Richtlinie zum „Software-Sprint“

Drawing Participation: Reblocking a Million Neighborhoods

Schlussbericht

(Zuwendungsempfänger: Leonard Schrage)

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 01IS24S22 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

Kurze Darstellung der Aufgabenstellung und Motivation

Laut aktueller Prognosen werden in den nächsten 40 Jahren mehr städtische Strukturen errichtet werden als in der gesamten Menschheitsgeschichte zusammengerechnet. Eine derart rasante Urbanisierung findet in den meisten Teilen der Welt bereits heute statt—komplett informell, also ohne die Anleitung von Planer*innen, Architekt*innen oder Wissenschaftler*innen. Dabei bleiben die existierenden strukturellen Ungleichheiten innerhalb unserer Städte und Sozialsysteme bestehen. Aufgrund politischer Ausgrenzung, sozialer Stigmatisierung und wirtschaftlicher Zwänge werden benachteiligte Bevölkerungsgruppen weiterhin an umweltgefährdete Orte verdrängt, was durch die Klimakrise noch weiter verschärft wird. Diese Siedlungen sind in der Regel durch informelle Grundbesitzverhältnisse und eine ungeplante Flächennutzung gekennzeichnet, die häufig zu einem fehlenden Zugang zu essentieller Infrastruktur wie z.B. Elektrizität oder Frisch- und Abwasser führen.

Drawing Participation: Reblocking a Million Neighborhoods ist eine gemeinwohlorientierte generative KI mit Fokus auf urbane Migration und setzt genau bei dieser Problemstellung an. Das Projekt ermöglicht die Kartierung und Charakterisierung von Wohnsiedlungen, vor allem im globalen Süden. Mithilfe unseres skalierbaren Werkzeugs zur Erstellung von Katasterkarten, adressieren wir den akuten Mangel an kommunalen Planungsdaten im informellen Kontext. Die entsprechenden Daten sind derzeit meist nicht vorhanden—die entsprechenden manuellen Vermessungs- bzw. Kartierungsarbeiten sind v.a. auf großem Maßstab schlichtweg zu teuer.

Unsere KI-gestützte Software kann diese Daten nun einfach und kostengünstig basierend auf globalen Satellitendaten generieren. Diese durch unser System generierte

Datengrundlage bildet den Grundstein für die Einbindung und Mitbestimmung benachteiligter Bevölkerungsgruppen in kommunale Planungsprozesse. Dies ist entscheidend für eine essentielle Energie-, Wasser- oder Sanitärversorgung und je nach regionalem Kontext auch für das Wahlrecht.

Unser Projekt basiert auf dem Prinzip *Reblocking*, dem Prozess der Formalisierung von Land- und Parzellen-Besitz und der damit verbundenen Schaffung von Straßenzugang und weiterer essentieller Infrastruktur zu jeder Parzelle bzw. jedem Gebäude einer gegebenen Wohnsiedlung. Traditionelle Reblocking-Prozesse sind jedoch teils umstritten, da die Schaffung von Straßen für Individuen belastend sein kann. Unsere Lösung zielt daher eindeutig darauf ab die Anwohner in diesen Prozess mit einzubeziehen und dabei ein klares Verständnis für mögliche Maßnahmen zu vermitteln, Interessengruppen zusammenzubringen, Kosten-Nutzen-Abwägungen zu koordinieren und vor allem, Zusammenarbeit zwischen Anwohner*innen, Planer*innen, NGOs und Verwaltungen zu ermöglichen und somit zu erfolgreicher regionaler Entwicklungsarbeit beizutragen.

Beitrag des Projektes zu den Zielen der Förderinitiative „Software-Sprint“

Im Rahmen der Förderung konnte das Projektteam (Leonard Schrage, Demircan Tas, Dezeng Kong, Carlos Sandoval Olascoaga) eine umfassende, frei verfügbare KI-Anwendung entwickeln, die es Nutzer*innen ermöglicht, eigene regionalspezifische Kataster-Datensätze auf der Grundlage von Satellitendaten und bestehenden Gebäudeumrissen zu generieren.

