

# Zusammenfassung

In der vorliegenden Masterarbeit werden zwei Ansätze zur Anwendung der topologischen Datenanalyse (TDA) in der automatisierten Erkennung von Bewegungsabläufen bei Sportkletterern evaluiert. Ein Kletterzug wird oftmals in drei Phasen unterteilt: Vorbereitungs-, Haupt- und Stabilisierungsphase. Das Ziel besteht darin, diese drei Phasen zuverlässig zu detektieren. Perspektivisch soll diese Phasenerkennung als Grundlage für ein Feedbacksystem zur Klettertechnik dienen. Im Rahmen eines Experiments wurden die Bewegungsabläufe von zehn Probanden beim Bouldern am Kilterboard mithilfe von fünf Inertial-Measurement-Unit(IMU)-Sensoren aufgezeichnet. Die Sensoren wurden an den Gliedmaßen sowie an der Hüfte der Probanden angebracht, um die Beschleunigung des jeweiligen Körperteils während der verschiedenen Phasen zu messen. Die erfassten Beschleunigungsdaten werden mithilfe von Kameraaufzeichnungen der Klettervorgänge gelabelt. Nach mehreren Vorverarbeitungsschritten werden die Daten ausschnittsweise in Bezug auf ihre topologischen Eigenschaften verglichen. Konkret werden hierfür Persistenzdiagramme von zeitspezifischen Ausschnitten der Daten mittels Bottleneck- und Wasserstein-Distanz auf ihre Ähnlichkeit hin untersucht. Die zugrunde liegende Arbeitshypothese ist, dass Beschleunigungsdaten, die aus derselben Phase eines Klettervorgangs stammen, ähnliche topologische Strukturen aufweisen. Zwei mögliche Ansätze werden hierzu diskutiert. Für den ersten Ansatz werden die erfassten Daten von allen Sensoren zunächst zu einem gemeinsamen Datensatz zusammengefügt und die gemeinsame topologische Struktur als Vergleichsgrundlage herangezogen. In einem modifizierten K-Nächste-Nachbarn-Verfahren (KNN) werden anschließend mindestens die K topologisch ähnlichsten Datenausschnitte in der Vergleichsmenge für die Klassifikationsentscheidung herangezogen. Der zweite Ansatz basiert hingegen darauf, dass die topologische Struktur der Sensordaten zunächst für jeden Sensor einzeln betrachtet wird. Danach werden die Klassifikationsentscheidungen der einzelnen Sensoren gesammelt und als Input für einen Klassifikationsbaum genutzt. Als Benchmark für beide Ansätze dient ein Modell, in dem basierend auf der Verteilung der relativen Häufigkeiten der Phasen in den Daten ein zufälliges Label bestimmt wird.

Die Analyse der vorliegenden Daten legt nahe, dass keine der beiden auf TDA basierenden Herangehensweisen eine signifikante Verbesserung gegenüber dem Benchmarkmodell aufweist. Für das erste Modell besteht die Hypothese, dass die topologischen Eigenschaften in einer inkorrekten Dimension analysiert wurden. Obwohl das zweite Modell in der analysierten Dimension mehr topologische Features zur Verfügung stehen hat, zeigt sich dies nicht in einer signifikanten Verbesserung der Klassifikationsperformance. Im Rahmen weiterführender Nachforschungen bietet der Einsatz von Adaptionen topologischer Datenanalyse für künstliche neuronale Netze Potential für signifikante Verbesserungen.

# Abstract

This Master's thesis evaluates two approaches to the application of topological data analysis (TDA) to the automated recognition of movement phases in sport climbing. A climbing move can generally be divided into three phases: preparation, main, and stabilization phase. The objective of this study is to reliably detect these three phases. As part of an experiment, the movement sequences of ten test subjects were recorded while bouldering on a Kilterboard using five inertial measurement unit (IMU) sensors. The sensors were attached to the limbs and hips of the test subjects in order to measure the acceleration of the respective body parts during the different phases. The acceleration data collected is labeled using camera recordings of the climbing movements. Subsequent to several preprocessing steps, time-specific subsets of the data are compared with regard to their topological properties. Specifically, the persistence diagrams of the data subsets are examined for similarity using the bottleneck and Wasserstein distances. The fundamental working hypothesis is that acceleration data originating from the same phase of a climbing process exhibits similar topological structures. Two possible approaches are discussed for this purpose. In the initial approach, the data recorded by all sensors is combined into a common data set, and the common topological structure is used as a basis for comparison. In a modified K-nearest neighbor (KNN) procedure, at least the K topologically most similar data points in the comparison set are then used for the classification decision. The second approach first considers the topological structure of the sensor data for each sensor individually. The classification decisions of the individual sensors are subsequently collected and utilized as features for a classification tree. A model in which a random label is determined based on the distribution of the relative frequencies of the phases in the data serves as a benchmark for both approaches.

An analysis of the model performance scores suggests that neither of the two TDA-based approaches shows a significant improvement over the benchmark model. For the first model, the hypothesis is that the topological properties were analyzed in an incorrect dimension. While the second model appears to integrate the topological properties in the analyzed dimension better, this is not reflected in a significant improvement in classification performance. In the context of future research, the use of adaptations of topological data analysis for artificial neural networks offers potential for significant improvements.