

## **5 Zusammenfassung und Ausblick**

In dieser Arbeit wurde die elektrische Impedanzspektroskopie, unter Zuhilfenahme des maschinellen Lernens zur Erkennung von Mikroplastik in Wasser, untersucht. Hierfür wurde ein Algorithmus entwickelt, der in der Lage ist, Kunststoffarten in Wasser zu erkennen und in ihrer Menge zu quantifizieren.

Zunächst wurden die statischen Messungen zu PP und PO in Wasser, unter Beachtung von möglichen Störgrößen wie Leitungswasser statt VE-Wasser oder der Zugabe von Salz und organischen Material, durchgeführt. Danach wurde ein möglichst simples und effektives System zur Beantwortung der Fragestellungen nach dem Vorhandensein, der Art und der Menge an Kunststoff entwickelt, indem die Aufgaben auf eine Klassifikation und je eine Regression pro Kunststoffart aufgeteilt wurden.

Daraufhin wurden die verschiedenen Merkmalsgruppen, bestehend aus impedimetrischen, statistischen und Fit-Merkmalen bei Übergabe an eine SVM verglichen. Hierbei stellte sich heraus, dass die vom LCR aufgenommenen Rohdaten, also die impedimetrischen Daten, die besten Erfolge liefern, unabhängig, welche Störgröße betrachtet wird.

Abschließend wurde ein Test der entwickelten Algorithmuskette bei Übergabe aller gesammelten Messdaten, also ohne Unterscheidung der verschiedenen Störgrößen, vorgenommen. Dieser konnte hervorragende Ergebnisse bei der Erkennung von Mikroplastik liefern, sowie auch bei der anschließenden Bestimmung der Menge. In diesem Zuge wurde das entwickelte System, das auf einer SVM aufbaut, mit einem ANN unter vergleichbaren Bedingungen erprobt, wobei nur minimale Unterschiede in der Leistungsfähigkeit festgestellt werden konnten.

Für künftige Untersuchungen ist es unerlässlich, dass die Menge an gesammelten Messdaten, anhand derer der Algorithmus trainiert und getestet werden kann, größer gewählt wird, um eine Überanpassung bzw. Overfitting auszuschließen und verlässliche Aussagen über die benötigte Rechenzeit im Rahmen der Leistungsfähigkeit zu treffen.

Der nächste Schritt ist eine weitere Anpassung an Realbedingungen. Das heißt, nur statt Wasser mit Salz oder organischen Material zu versetzen, sollten Proben, die aus Gewässern entnommen werden mit vorher bekannten Mikroplastik verunreinigt werden, um den Einfluss dieser Störgrößen besser zu verstehen.

Darüber hinaus können auch die verwendeten Kunststoffe variiert bzw. näher betrachtet werden. In dieser Arbeit werden ausschließlich PP und PO untersucht. Dies deckt zwar bereits einen großen Teil der Verschmutzung mit Kunststoff ab, die Untersuchung anhand weiterer Kunststoffarten wird dennoch erforderlich sein. Ferner ist die Analyse der Größe der Partikel notwendig. Die in dieser Arbeit verwendeten Kunststoffproben wiesen unterschiedliche

Größen auf, weshalb nicht eindeutig festzustellen war, ob die Unterscheidung der Kunststoffarten nur anhand unterschiedlicher Werkstoffeigenschaften oder auch aufgrund verschiedener Partikelgrößen beim maschinellen Lernen erfolgte. Es sollte daher untersucht werden, ob der Erfolg auch dann reproduzierbar ist, wenn bspw. die Größe des Mikroplastik aneinander angepasst wird. Ähnlich wie bei den Störgrößen, ist auch beim Mikroplastik eine weitere Anpassung der Proben an Realbedingungen von Interesse. Die in der Umwelt vorzufindenden Kunststoffe weisen eine Bandbreite grundlegend verschiedener Eigenschaften und Merkmale auf, wie bspw. unterschiedliches Material, Größe, Farbe oder Degradationsgrad.

Die elektrische Impedanzspektroskopie, in Verbindung mit maschinellem Lernen, stellt eine Möglichkeit dar, Mikroplastik in Gewässern zu erkennen und zu charakterisieren. Für eine realisierbare Anwendung sind jedoch weitere vertiefte Untersuchungen durchzuführen. Vor allem der nächste Schritt hin zu realen Bedingungen ist entscheidend. Um eine Einschätzung vornehmen zu können, ob unter Zugrundelegung der angewandten Messmethoden auch bei Realbedingungen präzise Aussagen über das enthaltene Mikroplastik getroffen werden können, müssen weitere Untersuchungen folgen.