Der entwickelte Prototyp ist Kernbestandteil für die erfolgreiche Implementierung des Projekts vor Ort. Das Projekt soll über die Förderlaufzeit hinweg fortgeführt, erweitert und vor Ort getestet werden, was im Rahmen der Förderung bereits strategisch vorbereitet werden konnte, u.a. in den angebotenen Coaching-Sessions. Es konnten zudem relevante Netzwerke mit Personen, Projekten und Institutionen (z.B. NGOs, Universitäten) mitsamt entsprechenden Kooperationsperspektiven und eine robuste Basis für Anschlussförderungen innerhalb des Förderzeitraums geschaffen werden. Das Projekt war für alle Teammitglieder eine klare Bereicherung auf persönlicher sowie fachlicher Ebene. Wir hoffen, dass wir mit unserem Projekt exemplarisch dazu beitragen konnten, open-source Software-Entwicklung mit gesellschaftlich relevantem Fokus voranzubringen und mehr Einzelpersonen und Teams dazu motivieren konnten bzw. zukünftig können, zu entsprechenden Projekten beizutragen bzw. eigene Initiativen zu entwickeln.

Ohne die Förderung durch den Prototype Fund wäre unser konkretes Projekt in dieser Form nicht umsetzbar gewesen. Das Team der Open Knowledge Foundation war eine tatkräftige, geduldige und konstruktive Unterstützung und führte uns strukturiert durch den Förderzeitraum. Das sehr gut organisierte Begleitformat ermöglichte u.a. wertvolle Austauschmöglichkeiten mit anderen geförderten Projekten auf technischer, inhaltlicher und strategischer Ebene. Ein großer Dank gilt zudem den Ansprechpartner*innen bzw. Sachbearbeiter*innen des DLR.

Ausführliche Darstellung der Ergebnisse

Unsere Anwendung besteht aus einer dreiteiligen Python-Bibliothek (building-to-parcel) zur skalierbaren, KI-gestützten Erstellung von globalen Katasterdaten. Unsere Anwendung ermöglicht die entsprechende Generierung von Trainingsdaten, das Training von kontext-spezifischen generativen KI-Modellen und die Ergebnis-Synthese für eine bestmöglichen kontextuelle Anpassung der Outputs.

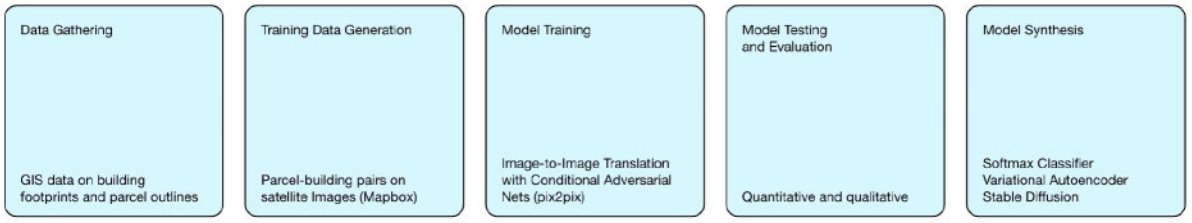


Abbildung 1: Der Workflow unserer Anwendung

Die Bibliothek kann einfach über den Package Installer Pip installiert werden; der Quellcode der Anwendung sowie eine ausführliche Dokumentation über Installation und Nutzung der Software sind offen über Github einsehbar.

Zunächst erfolgt die Zusammenstellung frei zugänglichen Geodaten (GIS) relevanter Gebäude- und Grundstücksumrisse. Diese Daten werden nun von unserer Anwendung auf Satellitenbilder projiziert und in Form von zehntausenden Bildpaaren als Trainings-Input für die generative KI ausgegeben. Zusammengehörige Gebäude- und Grundstücksflächen werden jeweils mit demselben Farbcode flächig eingefärbt.

.



Abbildung 2: Zwei Bildpaare von Trainingsdaten (jeweils links: Gebäude; rechts: Grundstücke)

Als nächstes ermöglichen wir das Training von regional-spezifischen KI-Modellen (Image-to-Image-Translation, basierend auf einer Pix2pix-Architektur). Der Trainingsprozess dieser Modelle kann zudem qualitativ sowie quantitativ bewertet werden, um deren Funktionalität zu gewährleisten und z.B. ein Overfitting zu vermeiden. Die trainierten Modelle sind nun zuverlässig in der Lage, plausible Grundstücksdaten basierend auf einem neuen gegebenen Input von Gebäudeumrissen für eine unbekannte Umgebung vorzuschlagen, die später als Grundlage für den Beteiligungsprozess mit Anwohnern genutzt werden können.

