

# 3D-MicroMapping – Crowdsourcing zur Klassifikation von 3D-Geodaten

Florian Hillen<sup>1</sup>, Mario Gerdes<sup>1</sup>, Benjamin Herfort<sup>2</sup>, Bernhard Höfle<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institut für Informatik, Universität Osnabrück · florian.hillen@uni-osnabrueck.de

<sup>2</sup>Geographisches Institut, Universität Heidelberg

**Zusammenfassung:** Durch sinnvoll ausgewählte 3D-MicroMapping-Tasks lassen sich ganze 3D-Geodatenansätze (z. B. 3D-Punktwolken) durch Crowdsourcing, also das Übertragen der Aufgabe an eine größere Gruppe von Personen, verarbeiten. In diesem Beitrag werden Ergebnisse einer Nutzerstudie vorgestellt, die zum Ziel hatte die Korrektheit der Resultate sowie die Bearbeitungsdauer solcher Microtasks genauer zu untersuchen und die Integration von 3D-MicroMapping in ein reCAPTCHA – eine nicht freiwillige Variante des Crowdsourcings – zu ermöglichen. Dabei wurden drei Klassifikationstiefen (Generelle Typenunterscheidung, objektspezifische Unterschiede sowie semantische Unterschiede) unterschieden, die mit einer Korrektheit von jeweils über 90 % (teils 96 %) im Mittel zwischen 15 und 20 Sekunden von den Nutzern/-innen klassifiziert wurden.

**Schlüsselwörter:** 3D-MicroMapping, Crowdsourcing, Klassifikation von 3D-Geodaten, 3D-Geo-reCAPTCHA

*Abstract: Whole 3D geodata set (e.g. from laser scanning) can be processed and analysed via crowdsourcing, i. e. sourcing out the tasks to a crowd of people, by choosing reasonable 3D micro-mapping tasks. This contribution presents results of a user study that was conducted with the goal to investigate the correctness and processing time of such micro tasks and to enable the integration of 3D-MicroMapping in a reCAPTCHA (i. e. a non-voluntary type of crowdsourcing). Three types of classification complexity (distinction between object types, object-specific differences and semantic differences) were tested, resulting in a correctness of above 90% for each type with an average processing time between 15 to 20 seconds by the users.*

**Keywords:** 3D-MicroMapping, crowdsourcing, classification of 3D geo data, 3D-Geo-reCAPTCHA

## 1 Einleitung

3D-MicroMapping beschreibt das Annotieren, Klassifizieren oder Erfassen von kleinräumigen Details aus dreidimensionalen Geodaten (z. B. Punktwolken aus Laserscanning). Dabei werden großflächige Datensätze bzw. aufwendige Prozessierungsschritte aufgeteilt in kleinräumige Microtasks, die schnell und effizient von einem Menschen gelöst werden können. Die automatische Verarbeitung dieser Teildaten durch Algorithmen ist – je nach Aufgabenstellung – häufig nur schwer und teils gar nicht lösbar. Durch sinnvoll ausgewählte Microtasks lassen sich ganze Datensätze durch Crowdsourcing, also das Übertragen der Aufgabe an eine größere Gruppe von Personen (vgl. QUINN & BENDERSON 2011), verarbeiten und analysieren. Über Plattformen wie z. B. Amazon's Mechanical Turk können diese Aufgaben öffentlich angeboten und bearbeitet werden. In diesem Beitrag werden Ergebnisse einer Nutzerstudie vorgestellt, die zum Ziel hatte die Korrektheit der Resultate sowie die Bearbeitungsdauer solcher Microtasks genauer zu untersuchen. Die dabei zu lösenden Aufgabenstellungen zur Klassifikation von 3D-Objekten wurden hinsichtlich ihrer Komplexität in drei Klassifikationstiefen – generelle Typenunterscheidung, objektspezifische Unterschiede sowie semantische Unterschiede – eingeordnet. Zusätzlich wurde die Integration von 3D-MicroMapping

in ein System nach reCAPTCHA-Prinzip ermöglicht, das nicht auf Motivation durch Bezahlung oder Reputation beruht, sondern vielmehr eine implizit nicht freiwillige Methode des Crowdsourcings darstellt.

