

Entwicklung einer neuen Schnittstelle für Mensch-Maschinen-Interaktion im Kontext raumbezogener partizipativer Prozesse

Development of a New Interface for Human-machine Interaction in the Context of Spatial Participatory Processes

Thomas Schauppenlehner¹, Christoph Graf, Barbara Latosinska, Moritz Roth

¹Universität für Bodenkultur, Wien · thomas.schauppenlehner@boku.ac.at

Zusammenfassung: Digitale Karten und Informationstechnologien sind zu zentralen Elementen in partizipativen Planungs- und Lernprozessen geworden. Die zur Verfügung stehenden Eingabegeräte sind aber nicht für alle Teilnehmerinnen und Teilnehmer solcher Prozesse gleichermaßen nutzbar und können gruppendynamische Ansätze behindern. Im Rahmen partizipativer Workshops zur Entwicklung regionaler Ausbauziele für erneuerbare Energie wurde ein neuer Ansatz für Mensch-Maschinen-Interaktionen (MMI) entwickelt und getestet. Durch Objekterkennung in einem Echtzeit-Videostream können physische Spielsteine genutzt werden, um auf einem interaktiven GIS-basierten Spielbrett gemeinsame Ausbauszenarien für erneuerbare Energie zu entwickeln. Die Technologie wurde in Workshops getestet und kann durch die Verwendung freier Daten und Open-Source-Software für viele raumbezogene partizipative Planungs- und Lernprozesse angewendet werden.

Schlüsselwörter: Mensch-Maschinen-Interaktion, Objekterkennung, OpenCV, spiele-basiert, partizipative Prozesse und Lernumgebungen

Abstract: Digital maps and information technologies have become central elements in participatory planning and learning processes. However, the input devices available for this purpose cannot be used equally by all participants in such processes and can impede dynamic group processes. A new technology for human-machine interaction has been developed and tested for participatory workshops on the development of regional expansion targets for renewable energy. By means of object recognition by evaluating a real-time video stream, simple physical game tokens can be used to develop regional renewable energy futures on an interactive GIS-based game board. The technology has been tested in workshops and can be applied to many spatial participatory planning and learning processes by using free data and open source software.

Keywords: Human-machine-interaction, object detection, OpenCV, game-based, participatory processes, learning environment

1 Einleitung

Partizipative Planungs- und Lernprozesse nutzen häufig Geographische Informationssysteme (GIS) und profitieren vom Einsatz digitaler Karten- und Informationstechnologien. Gängige Eingabemöglichkeiten, wie Tastatur und Maus, können hier jedoch Zugangsbarrieren darstellen und so Diskussions- und Arbeitsprozesse behindern. Mensch-Maschinen Interaktion (MMI), ein Forschungsfeld, das die Interaktion zwischen Mensch und Computer untersucht und sich mit dem Verständnis der Beziehung zwischen Mensch und neu entstehender Technologie befasst (Pargman et al., 2019) ist daher gefordert, solche Barrieren abzubauen, um Gruppenprozesse mit Technologieunterstützung bestmöglich zu gestalten.

Neben der Sprache sind Gesten wichtige Kommunikationsmittel in der physischen Welt. In der Auseinandersetzung mit Karten heißt dies, wir zeigen auf Orte, markieren diese und formulieren Argumente (Krisch, 2009). Eine Digitalisierung erfolgt dann meist ex post durch Abfotografieren oder Scannen oder manuelles Eingeben in Informationssysteme. Digitalisierung und Auswertung kann mithilfe von Videoaufzeichnungen und Objekterkennungsverfahren (Stüße & Rodner, 2014) aber auch in Echtzeit erfolgen und so zu einer unmittelbaren Interaktion zwischen Menschen und einem, den Prozess unterstützenden, Computer führen.

