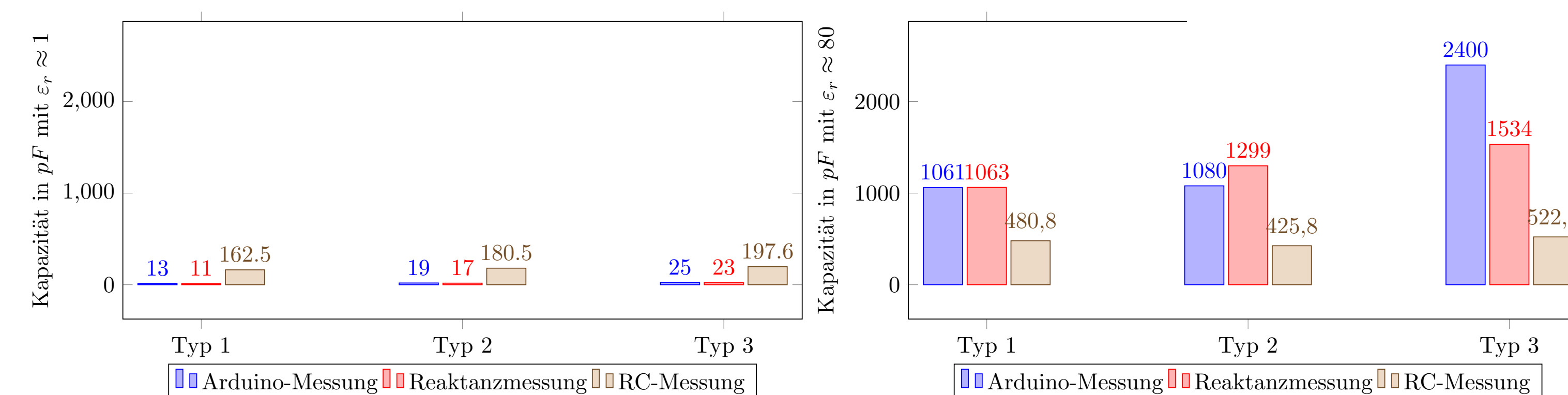


Abbildung: Auswertung der Kondensatoren in Luft / Wasser

Schüttgutmessung

Funktion für Hochpunktspannung

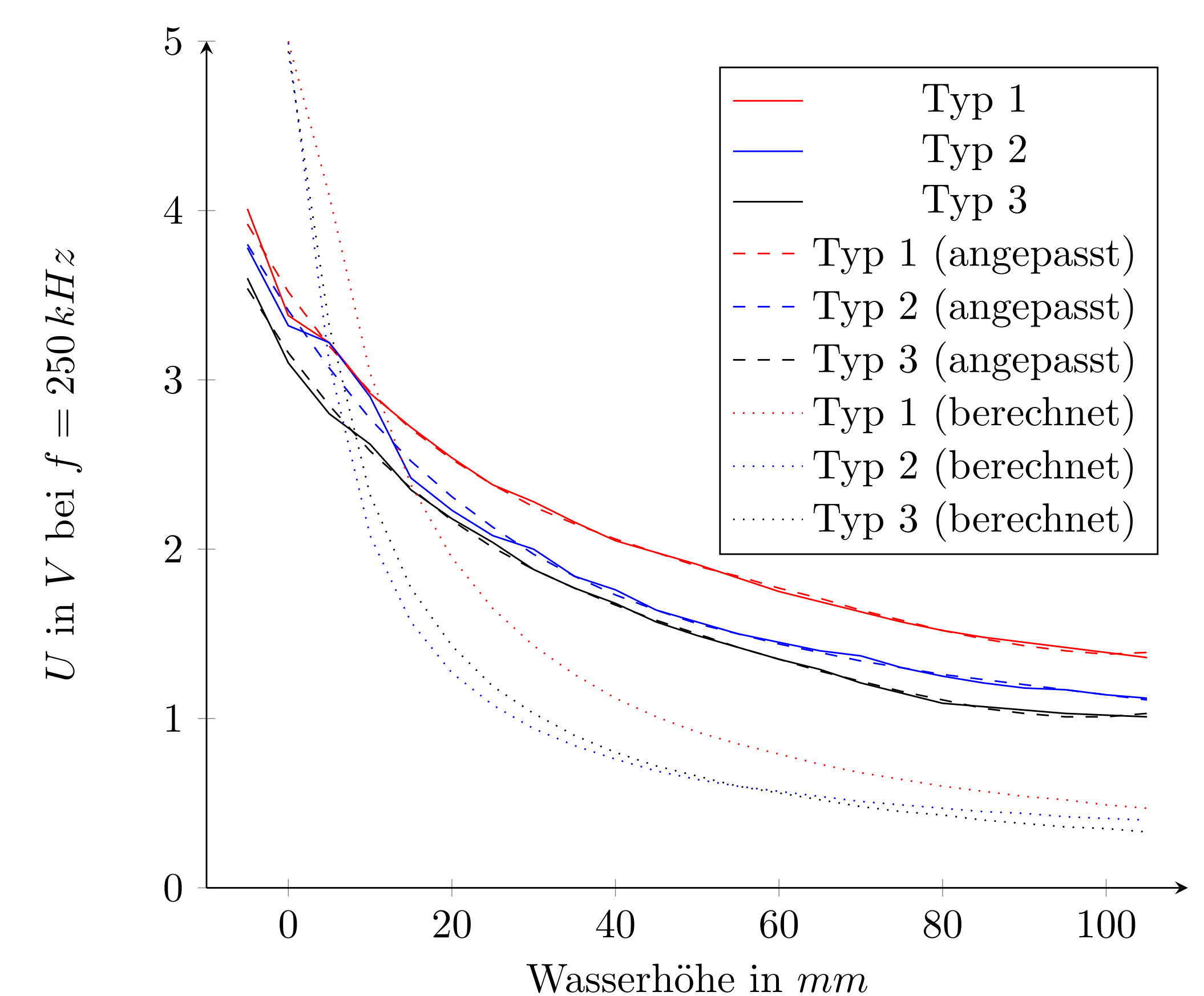


Abbildung: Funktion des Spannungsverlaufs, bestimmt durch Messwerte

Mögliche Gründe für die Abweichungen der gestrichelten Linie:

- Durch Diode D_1 **Spannungsfall** von 0,4 V bis