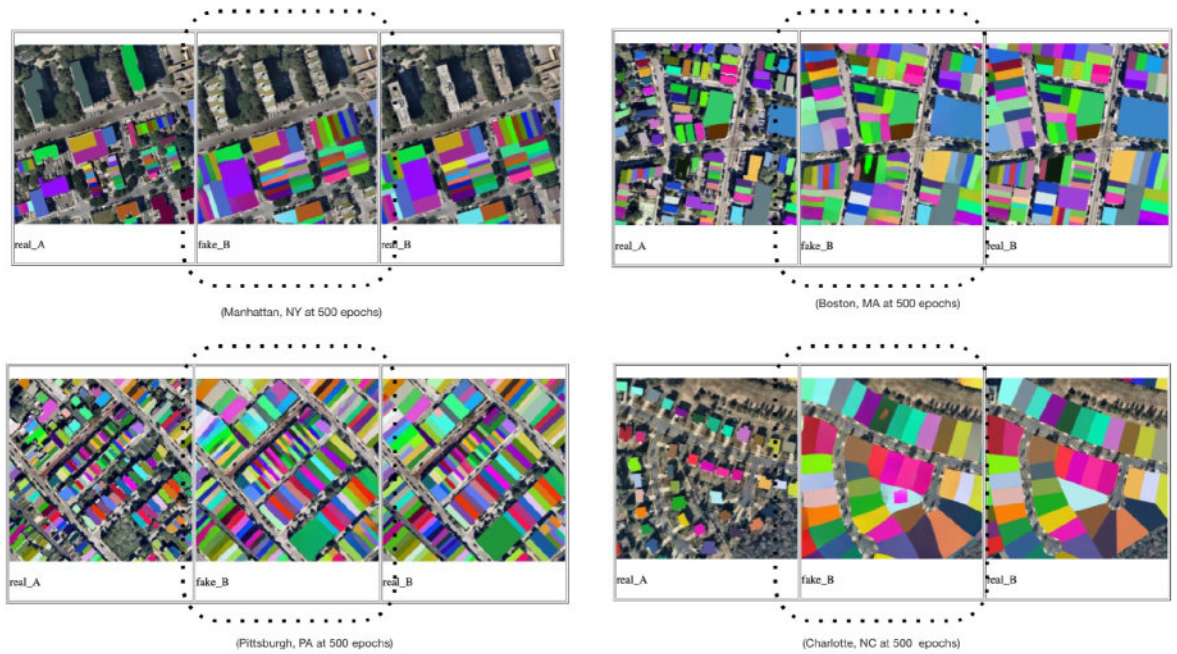


Abbildung 3: Mittig zu sehen sind die generierten Katastervorschläge unserer Modelle, links der Input (Gebäudeflächen) und rechts der reale Vergleichswert.

Zuletzt bieten wir die Möglichkeit zur Synthese der Ergebnisse der generierten Modelle durch einen Ensemble-Learning-Ansatz, um sich bestmöglich an spezifische kontextuelle Merkmale anzupassen. Hierzu klassifizieren wir zunächst bestehende Städte durch ein weiteres KI-Modell klassifiziert (Softmax Classifier kombiniert mit Resnet-Architektur); gemäß der resultierenden prozentuale Wahrscheinlichkeiten einer gegebenen Stadt können dann Ergebnisse aus bereits von uns oder zukünftig von der Community bereitgestellten Modellen bestimmter Städte durch eine Interpolation generierter Modelle zusammengeführt werden (Stable Diffusion-Architektur und Spherical Linear Interpolation).