Objekterkennung ist weitverbreitet in Fernerkundung und GIS-Anwendungen (Dragut et al., 2009) um Elemente in Luft- und Satellitenbildern zu identifizieren oder Klassifizierungen durchzuführen (Blaschke, 2010). Mit Machine Learning und Deep-Learning-Ansätzen können mittlerweile auch performante Anwendungen zur Auswertung von Videodaten in Echtzeit entwickelt werden (Anandhalli & Baligar, 2018).

Dieser Artikel präsentiert die Entwicklung eines Ansatzes für MMI in kollaborativen Gruppenprozessen im Kontext des Ausbaus erneuerbarer Energie mithilfe von Echtzeit-Objekterkennung physischer Elemente auf einer interaktiven Karte. Damit sollen soziale Prozesse durch Computer-Integration unterstützt und verbessert werden. Besonders im Bereich des sehr emotional diskutierten Ausbaus erneuerbarer Energie kann so, über entsprechende Formen der Partizipation, ein Beitrag zur Steigerung der sozialen Akzeptanz geleistet werden. Folgende Fragen stehen dabei im Zentrum:

- Wie muss MMI gestaltet werden, um räumliche Fragestellungen im Kontext des Ausbaus erneuerbarer Energie in partizipativen Gruppenprozessen zu unterstützen?
- Welche Technologien stehen zur Verfügung?
- Welche Potenziale ergeben sich durch Open-Source-(OS-)Software und freie Geodaten?

In der Diskussion der im Rahmen von Workshops zum regionalen Ausbau erneuerbarer Energie getestete Ansatz reflektiert und hinsichtlich weiterer Einsatzbereiche diskutiert.

2 Projekthintergrund

Die hier vorgestellte Arbeit ist Teil des transdisziplinären Forschungsprojekts *ReTour: Soziale Akzeptanz zukünftiger Photovoltaik- und Windenergieszenarien in österreichischen Tourismusregionen* welches mögliche Ausbauvarianten für erneuerbare Energie (Windturbinen und Freiflächen-Photovoltaik) in österreichischen Tourismusregionen hinsichtlich ihrer sozialen Akzeptanz untersucht. Basierend auf einem Mixed-Method-Ansatz (Schoonenboom & Johnson, 2017) werden räumlich explizite Modellierungen mit Fokusgruppen, Conjoint Befragungen und kollaborativen Planungsmethoden kombiniert um einen Beitrag zu transparenteren Verfahren und höherer sozialer Akzeptanz (Wüstenhagen et al., 2007) im Kontext des Ausbaus erneuerbarer Energie zu leisten. Ein zentraler Projektbaustein ist die Entwicklung regionaler Ausbauszenarien für erneuerbare Energie, die in drei österreichischen Tourismusregionen im Rahmen von insgesamt 6 Fallstudienworkshops mit Schülerinnen und Schülern sowie regionalen Stakeholdern erarbeitet wurden. Dabei werden nationale Ausbauziele (BMNT & BMVIT, 2018) auf regionale Potenziale heruntergebrochen und hinsichtlich möglicher Ausbauvarianten durchgespielt. Um dabei von Technologien in Form von interaktiven Karten, Auswertungen und Visualisierungen zu profitieren, ohne durch ständige Computer-Interaktionen den Diskussions- und Aushandlungsprozess zu stören, wurde eine neue Form der MMI entwickelt.

3 Daten und Methoden

Ausgehend von PPGIS-Projekten und Planspielen, bei denen vorwiegend mit analogen Karten gearbeitet wird, soll der methodische Rahmen für eine Transformation dieses Ansatzes in die digitale Welt entwickelt und getestet werden. Das Konzept basiert auf der Nutzung physischer Spielsteine (Lego®), die auf einem interaktiven GIS-basierten Spielbrett platziert und mittel Objekterkennung in Befehle und Kartenoperationen übersetzt werden.

3.1 Technische Konstruktion und Aufbau

Der Idee eines Spiels folgend, wurde für die Projektion des Spielbretts auf einen Tisch eine Überkopf-Aufhängung für Beamer und Kamera entwickelt. Diese wird im Zentrum eines, bis auf etwa 3 m ausfahrbaren dreibeinigen Stativs vertikal montiert (siehe Abb. 1).