## 2 Stand der Technik: reCAPTCHA und die Klassifikation von 3D-Punktwolken

Immer mehr Webseiten sind in der heutigen Zeit darauf angewiesen, die von Ihnen angebotenen Webdienste vor Angriffen zu schützen. Spezielle Programme (sog. Bots) suchen nach Schwachstellen und versuchen diese zu Ihrem Zweck auszunutzen (z. B. zum Versenden von Spam-Nachrichten). Seit einigen Jahren wird daher versucht durch CAPTCHAs herauszufinden, ob der aktuelle Besucher/-in der Website wirklich ein menschlicher Nutzer/-in oder ein Computerprogramm ist. CAPTCHA ist die Abkürzung für „completely automated public turing test to tell computer and humans apart“ und beschreibt einen Test der in den 50er-Jahren von Alan Turing vorgeschlagen wurde und nur von einem Menschen gelöst werden kann. Durch den enormen technischen Fortschritt und intensive Forschungen im Bereich der künstlichen Intelligenz bedarf es seit den 50er-Jahren stets neuer Anpassungen dieses Tests. So basieren moderne CAPTCHAs nicht mehr nur auf der Erkennung von verzerrten Buchstaben, sondern z. B. auch aus Bildpuzzeln oder dem Erkennen von Audiosignalen.

HILLEN & HÖFLE (2015) stellten mit Geo-reCAPTCHA einen CAPTCHA Ansatz vor, der auf der Erfassung von geographischen Informationen – im konkreten Anwendungsfall auf der Digitalisierung von Gebäudegrundrissen – beruht. In der Geoinformatik gibt es einige Teilaspekte, die sich nicht mit vollautomatischen Ansätzen bewältigen lassen. Einige dieser Problemstellungen (z. B. die Erfassung von Gebäudegrundrissen oder die Klassifikation von 3D-Punktwolken) eignen sich aufgrund der hohen Komplexität für ein Computerprogramm in besonderer Weise für die Integration in ein CAPTCHA, da sie gleichzeitig einfach und intuitiv für Menschen zu lösen sind. Darüber hinaus greifen HILLEN & HÖFLE ebenfalls das Prinzip des reCAPTCHAs auf, welches darauf beruht den menschlichen Aufwand, der für die Lösung eines CAPTCHAs ohnehin aufgewendet werden muss, für die Generierung von neuen Informationen zu nutzen. So wurde in der Vergangenheit reCAPTCHA dazu genutzt um Textbausteine aus Büchern zu identifizieren, bei denen die Algorithmen von Texterkennungssoftware keine Lösung gefunden haben. Geo-reCAPTCHA verbindet somit – ebenso wie vergleichbare Ansätze wie z. B. ReMAPTCHA von KELLER (2014) – die Sicherheit gegenüber Angriffen mit der Gewinnung von neuen Geoinformationen.

In diesem Beitrag wird eine Erweiterung von Geo-reCAPTCHA zur Klassifikation von dreidimensionalen Punktwolken (z. B. aus Laserscanning) vorgestellt, die im Rahmen des Forschungsprojektes „3D-MAPP: 3D-MicroMapping von großen Geodatensätzen im Web“ (<http://uni-heidelberg.de/3dmapp>) weiterentwickelt wird. Die Klassifikation ist in diesem Zusammenhang gleichzusetzen mit der Annotation einzelner Objekte aus einer Punktwolke und bezeichnet nicht die vorherige Segmentierung der Punktwolke. Automatisierte Ansätze zur Lösung solcher Probleme basieren häufig auf Referenz-Bibliotheken, in der eine Vielzahl von bereits annotierten 3D-Objekten vorgehalten werden und zum Vergleich mit einem unbekanntem Objekt herangezogen werden können. 3D-Geo-reCAPTCHA kann zur Klassifikation einen doppelten Beitrag leisten: Zum einen kann es selbst zur Klassifikation einer ge-

samen Punktwolke genutzt werden, zum anderen kann es dazu dienen Referenz-Bibliotheken zu füllen und die Repräsentativität sowie Qualität der gespeicherten Objekte zu verbessern (z. B. durch Ergänzung von feineren Objektdetails). Insbesondere datengetriebene Klassifikationsansätze können somit von neuen Trainings- aber auch Validierungsdaten profitieren. Algorithmen des Machine-Learning können mit einer reichhaltigeren Datenbasis trainiert werden und liefern somit bessere Ergebnisse. Bei automatischen, modellgetriebenen Klassifikationsansätzen (z. B. zur Dachflächen-Detektion) sind die Informationen von 3D-Geo-reCAPTCHA hingegen besonders für die Validierung der Ergebnisse relevant, da die Klassifikation nicht auf Referenz- und Trainingsdaten beruht.