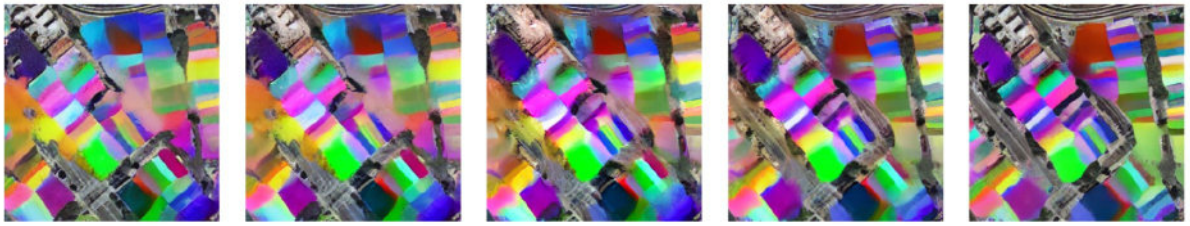


Abbildung 4: Bild-Interpolation der Ergebnisse mehrerer Modelle zur bestmöglichen Annäherung an einen unbekannten Kontext

Schließlich können die generierten visuellen Ergebnisse wieder in vektorbasierte Planungsdaten umgewandelt werden.

Im Rahmen der Förderung konnten wir bereits mehrere umfassende KI-Modelle erstellen. Aufgrund der guten Datenverfügbarkeit wählten wir zunächst vier US-amerikanische Städte (Boston, Charlotte, Manhattan, Pittsburgh) entsprechend

unterschiedlicher Entropie-Charakteristika. Um über diesen Piloten hinaus zukünftig eine größere Bandbreite an Kontexten bereitstellen zu können, gilt es nun, eine Vielfalt von internationalen Modellen hinzuzufügen. Die Stadt-Modelle wurden mit je 20.000 Bildpaaren auf 500 Epochs auf einem Supercomputer-Cluster über mehrere Monate hinweg trainiert. Die vier Modelle—sowie ein weiteres kombiniertes Modell mit Input aller vier vorgenannten Städte (je 5.000 Bildpaare) —stellen wir über Hugging Face (s. Link unten) offen zur Verfügung. Das erlaubt einen einfacheren Zugang für Nutzer*innen mit weniger Hintergrundwissen oder begrenzten Computerressourcen.

Zielgruppe, Nutzen und mögliche Weiterentwicklungen

Unsere Anwendung ermöglicht es Anwohner*innen, Planer*innen, NGOs und weiteren Interessensgruppen, gemeinsam Katasterkarten zu erstellen, um effektive und faire Maßnahmen im Kontext von Landbesitz zu schaffen. Wir möchten so z.B. die Bereitstellung von Abwasser- und Wasserinfrastruktur in möglichst vielen Gemeinden in Subsahara-Afrika unterstützen. Unsere Anwendung zielt darauf ab, den lokalen und kulturellen Kontext zu respektieren und so die Zugänglichkeit unserer Arbeit zu gewährleisten—um die Bedürfnisse und Wünsche der entsprechenden Gemeinschaften stärken zu können.

Konkrete Use-case sind geplant in Südafrika und Sierra-Leone. Für die Anwendung vor Ort entwickeln wir eine webbasierte Echtzeit-Komponente für partizipative Prozesse mit Anwohner*innen. Die mit unserer offenen Software-Bibliothek erstellten Katasterdaten dienen hierbei als Grundlage und ermöglichen eine fundierte Diskussionsgrundlage für Abstimmung und Anpassung von Grundstücks-, damit verbundenen Besitzgrenzen und resultierenden Infrastrukturmaßnahmen. Diesen Gesamtprozess wollen wir zeitnah mit bestehenden Partnerorganisationen vor Ort in der Praxis testen. Zudem konnten im Rahmen der Förderung durch andere Teilnehmer*innen weitere Kontakte mit NGOs in Subsahara-Afrika und somit für entsprechende Anwendungen in geknüpft werden.