Abb. 1: Links: Aufbau des Stativs Mitte: Spielbrett zum Setzen der Spielsteine; rechts: Gesamtansicht des Spielbretts mit einem Ausbauszenario

Der Beamer projiziert auf den darunter positionierten Tisch und die Kamera, nimmt den Spielbereich für die Identifikation der Spielsteine auf. Für die Workshops mit 8-15 Personen wurde eine Spielbrettgröße zwischen A1 und A0 angestrebt, was bei normalen Raumhöhen (2,5 m) gut erreicht werden kann. Sind Räume höher, sind entsprechend größere Spielbretter projizierbar. Jedoch nimmt, durch das Gesetz der Lichtabnahme (Brownson, 2014), die Lichtstärke der Projektion invers zum Quadrat der Distanz ab. Abhängig von der verwendeten Kamertechnik steigt damit auch die Fehlerquote bei der Objekterkennung. Im Testaufbau wurde die Kamera Intel Realsense D435 mit einer Auflösung von 1280×720 verwendet, mit der die Objekterkennung unter verschiedenen Bedingungen sehr gut funktioniert hat.

3.2 Datenquellen

Vor dem Hintergrund der Bearbeitung räumlicher Fragestellungen ist eine interaktive Kartenrepräsentation der zentrale Baustein für die Interaktion zwischen Mensch und Maschine. Da die Verfügbarkeit freier Geodaten in den vergangenen Jahren massiv zugenommen (Schauppenlehner & Muhar, 2018) können daraus Karten mit hoher Informationsdichte erstellt werden. Für die Karte des Spielbretts wurden die nachfolgenden Daten aufbereitet.

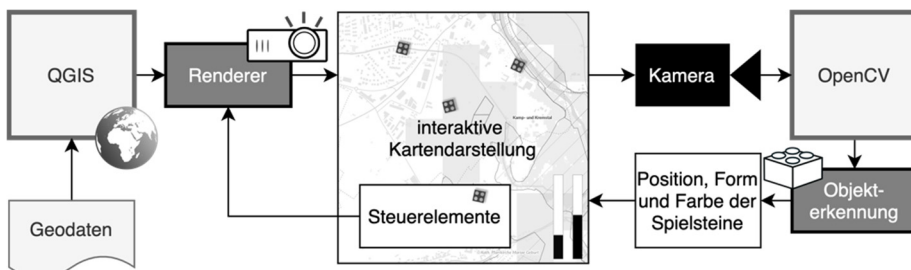
Tabelle 1: Datenquellen und deren Verwendung im Projekt

Datensatz	Raumbezug	Jahr	Quelle	Verwendung
Höhenmodell	Österreich	2015	Geoland.at, Bundesländer	Schummerungsdarstellung
Sentinel-2 Bodenbedeckung	Österreich	2016	Umweltbundesamt GmbH	Strukturierung land- und forstwirtschaftlicher Gebiete
EU-Hydro	Europa	2018	EEA	Gewässernetz
OSM-Daten	Global	2018	OpenStreetMap	Gebäude, Siedlungen, Stromnetz, lokale Namen
Straßengraph	Österreich	2018	GIP.at	Straßennetz

3.3 Software

Für den Aufbau der Schnittstelle sind mehrerer Programmkomponenten nötig, die neben der Beherrschung der jeweiligen Basisfunktionalitäten (GIS und Objekterkennung) auch interaktiv verknüpft werden müssen (siehe Abb. 2). Die Kartenerstellung und Generierung des Spielbretts erfolgt mit QGIS (Islam et al., 2019), das im Bereich der Kartografie sehr umfangreiche Methoden und Werkzeuge anbietet (Graser & Peterson, 2018). Für die Erkennung der Spielsteine wird OpenCV (Open Source Computer Vision Library) genutzt, hinter der eine sehr große und aktive Community steht die von etablierten Unternehmen, Start-ups und Wissenschaftlern unterstützt wird (Puri & Jain, 2019; Xie & Lu, 2013).