### 3 Methodik

#### 3.1 Der 3D-Geo-reCAPTCHA Prototyp

Zur Untersuchung der Korrektheit der Ergebnisse von 3D-MicroMapping sowie deren Bearbeitungsdauer ist die Implementierung eines webbasierten Prototyps nötig. Dargestellt werden zwei rotierbare Punktwolken, die nach bestimmten Kriterien vom Benutzer/-in annotiert werden sollen. Wie im Beispiel in Abbildung 1 erkennbar ist, muss der Nutzer/-in entscheiden ob die jeweilige Punktwolke der Objektklasse „Gebäude“ oder „Baum“ zuzuordnen ist. Die Darstellung der 3D-Punktwolken im Web wurde mit der JavaScript Bibliothek *three.js* umgesetzt.

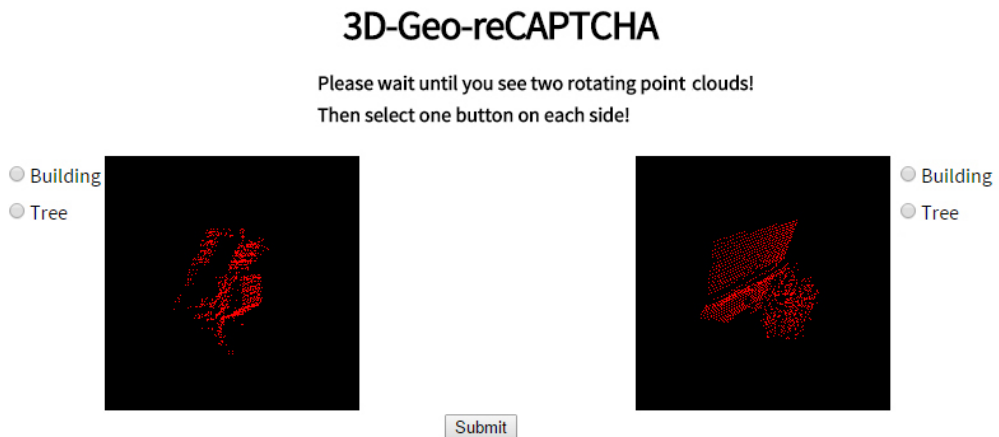


Abb. 1: Erster Prototyp von 3D-Geo-reCAPTCHA (<http://tinyurl.com/3d-recap>)

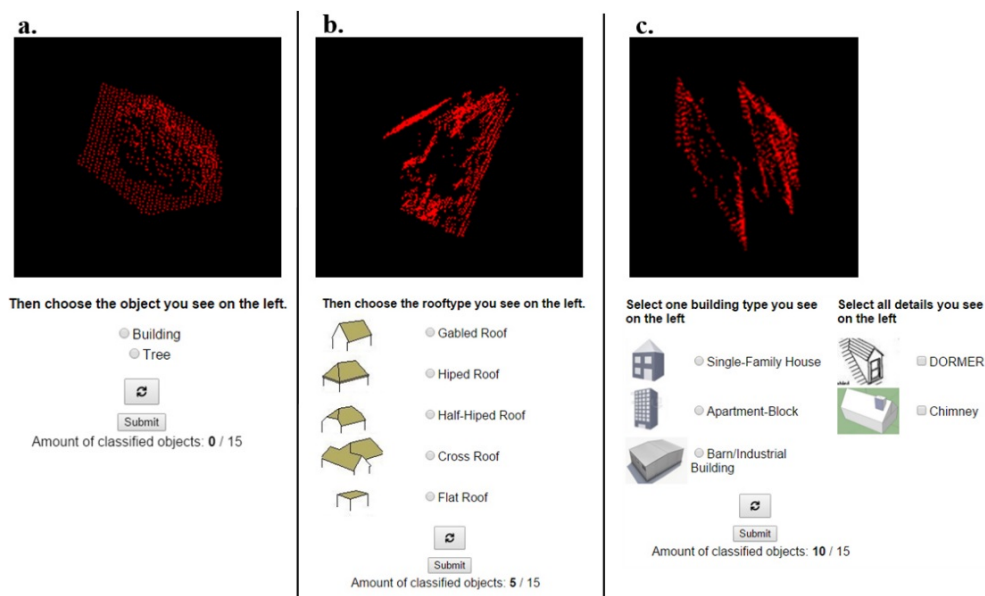
#### 3.2 Durchführung von Nutzerstudien

Zur Evaluierung der Klassifikationsergebnisse wurde eine Nutzerstudie durchgeführt. Hierfür wurde der Prototyp auf eine Punktwolkendarstellung reduziert sowie die Komplexität der Klassifikationskriterien schrittweise erhöht. Den Teilnehmern/-innen wurden nacheinander 15 3D-Objekte, dargestellt als interaktive 3D-Punktwolke (Abb. 1), zusammen mit einer

