

Aus der Professur für Geodäsie und Geoinformatik
der Agrar- und Umweltwissenschaftlichen Fakultät

Thesen der kumulativen Habilitationsschrift

Challenges and prospects of spatial machine learning

zur Erlangung des akademischen Grades
Doctor rerum naturalium habilitatus (Dr. rer. nat. habil.)

an der Agrar- und Umweltwissenschaftlichen Fakultät
der Universität Rostock

vorgelegt von
Dr. rer. nat. Julian Christian Hagenauer
geb. am 17.10.1980 in Eschwege aus Stuttgart

Habitationsverteidigung am 03. Februar 2023

Problemstellung

1. Sowohl die Menge an zur Verfügung stehenden räumlichen Daten, als auch deren Komplexität, Veränderlichkeit und Diversität ist in der bisherigen Geschichte der Geowissenschaften einmalig.
2. Anders als herkömmliche statistische Verfahren sind räumliche maschinelle Lernverfahren besonders zur Anwendung auf solche Datensätze geeignet, da diese Verfahren komplexe Beziehungen ohne grundlegende a-priori zu treffende Annahmen in angemessener Berechnungszeit modellieren können.
3. Räumliche maschinelle Lernverfahren sind jedoch auch mit einigen Problemen behaftet, welche berücksichtigt werden müssen, um ihr Potential vollständig ausnutzen zu können.
4. Besonders hervorhebenswerte Probleme sind die Modellierung von räumlicher Autokorrelation und räumlicher Heterogenität, die Wahl eines geeigneten Lernverfahrens für ein gegebenes räumliches Problem und das Verständnis der inneren Zusammenhänge von komplexen räumlichen maschinell-gelernten Modellen.

Methodik und Forschungsansatz

5. Die Entwicklung von neuen maschinellen Lernverfahren für räumliche Vorhersage- und Clusterungsaufgaben, welche räumliche Autokorrelation und räumliche Heterogenität geeignet berücksichtigen, erlaubt eine genauere Modellierung von komplexen Zusammenhängen in räumlichen Daten.
6. Der umfassende Vergleich unterschiedlicher maschineller Lernverfahren für bestimmte räumliche Probleme offenbart nicht nur, welche Modelle für das zugrundeliegende Problem vielversprechend sind und bietet tiefere Einsicht in dieses, sondern legt auch geeignete Modelle für ähnlich gelagerte räumliche Probleme nahe.
7. Die Untersuchung von unterschiedlichen Ansätzen, welche das Verständnis von maschinellen Lernverfahren unterstützen, ermöglicht die Identifizierung von Ansätzen, welche besonders geeignet sind, vielversprechende Hypothesen zu generieren und dadurch die Entdeckung von neuem Wissen unterstützen.
8. Die Fundierung der Forschungsarbeiten auf Anwendungen aus so unterschiedlichen Feldern wie Gesundheit, Verkehr, Immobilien und Landnutzung bietet eine umfängliche Perspektive auf grundlegend unterschiedliche räumliche Probleme.

Ergebnisse und Schlussfolgerungen

9. Die Berücksichtigung von räumlicher Autokorrelation und/oder räumlicher Heterogenität führt häufig zu einer verbesserten Modellgüte von maschinellen Lernverfahren.

10. Baum-basierte Ensemble-Methoden wie „random forest“ oder „gradient boosting“ sind häufig besonders vielversprechend für die Anwendung in räumlichen Vorhersageaufgaben.
11. Reproduzierbarkeit von Vergleichsstudien ist eine wichtige Eigenschaft um weitere Forschung im Bereich des räumlichen maschinellen Lernens zu begünstigen.
12. Bei der Anwendung räumlicher maschineller Lernverfahren ist die Bestimmung geeigneter Hyperparameter eine entscheidende aber auch komplexe Aufgabe, welche die Modellgüte maßgeblich beeinflussen
13. Die Möglichkeit die Parameter von maschinellen Lernverfahren mittels geographischer Karten zu visualisieren ist besonders nützlich um gelernte räumlichen Beziehungen zu kommunizieren und zu verstehen.
14. Die Flexibilität und Anpassbarkeit von räumlichen maschinellen Lernverfahren, insbesondere von künstlichen neuronalen Netzen, begünstigt ihre Anwendung zur Lösung wichtiger räumliche Probleme.
15. Räumliche maschinelle Lernverfahren sind meist komplexer als nicht-räumliche Verfahren und stellen gesonderte Anforderungen an den Anwender.
16. Räumliche maschinelle Lernverfahren sind nur so nützlich, wie die zugrundeliegenden Daten, welche für das Lernen verwendet werden, repräsentativ sind, das Lernverfahren in der Lage ist, wichtige Datenbeziehungen zu modellieren und der Analyst fähig ist, die geeigneten Entscheidungen für das Lernen zu treffen.
17. Räumliche maschinelle Lernverfahren ersetzen nicht traditionelle statistische Methoden, sondern erweitern den „Werkzeugkasten“ von räumlichen Wissenschaftlern um Verfahren, welche für komplexe und datenreiche räumliche Anwendungen besonders nützlich sind.

Ausblick

18. Die angesprochenen Probleme stellen nur einen kleinen jedoch wichtigen Teil der Probleme dar, mit denen räumliche maschinelle Lernverfahren konfrontiert sind.
19. Die Komplexität der meisten räumlichen Probleme auf der einen Seite und die Flexibilität und Anpassbarkeit von räumlichen maschinellen Lernverfahren auf der anderen Seite bergen umfängliches Potential für weitere Forschungen.
20. Weitere Forschungen im Bereich räumlicher maschineller Lernverfahren bieten die Möglichkeit der Gewinnung neuer Einsichten über räumliche Phänomene und können somit helfen unser Verständnis der Welt in der wir leben zu verbessern.