Ein QGIS-Plug-in rendert dynamisch den Kartenausschnitt, der von einer Kamera aufgezeichnet wird. Die Aufnahmen der Kamera werden mit OpenCV ausgewertet und als Signaturen oder Kartenbefehle an den Renderer zurückgegeben. Abbildung 2 zeigt das Zusammenspiel, die Schnittstellen zwischen den einzelnen Programmkomponenten.

**Abb. 2:** Schnittstellen zwischen QGIS und OpenCV

Wegen geringer Entwicklungskosten (McConnell, 2004) und weiter Verbreitung im Bereich Geoinformatik und Computer Vision wird Python 3 als Programmiersprache verwendet. Der Prototyp quelloffen über GitHub zur Verfügung gestellt¹.

¹ Siehe <https://github.com/boku-ilen/landscapelab-lego>

3.4 Methoden für Softwaretests und Evaluierung

Während der Entwicklung wurden regelmäßige interne Tests, mit Fokus auf Validität und Flüssigkeit der Objekterkennung, sowie Kartenlesbarkeit unter verschiedenen Außenbedingungen (Kartengröße, Lichtverhältnisse), durchgeführt. Dabei auftretende Fehler wurden in einem GitHub-Repository gesammelt und strukturiert abgearbeitet.

Anschließend wurde der Prototyp in insgesamt 6 Workshops in 3 Fallstudienregionen (siehe Kapitel 2) getestet und evaluiert. Die Evaluierung erfolgte methodisch als teilnehmende Beobachtung. Ergänzend wurde eine abschließende Evaluierung mit einer Stakeholdergruppe aus dem Bereich Energie, Umweltschutz und Planung durchgeführt.

4 Ergebnisse

Ausgehend von den ausgewählten Methoden, Daten und Softwarepaketen wurde ein neuer MMI-Ansatz basierend auf automatischer Erkennung physischer Objekte für die Durchführung räumlich-expliziter Planspiele im Kontext des regionalen Ausbaus erneuerbarer Energie entwickelt und getestet. Die hier vorgestellten Ergebnisse fokussieren auf den Aufbau und die Gestaltung des Spielbretts für diesen Zweck, die Spielmechanik und Objekterkennung sowie die Evaluierung des Ansatzes.

4.1 Aufbau und Gestaltung des Spielbretts

Die interaktive, GIS-basierte Kartendarstellung bildet als Projektion auf eine physische Oberfläche die Schnittstelle für die MMI und muss zwei Dimensionen bedienen: Eine menschliche Dimension, indem alle wesentlichen Elemente für die Orientierung und Navigation auf der Karte zielgruppen-unabhängig aufbereitet verfügbar sind sowie eine technische Dimension, die darauf abzielt, dass die Objekterkennung einwandfrei funktioniert und nicht durch Überlagerungen mit projizierten Kartenelementen und Signaturen beeinträchtigt wird.

Da die Workshops in Regionen mit einer Ausdehnung von ca. 30×30 km stattfanden, musste während des Spiels ein schneller Wechsel zwischen verschiedenen Kartenmaßstäben am Spielbrett möglich sein. Das setzt entsprechende Orientierungs- und Navigationsfertigkeiten der Teilnehmerinnen und Teilnehmer voraus.

In vorgelagerten Tests mit dem Projektteam zeigte sich, dass vor allem in sehr infrastrukturalarmen, ländlichen Regionen und im großmaßstäblichen Bereich das Orientieren schwierig ist, da entsprechende räumliche Merkmale (z. B. Siedlungen, Straßenverläufe und Kreuzungen etc.) nicht in einer ausreichenden Dichte vorhanden sind.

Für die großmaßstäbliche Darstellung wurden daher neben Höhenmodell, Straßen- und Gewässernetz sowie Landbedeckung auch noch Einzelgebäude, Wanderwege und Forststraßen und lokale Ortsangaben für Almen, Hütte und Bauernhöfe eingefügt (aus OpenStreetMap-Daten). Damit konnte die Orientierung deutlich verbessert werden (siehe Abb. 3).