Klassifikationsfrage und definierten Antworten im Webbrowser angezeigt. Der Nutzer/-in konnte einen räumlichen Eindruck der Objekte durch manuelle Rotation der Punktwolke um alle drei Achsen gewinnen. Die Zeit die der Nutzer/-in für die Lösung der Aufgabe benötigt hat sowie die Interaktion mit der Punktwolke, in Form der zuletzt gewählten Rotation des Objektes, wurden zur späteren Auswertung für jede Klassifikation gespeichert.

Ziel der Nutzerstudie war es die Genauigkeit der nutzerbasierten Klassifizierung für verschiedene Komplexitätsstufen zu erforschen. Des Weiteren wurde ermittelt, in welcher Zeit die Lösung solcher Aufgaben erfolgen kann und ob sich dabei Unterschiede für verschiedenen Komplexitätsstufen zeigen. Untersucht wurden somit in drei Durchläufen jeweils fünf 3D-Objekte zu den folgenden Klassifikationstiefen (Abb. 2):

- Generelle Typenunterscheidung (Baum oder Gebäude).
- Objektspezifische Unterschiede gleichen Objekttyps (Dachtypen: Satteldach, Walm-dach, Krüppelwalm-dach, Kreuzdach, Flachdach).
- Semantische Objektunterscheidung (Nutzung eines Gebäudes: Einfamilienhaus, Wohn-block, Industriegebäude / Objektdetails: Dachgaube, Schornstein).



**Abb. 2:** Drei unterschiedliche Klassifikationstiefen wurden bei der Nutzerstudie untersucht: a. Generelle Objektunterscheidung, b. Objektspezifische Unterschiede, c. Semantische Unterschiede

Zusätzlich wurde in einer zweiten Nutzerstudie das vorgestellte reCAPTCHA-Prinzip mit Bezug auf 3D-Geodaten evaluiert. Der Prototyp zeigt hierbei analog zu Abbildung 1 zwei 3D-Objekte, die vom Nutzer/-in entsprechend der Klassifikationstiefe (a) annotiert werden sollten. Wie beschrieben benötigt der Prototyp keine direkte Nutzerinteraktion, da die 3D-Objekte automatisch rotieren. Gespeichert wird zur späteren Auswertung die Zeit die vom Nutzer/-in benötigt wird um das CAPTCHA vollständig zu lösen.

## 4 Ergebnisse

Im Laufe der Nutzerstudie wurden insgesamt 770 Klassifikationen durchgeführt. Offensichtliche Fehleingaben der Nutzer/-innen, wie z. B. Klassifizierungen ohne jegliche Nutzerinteraktion (d. h. keine Rotation des 3D-Objektes), wurden bereits aus dem Datensatz entfernt (105 Klassifikationen = 12 %).

**Tabelle 1:** Korrektheit der Klassifikationsergebnisse der Nutzerstudie zu 3D-Geo-reCAPTCHA unterschieden nach Klassifikationstiefen

	a. Typenunterscheidung		b. Dachtypen	c. Gebäudenutzung
	Gebäude	Baum		
<b>Anzahl Klassifikationen</b>	218 (100 %)	145 (100 %)	223 (100 %)	184 (100 %)
<b>Korrekt klassifiziert</b>	211 (96,78 %)	136 (93,79 %)	204 (91,48 %)	177 (96,20 %)
<b>Falsch klassifiziert</b>	7 (3,22 %)	9 (6,21 %)	19 (7,52 %)	7 (3,80 %)

Die Auswertung hinsichtlich der Korrektheit der Ergebnisse findet sich in Tabelle 1. Es zeigt sich, dass die generelle Typenunterscheidung (a) durch den Benutzer zu einem hohen Prozentsatz korrekt durchgeführt werden kann (Gebäude: 96,78 % / Bäume: 93,79 %). Dieser Prozentsatz sinkt bei der Differenzierung von unterschiedlichen Dachtypen (b) nur gering auf 91,48 %. Darüber hinaus zeigt sich, dass neben dem Objekttyp auch der Kontext des Objektes (c) sehr gut durch den menschlichen Nutzer/-in erfasst werden kann. In 96,20 % der Klassifikationen wurde die Nutzung eines Gebäudes, aufgeteilt in Einfamilienhaus, Wohnblock und Industriebäude, durch die Nutzer/-innen der Studie korrekt erfasst.