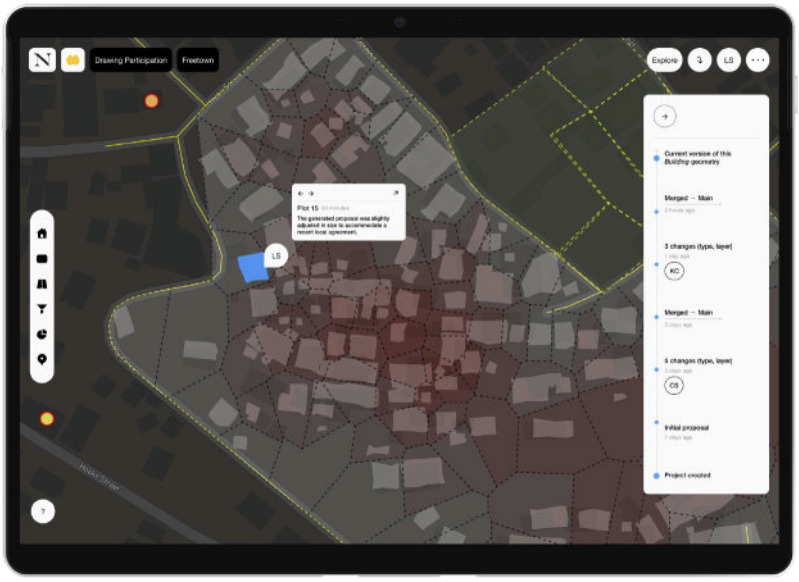


Abbildung 5: Interface-Entwurf für die Webanwendung für den Echtzeit-Beteiligungsprozess

Kurze Darstellung der Arbeiten, die zu keiner Lösung geführt haben

Alle zu Beginn geplanten Meilensteine und Kernaspekte des Projekts konnten erfolgreich umgesetzt werden. Der Entwicklungsprozess war durchweg iterativ und hatte aufgrund der technischen Komplexität entsprechend viele Fehlversuche. Vor allem die Neuartigkeit des Ensemble-Ansatzes für das vorgestellte Anwendungsfeld kostete uns viel Zeit. Letztendlich schien sich hier z.B. ein Stable Diffusion-Ansatz als effektiver zu erweisen als der zunächst als optimal vermutete Variational Auto-Encoder. Wir testeten unterschiedliche Stable Diffusion Modelle (2.0, 2.1, XL) sowie minDall-E und Taming Transformers für die Bildinterpolation und -synthese. Die besten Ergebnisse konnten wir mit einem bereits trainierten SD-Modell der Version 1.5 erreichen, die anderen Optionen waren zu ressourcenintensiv, v.a. angesichts unseres Ziels das Projekt soweit wie möglich für Edge-Computing und eine perspektivische Webanwendung zu optimieren. Für den Image-to-Image-Prozess erreichten wir die besten Ergebnisse mit Pix2pix; CycleGAN erwies sich ebenfalls als eher rechenintensiv, könnte jedoch als Alternative verwendet werden. Allgemein streben wir jedoch v.a. aufgrund der rasanten Entwicklung in dem Feld einen modell-agnostischen Ansatz an, der uns erlaubt, zukünftig modular mit neuen KI-Modellen zu arbeiten und die Anwendung so flexibel erweitern und verbessern zu können. Dasselbe gilt für die Bereitstellung der für den Trainingsprozess verwendeten Satellitendaten. Hier können modular unterschiedliche Anbieter per API angesteuert werden (NASA, Planet, Mapbox, etc.). Die besten Ergebnisse in Bezug auf Auflösung und Workflow konnten wir mit Mapbox erreichen, jedoch muss hier eine monatliche Limitierung der kostenfreien Schnittstelle eingehalten werden.

Kurze Angabe von Präsentationsmöglichkeiten für mögliche Nutzer

- https://drawing-participation.org/
- https://github.com/scalable-design-participation-lab/drawing-participation-reblocking
- https://huggingface.co/scalable-design-participation-lab/building-to-parcel
- mail@drawing-participation.org

Kurze Erläuterung zur Einhaltung der Arbeits- und Kostenplanung

Wie oben beschrieben, führte vor allem die Arbeit an Schritt 3 (Ensemble Learning) unserer Software aufgrund der Komplexität bzw. des Innovationsgrades zu einem gewissen Mehraufwand und somit zu einer (verwertbaren) Überschreitung der ursprünglich veranschlagten Arbeitsstunden. Dies wurde jedoch gemeinsam mit dem erweiterten Team abgefangen und resultierte letztendlich in einem zufriedenstellenden Gesamtergebnis.

Kurze Darstellung von etwaigen Ergebnissen bei anderen Stellen

Das Projekt baut auf Forschungsergebnissen der Universität Chicago auf und schlägt einen neuartigen Ansatz in Ergänzung bzw. als Alternative zu bestehenden Voronoi-Methodiken vor. Ein vergleichbarer Ansatz, der sich die zahlreichen neuen Möglichkeiten von generativer KI zunutze macht, ist uns nicht bekannt.