Die Berücksichtigung der technischen Dimension erfordert eine sorgfältige Auswahl der Kartenfarben, um Fehler in der Farberkennung durch Farbüberlagerung zu verhindern. Die Karte ist daher sehr kontrastarm und hell gehalten, um Fehlerkennungen zu vermeiden. Dazu wurden laufend Tests mit verschiedenen Kontrast- und Farbstufen durchgeführt.



Abb. 3: Ein Vergleich zwischen der regionalen Darstellung (links) zur Navigation und Orientierung und der großmaßstäblichen Ansicht (rechts) zur detaillierten Planung (die originale Karte verwendet Farben). Links sind auch die Bedienelemente für die Navigation zu sehen.

4.1.1 Bedienelemente

Hinsichtlich der Gestaltung und Platzierung der Bedienelemente wurde auf die Einhaltung eines benutzer-zentriertes Designs (Weidig & Aurich, 2015) geachtet, um eine intuitive und für verschiedene Zielgruppen gleichermaßen bedienbare Benutzeroberfläche zu gestalten. Grafisch wurden sprechende Symbole in ausreichender Größe als virtuelle Buttons implementiert (siehe Abb. 3, links), die in mehreren internen Testläufen hinsichtlich Gestaltung, Bedienlogik und Reaktionsgeschwindigkeit mit Usability Tests (Sarodnick & Brau, 2015) getestet wurden. Bei den Workshops zeigten sich keine nennenswerten Probleme im Umgang mit diesen Steuerelementen.

4.2 Spielmechanik und Objekterkennung

Windräder und Photovoltaikanlagen können hinzugefügt werden, indem physische Spielsteine auf die Karte gelegt werden. Für Windräder werden blaue und für die Photovoltaikanlagen rote Spielsteine verwendet. Durch die Berücksichtigung von 2 Spielsteingrößen (Lego® 2×2 und Lego® 2×4) sind für die Photovoltaikanlagen auch zwei Anlagengrößen auswählbar. Die Karte zeigt entsprechende Eignungsflächen für Windradstandorte und Freiflächen-Photovoltaik. Außerhalb dieser Zonen werden die Spielsteine als ungültig markiert. Für jeden validen Spielstein wird ein entsprechender Energiewert zur bereits erreichten Gesamtproduktion in der jeweiligen Kategorie addiert und in einem Summenbalken am Spielbrett angezeigt.

4.3 Objekterkennung und -klassifikation

Mit dem Canny-Algorithmus (Canny, 1986) können die Spielsteine zuverlässig erkannt werden. Alternativ wurde noch der „Template Matching“ Ansatz (Brunelli, 2009) getestet, dieser wurde aber aufgrund zu vieler falsch positiv erkannter Spielsteine verworfen. Der Canny-Algorithmus wurde in internen Tests unter verschiedenen Bedingungen (externe Lichtverhältnisse, Farbtemperaturen der Projektion und Spielbrettgröße) getestet und entsprechend der Erkennungsrate iterativ modifiziert und verbessert. Als Ergebnis der Operation werden die jeweiligen Außenkonturen der identifizierten Objekte zurückgegeben.

Für die anschließende Formenklassifikation der Konturen werden diese generalisiert (Douglas & Peucker, 1973) sowie das Seitenverhältnis ermittelt, um Spielsteine mit quadratischer (Lego® 2×2) und rechteckiger Form (Lego® 2×4) zu differenzieren.

Die Formenklassifikation funktioniert sehr zuverlässig. Einzelne Fehler treten vorwiegend in den Randbereichen der Projektion durch die einsetzende perspektivische Verzerrung auf. Durch geringfügiges Drehen der betroffenen Spielsteine kann dieser Klassifikationsfehler aber sehr einfach behoben werden. Daran anschließend wird die Spielsteinfarbe als weitere Unterscheidungskategorie ermittelt. Dazu werden die Pixel im Kernbereich (25 %) des Begrenzungsrahmens (Bounding-Box) einer Kontur herangezogen und im HSV-Farbsystem hinsichtlich ihres Farbwertes analysiert (siehe Abb. 4). Pixel, die eine, für eine zuverlässige Farbzusammenfassung, zu geringe Sättigung aufweisen (geringer als 39 %) werden ausgeschlossen.

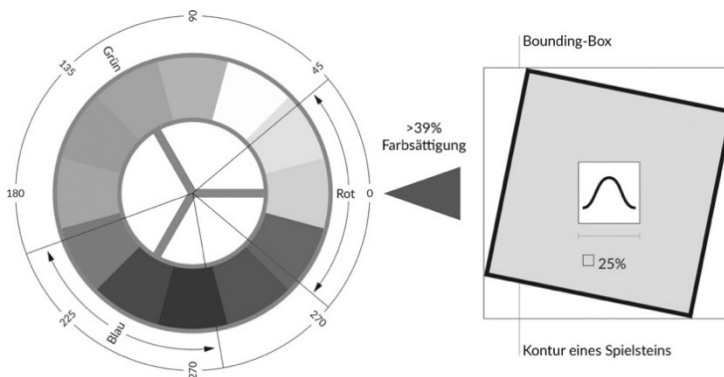


Abb. 4: Links: HSV-Farbrad von 0-360° und der Lage der triadischen Farbkombination Rot, Grün und Blau; rechts: 25 % Bereich der Bounding-Box für die Identifikation der Spielstein-Farbe durch Bildung eines Farbhistogramms

Die, für das Projekt relevanten, Farben Rot und Blau wurden in allen Testumgebungen fehlerfrei erkannt.

4.4 Evaluierung der Schnittstelle in den Workshops

Der entwickelte MMI-Ansatz wurde in den Workshops durch teilnehmende Beobachtung unter Betrachtung mehrerer Aspekte evaluiert: Barrieren bei der Nutzung der Schnittstelle (1), Orientierung auf der Karte (2) sowie Unterstützung des Planungsprozesses (3).

- (1) Die Workshops starteten mit einem kurzen Input über Ablauf und Ziele. Das MMI wurde unmittelbar vor Spielbeginn direkt am Spielbrett vorgestellt. Um anfängliche Zurückhaltung zu verhindern, wurde zu Beginn gewürfelt. Das Setzen der Spielsteine funktionierte bei allen Workshops fehlerfrei und erzeugte einen dynamischen und im Sinne des Gruppenprozesses angeregten Spielfluss. Nur in sehr wenige Fällen kam es zu Fehlerkennungen (vorwiegend, weil Spielsteine direkt aneinandergereiht wurden und so aus dem Erkennungsschema fielen). Durch die begleitende Moderation und Hilfe konnten diese Fehlbedienungen aber problemlos beseitigt werden.

- (2) Bei der Kartenorientierung gab es Unterschiede zwischen Schülerinnen und Schüler und regionalen Stakeholdern. Den Jugendlichen fehlte vielfach eine umfassendere Regionalkennntnis, sie kannten sich oft nur im Bereich ihres persönlichen Lebensumfelds (Wohnort, Schulort) aus. Damit konzentrierten sich entsprechende Planungsvorschläge bei Schülerinnen und Schülern vorwiegend auf diese bekannten Räume.
- (3) Das Thema erneuerbare Energie wird oft kontrovers und emotional diskutiert, was sich in den Workshops durch teils sehr drastische Eingangsstatements gezeigt hat. Im Workshopverlauf war aber zu beobachten, dass die Arbeit am Spielbrett überwiegend konsensuell und ergebnisoffen war. Sehr hilfreich war dabei das unmittelbare Feedback auf gesetzte Aktionen in Form einer Statistik über den jeweiligen Beitrag zur Zielerreichung.

Die qualitative Evaluierung zeigte, dass sich die Schnittstelle gut im Kontext der Einbindung von Planungslaien in die Entwicklung regionaler Energieausbauszenarien eignet. Diese Einschätzung wird auch durch eine projekt-begleitende Stakeholdergruppe aus dem Bereich Energie, Umweltschutz und Planung bestätigt, weil das „gemeinsame Tun“ gefördert wird. Es wird in diesem Kontext auch ein Potenzial für eine Objektivierung emotional aufgeladener Themen sowie Aktivierungspotenzial für die Einbindung Jugendlicher – eine Zielgruppe, die in Planungsprozessen häufig nicht oder nur unzureichend berücksichtigt wird – gesehen.

5 Zusammenfassung und Diskussion

Die hier vorgestellte Methode einer MMI nutzt Echtzeit-Objekterkennung, um Ereignisse auf einem interaktiven, GIS-basierten Spielbrett im Rahmen eines Planspiels zu identifizieren und in entsprechende Computeraktionen zu übersetzen. Physische Spielsteine repräsentieren dabei, abhängig von Form und Farbe, Windräder oder Photovoltaikanlagen auf einer Karte, oder führen Befehle für die Karten-Navigation aus. Die Beobachtungen aus den Workshops belegen eine große Zustimmung sowie einen überwiegend problemlosen Umgang mit dieser Form der MMI. Der Ansatz zeigt, dass Objekterkennung erfolgreich für die Interaktion zwischen Mensch und Computer in raumbezogenen partizipativen Planungs- und Lernprozessen eingesetzt werden kann. Freie Geodaten und Open-Source-Software haben ausreichend Potenzial für die Umsetzung dieses Vorhabens, womit auch ein Einsatz in Projekten mit geringer Budgetausstattung möglich ist. Der Low-Cost-Ansatz wurde auch betreffend die Hardwareanforderung berücksichtigt. Trotz der Nutzung handelsüblicher und damit kostengünstiger Geräte (Beamer, Web-Kamera) konnte eine sehr hohe Qualität, Genauigkeit und Performanz erzielt werden kann.

Hinsichtlich des Erweiterungspotenzials sind zusätzliche Farben oder Spielsteingrößen denkbar. Neben Blau und Rot wäre die Farbe Grün eine sinnvolle Erweiterungsoption. Darüber hinaus gehende Farbunterscheidungen sind zwar technisch problemlos implementierbar, eine zuverlässige und fehlerfreie Farbklassifikation setzt dann aber eine Standardisierung des Weißabgleichs und der externen Lichtverhältnisse voraus. Hier ist also eine Laborumgebung sinnvoll, in der diese Parameter kontrolliert werden können. Ebenso können weitere Spielsteingrößen oder andere Formen integriert werden, zu beachten ist aber, dass mit der zunehmenden Fülle an Möglichkeiten auch die Komplexität steigt und so wieder Nutzungsbarrieren entstehen können.

Die entwickelte Schnittstelle forciert einen kollaborativen und spielerischen Zugang zu einem räumlichen Planungs- oder Lerngegenstand und fördert so eine intensive gruppenspezifische

Auseinandersetzung, was besonders bei emotional besetzten Themen wie dem Ausbau erneuerbarer Energie (Pegels & Lütkenhorst, 2014) eine neue Qualität bedeutet.

Danksagung

Diese Arbeit ist Teil des Projektes „ReTour – Soziale Akzeptanz zukünftiger Photovoltaik- und Windenergieszenarien in österreichischen Tourismusregionen“ und wird vom Österreichischen Klima- und Energiefonds im Rahmen des Austrian Climate Research Program (ACRP) gefördert (Projekt: KR17AC0K13808). Christoph Graf hat als Entwickler zur technischen Beschreibung beigetragen. Die Autoren bedanken sich bei den Software-Entwicklern Karl Bittner und Mathias Baumgartinger-Seiringer für ihre Beiträge zur Entwicklung.

Literatur

- Anandhalli, M., & Baligar, V. P. (2018). A novel approach in real-time vehicle detection and tracking using Raspberry Pi. *Alexandria Engineering Journal*, 57, 1597–1607. