

Künstliche Intelligenz im Wald

Raffael Bienz | Abteilung Wald | 062 835 28 20

Über den Aargauer Wald werden Jahr für Jahr viele Daten erhoben – auch im Bereich der Fernerkundung. Die Auswertung von Orthofotos und LiDAR-Vermessungsdaten ist manuell bzw. visuell sehr aufwendig. Neu nutzt die Abteilung Wald bei der Baumartenerkennung sowie der Fahrspurenkartierung künstliche Intelligenz.

Der Begriff «Künstliche Intelligenz» wird heute (berechtigter- und unberechtigterweise) für viele Anwendungen verwendet. Etwas spezifischer sind jedoch die aus dem Englischen stammenden Begriffe «Machine Learning» und «Deep Learning». Machine Learning ist ein Teilgebiet der Informatik und beschreibt ein System, das aus Beispielen lernt, Verallgemeinerung herzuleiten. Dabei ist wichtig, dass das System nicht einfach die zum Lernen verwendeten Beispiele (Trainingsdaten) auswendig lernt (Overfitting), sondern dass es allgemeine Muster und Gesetzmässigkeiten erkennt, die es anschliessend auf ihm unbekannte Beispiele übertragen kann.

Auch eine Maschine muss lernen

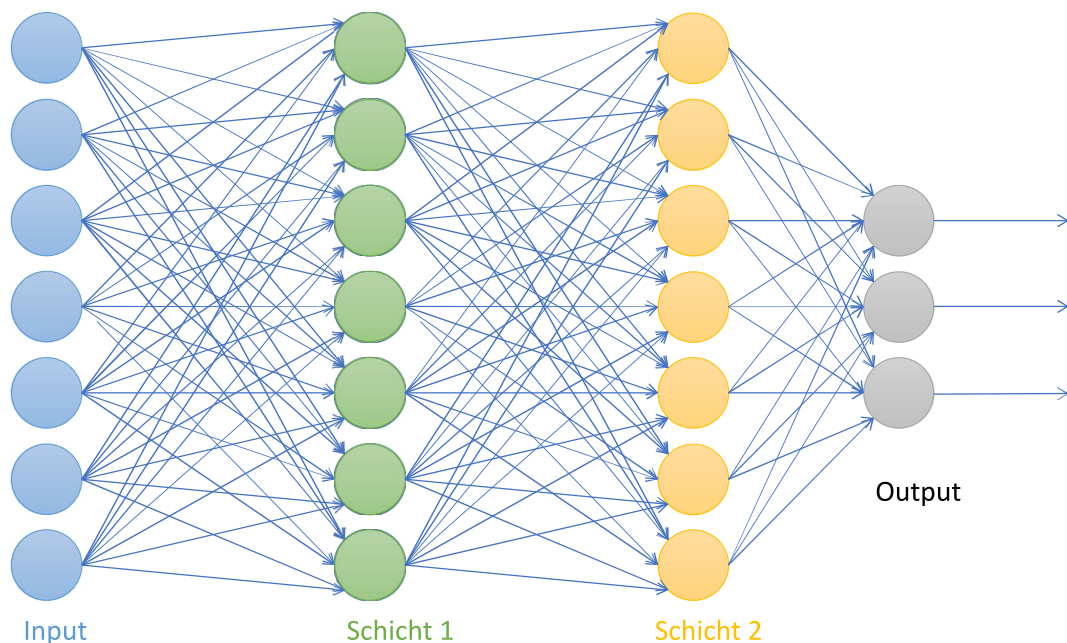
Machine Learning umfasst viele verschiedene Methoden, von der einfachen linearen Gleichung bis hin zu künstlichen neuronalen Netzwerken, die dem menschlichen Gehirn nachempfunden sind. Künstliche neuronale Netzwerke sind klassischerweise aus Schichten von künstlichen Neuronen aufgebaut.

Je mehr Neuronen und Schichten ein Netzwerk hat, desto komplexere Zusammenhänge können aus den Daten abgebildet werden. Weist das künstliche neuronale Netzwerk eine hohe Komplexität auf, spricht man von Deep Learning. Deep Learning ist die sich am schnellsten entwickelnde und in

vielen Bereichen vielversprechendste Methode im Bereich des Machine Learning. Sie ermöglicht, dass inzwischen Maschinen die Meister der Menschheit in ganz spezifischen Bereichen wie beispielsweise Schach oder Go schlagen. Go ist ein strategisches Brettspiel, das bereits vor 2500 Jahren im antiken China entstand und als eines der komplexesten Spiele der Welt gilt.

Deep Learning im Wald

Die Abteilung Wald hat untersucht, wo die Methode des Deep Learnings sinnvoll eingesetzt werden kann. Dies ist vor allem dort möglich, wo grosse Datenmengen zur Verfügung stehen. Im Wald ist dies im Bereich der Fernerkundung der Fall. Jedes Jahr stehen neue hochaufgelöste Orthofotos zur Verfügung und alle vier bis fünf Jahre organisiert die Abteilung Wald eine kantonale LiDAR-Befliegung. Dabei wird mittels Laser-Messtechnik die

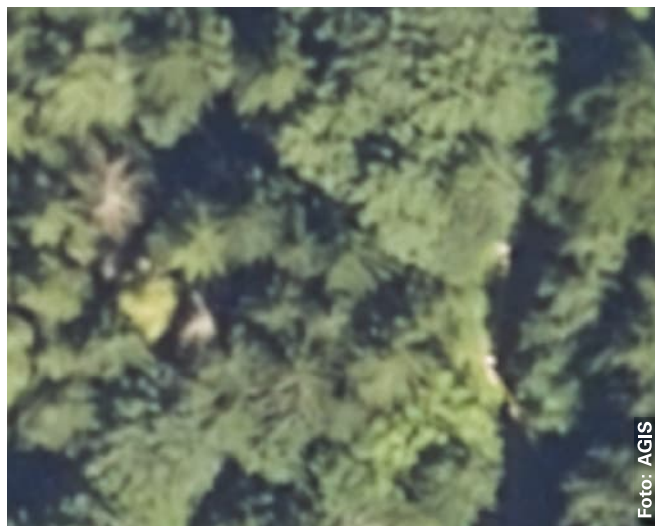


Exemplarischer Aufbau eines künstlichen neuronalen Netzwerks.

Input: Daten, die dem System übergeben werden (beispielsweise Pixelwerte eines Luftbildes)

Schichten: bestehend aus künstlichen Neuronen

Output: Ausgabe des Netzwerks (beispielsweise Wahrscheinlichkeit für Klassenzugehörigkeit Baumarten)



Das Orthofoto von Swisstopo hat eine Auflösung von 10 Zentimetern (links). Da kann das Orthofoto, wie es der Kanton Aargau normalerweise verwendet, nicht mithalten (rechts).

Oberfläche des Kantons Aargau vermessen. Diese Datensätze weisen einen hohen Informationsgehalt auf, der aber manuell bzw. visuell nur mit grossem Aufwand ausgewertet werden kann. Aus diesem Grund steckt in der automatischen Auswertung dieser Daten grosses Potenzial. Dieses kann die Abteilung Wald unter anderem in zwei Bereichen erfolgreich nutzen: einerseits bei der Baumartenerkennung sowie andererseits bei der Fahrspurenkartierung.

Vom Brokkoli zur Baumkrone

Die Erfassung der Baumarten als Grundlage für die forstliche Betriebsplanung erfolgte bisher terrestrisch. Das heisst, Försterinnen und Förster oder Waldplanerinnen und Waldplaner gehen den gesamten Wald ab und bilden aufgrund der vorliegenden Situation sogenannte Bestände (homogene Waldeinheiten). Anschliessend werden jedem Bestand die Baumartenanteile zugeordnet. Über die Automatisierung dieses Prozesses machte sich die Abteilung Wald schon länger Gedanken, denn das terrestrische Vorgehen ist sehr aufwendig. Bereits 2014 hatte die Abteilung Wald daher zusammen mit der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL) ein Pilotprojekt durchgeführt. Das Ziel war, Baumarten auf Orthofotos anhand von spektralen Unterschieden (beispielsweise unterschiedlichen Rot-,

Gelb- oder Blautönen) zu erkennen. Leider war die spektrale Variation zwischen den unterschiedlichen Baumarten aber nicht hoch genug, um eine zufriedenstellende Genauigkeit bei der Baumartenerkennung zu erreichen. Vier Jahre später, im Jahr 2018, lieferte Swisstopo mit einem Orthofoto mit der bisher höchsten Auflösung (10 Zentimeter) die Grundlage für einen erneuten Versuch. Auf diesem Orthofoto sind Strukturen in der Baumkrone viel besser erkennbar als auf den vom Kanton selbst in Auftrag gegebenen Orthofotos mit geringerer Auflösung. Dadurch konnten nicht nur die spektralen, sondern eben auch die strukturellen Eigenschaften der Baumarten zu deren Erkennung genutzt werden. Damit das Modell, das die Baumartenklassifikation vornimmt, weiss, welche Bereiche des Orthofotos zu einem einzelnen Baum gehören, musste in einem ersten Schritt ein Modell entwickelt werden, das die Baumkronen im Orthofoto erkennt und segmentiert. Dazu eignet sich ein sogenanntes Instance Segmentation Neural Network. Dies ist eine Spezialform von sogenannten Convolutional Neural Networks (CNNs), die häufig für die Erkennung von Strukturen in Bildern eingesetzt werden. Das von der Abteilung Wald verwendete Modell wurde ursprünglich entwickelt und dafür trainiert, alle möglichen Objekte auf Bildern zu erkennen.

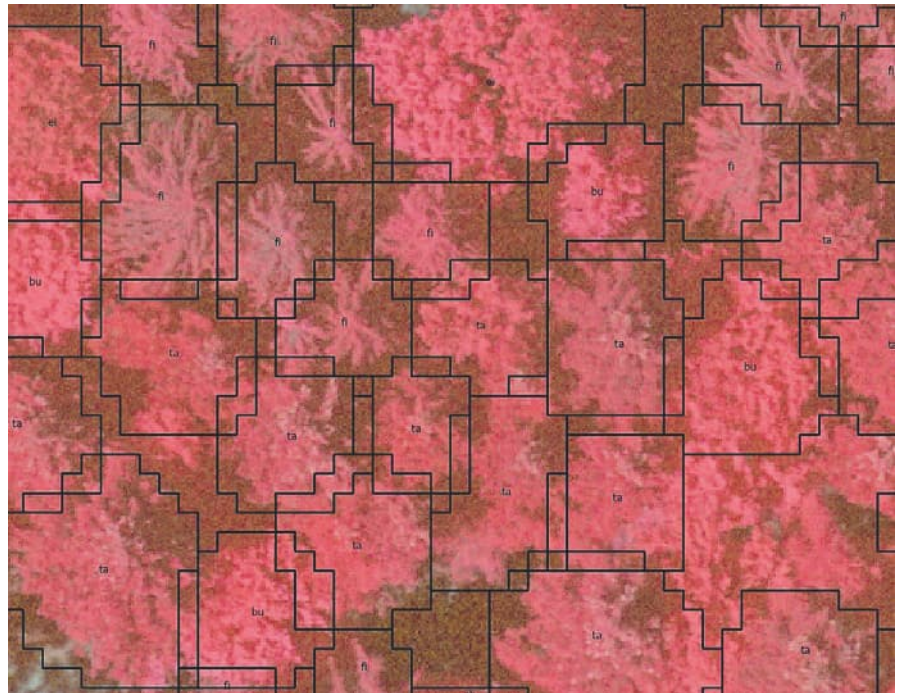
Eines der Objekte war der Brokkoli. Da die Baumkronen auf dem Orthofoto eine optische Ähnlichkeit mit Brokkolis aufweisen, war das vortrainierte Modell eine ideale Grundlage und konnte mit geringem Aufwand umtrainiert werden (Transfer Learning). So erkennt das Modell anstelle von Brokkolis nun Baumkronen. Dieses Modell verwendet als Input einen Ausschnitt (50 mal 50 Meter) des Orthofotos und gibt als Output eine Maske aus, die die einzelnen Baumkronen im Ausschnitt markiert. In einem zweiten Schritt wurde dann das eigentliche Baumerkennungsmodell entwickelt. Dieses verwendet als Input eine einzelne Baumkrone, die vom ersten Modell gefunden wurde, und ordnet diese einer von 14 Baumartengruppen zu. Die Kombination beider Modelle ergibt einen GIS-Datensatz (Shapefile), in dem jede Baumkrone markiert und jeweils einer Baumartengruppe zugeordnet ist. Eine Baumgruppe beinhaltet beispielsweise mehrere Eichenarten, die nicht mehr weiter differenziert und als «Baumart Eiche» ausgewiesen werden. Diese Auswertung kann von interessierten Forstbetrieben und Waldeigentümerinnen und Waldeigentümern als Grundlage für die Betriebsplanung über die Webapplikation der Abteilung Wald (BKOnline) verwendet werden.

Fahrspuren wie unter dem Elektronenmikroskop

Die Abteilung Wald empfiehlt den Forstbetrieben die Erschliessungsanlagen – auf diesen wird mit Forstmaschinen gefahren – digital zu erfassen und unterstützt sie durch Beratung, Bereitstellung der GPS-Geräte sowie mit der Vor- und Nachbereitung der digitalen Erfassung. Eine Kartierung der Erschliessung und deren Klassifizierung (Waldstrasse, Maschinenweg, Rückegasse) ist für den Bodenschutz und eine effiziente forstliche Planung eine wichtige Grundlage.

Bisher sind alle Waldstrassen im Kanton systematisch kartiert worden, bei der sogenannten Feinerschliessung (Maschinenwege und Rückegassen) fehlen jedoch noch 60 Prozent.

Basierend auf den bereits erfassten Feinerschliessungs-Daten hat die Abteilung Wald ein Bilderkennungsmodell entwickelt, um für die nicht kartierte Kantonsfläche die Fahrspuren automatisch erfassen zu können. Als Input für das Modell dienen Bodenstrukturkarten aus LiDAR. Diese werden ausschnittsweise (150 mal 150 Meter) dem Modell übergeben. Als Output werden vom Modell Fahrspurenmasken generiert. Wie beim Modell für die Baumartenerkennung handelt es

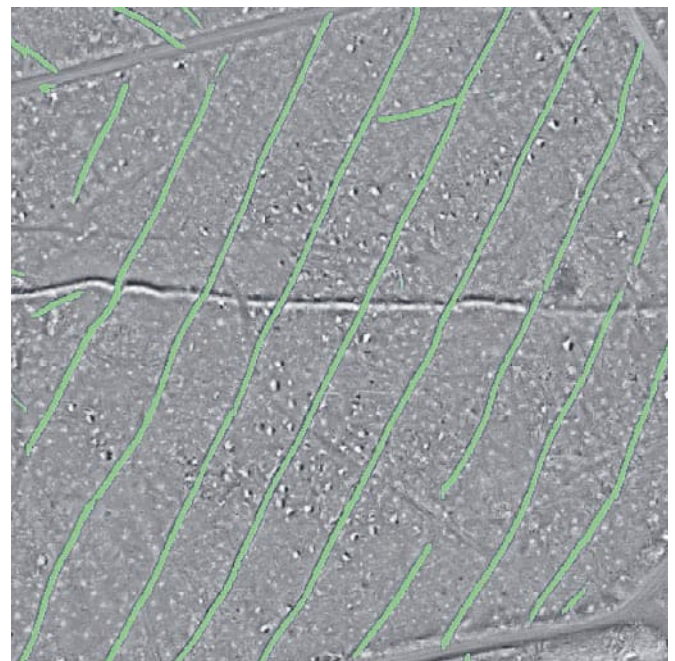
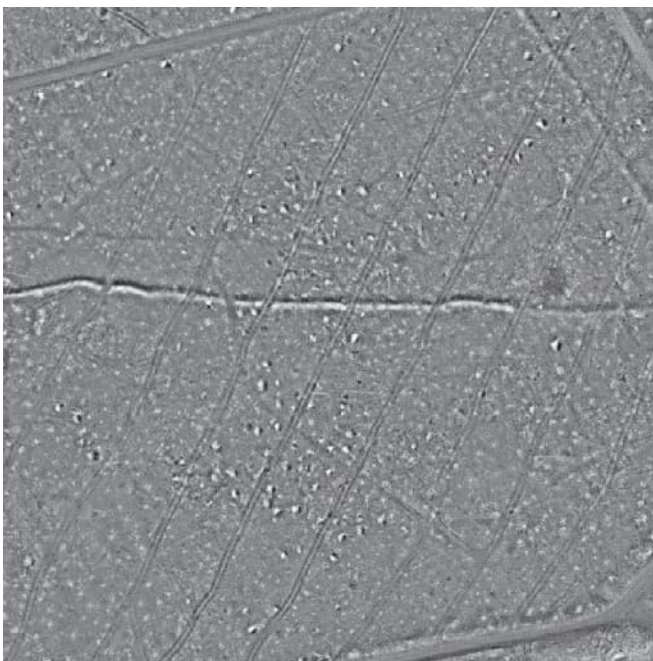


Als Endresultat aus der Kombination von zwei Modellen ergibt sich die automatische Abgrenzung der Baumkronen mit zugeordneter Baumart.

Quelle: AW

sich bei diesem Modell ebenfalls um ein Convolutional Neural Network. In diesem Fall wurde jedoch ein Modell eingesetzt, das für die Analyse von Elektronenmikroskop-Bildern entwickelt wurde. Die Bilder der ursprünglichen medizinischen Anwendung weisen

eine optische Ähnlichkeit mit den Bodenstrukturkarten aus den LiDAR-Daten auf, denn es handelt sich um Graustufenbilder. Ähnlich wie beim Brokkoli könnte dies ein Grund sein, warum das Modell auch für die LiDAR-Daten so gut funktioniert.



Automatische Fahrspurerfassung: Als Input dienen LiDAR-Bodenstrukturkarten (links), als Output werden Fahrspurmasks (rechts) generiert.

Quelle: AW

Noch nicht ausgelernt!

Das Modell für die Erkennung von Fahrspuren hat etwa 90 Prozent der auf den Bodenstrukturkarten sichtbaren Fahrspuren gefunden und es konnten rund 126'000 Fahrspuren im Kanton Aargau automatisch kartiert werden. In einigen wenigen Fällen hat es das Modell aber auch zu gut gemeint und Waldstrassen oder Entwässerungsgräben fälschlicherweise als Fahrspuren klassiert.

Bei der automatischen Erkennung der Baumarten haben die Rückmeldungen aus der Praxis gezeigt, dass das trainierte Brokkoli-Modell für Nadelbäume

Weitere Informationen

Beide vortrainierten Modelle stehen auf Github zur freien Verfügung. Für Fragen und Anregungen steht Raffael Bienz, raffael.bienz@ag.ch, gerne zur Verfügung.

- <https://github.com/RaffiBienz/arborizer>
- https://github.com/RaffiBienz/skidroad_finder

gut funktioniert, denn diese unterscheiden sich optisch besser voneinander als Laubbäume. Bei Letzteren liefert das Modell noch keine zufriedenstellenden Resultate und es besteht Verbesserungsbedarf.

Die Maschine hat also noch nicht ausgelernt und wird von der Abteilung Wald weiter trainiert werden, damit auch Laubbäume zielsicher identifiziert werden können.



Für den Bodenschutz und eine effiziente forstliche Planung ist es wichtig, die Erschliessungsanlagen – auf diesen wird mit den Forstmaschinen gefahren – digital zu erfassen.