**Tabelle 2:** Statistik zur Bearbeitungszeit (Mittelwert (Mean), Median und Standardabweichung (SD) in Sekunden) eines 3D-MicroTasks für unterschiedliche Klassifikationstiefen

	a. Objektunterscheidung			b. Dachtypen			c. Gebäudenutzung		
	Mean	Median	SD	Mean	Median	SD	Mean	Median	SD
<b>Alle</b>	15,5	10,0	18,8	18,7	14,3	14,2	22,6	15,6	43,9
<b>Alle &lt; 60 s</b>	13,8	9,8	11,0	17,1	13,8	10,9	18,6	15,2	11,4

Alle Microtasks konnten von den Studienteilnehmern/-innen im Mittel zwischen 15 und 23 Sekunden gelöst werden, unabhängig von der Komplexität der gestellten Aufgabe (Tabelle 2). Es liegt daher nahe, dass eine bestimmte Zeit benötigt wird, um einen räumlichen Eindruck des Objektes zu gewinnen. Entfernt man alle Klassifikationen über 60 Sekunden unter der Annahme, dass die Nutzer/-innen bei diesen Zeiten nicht ausschließlich mit der Lösung

des Microtasks beschäftigt waren, so ergeben sich deutlichere konstantere Bearbeitungszeiten. Die Standardabweichungen liegen dabei für alle Klassifikationstiefen bei ca. 11 Sekunden. Ein Anstieg der Bearbeitungszeit bei steigender Klassifikationstiefe ist erkennbar, die mittleren Bearbeitungszeiten liegen jedoch bei 13,8 bis 18,6 Sekunden.

Bei der zweiten Nutzerstudie zur Bewertung der 3D-Geo-reCAPTCHA Idee wurden 70 Testläufe durchgeführt. Von diesen Testläufen wurden 64 CAPTCHAs korrekt beantwortet (91,43 %) und der Nutzer als Mensch identifiziert. Die durchschnittliche Bearbeitungszeit des 3D-GeoReCAPTCHA mit zwei 3D-Objekten beträgt lediglich 12,52 Sekunden bei einer Standardabweichung von 3,66 Sekunden.

## 5 Schlussfolgerung und Ausblick

Generell lässt sich sagen, dass die Ergebnisse beider Nutzerstudien einen ersten Eindruck über die Möglichkeit zum Einsatz von Crowdsourcing für das 3D-MicroMapping, also zur Klassifikation dreidimensionaler Punktwolken, liefern. Es bedarf jedoch weiterer Untersuchungen um ideale Voraussetzungen für den Nutzer/-in zur Lösung von 3D-MicroMapping Tasks zu finden.

Die Ergebnisse der zweiten Nutzerstudie legen die Schlussfolgerung nahe, dass der Nutzer/-in durch die automatische Rotation schneller ein räumlicher Eindruck von den 3D-Objekten gewinnen kann und somit auch die Lösung des Microtasks deutlicher schneller erfolgen kann. Entsprechend kann angenommen werden, dass die Nutzerinteraktion mit dem 3D-Objekt der entscheidende zeitliche Faktor hinsichtlich der Lösung von 3D-MicroMapping Tasks ist. Diese Hypothese muss in zukünftigen Studien genauer untersucht werden. Es ist jedoch festhalten, dass sich die Integration in ein CAPTCHA in Form eines 3D-Geo-reCAPTCHAs als eine von vielen gangbaren Möglichkeiten erwiesen hat.

## Literatur

- HILLEN, F. & HÖFLE, B. (2015), Geo-reCAPTCHA: Crowdsourcing Large Amounts of Geographic Information from Earth Observation Data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 40, 29-38. doi:10.1016/j.jag.2015.03.012.
- KELLER, S. (2014), ReMAPTCHA: A Map-based Anti-Spam Method that Helps to Correct OpenStreetMap. In: VOGLER, R., CAR, A., STROBL, J. & GRIESEBNER, G. (Eds.), *GI\_Forum 2014. Geospatial Innovation for Society*. Wichmann/ÖAW Verlag.
- QUINN, A. J. & BEDERSON, B. B. (2011), Human computation: a survey and taxonomy of a growing field. In: *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '11)*. ACM, New York, NY, USA, 1403-1412. doi: 10.1145/1978942.1979148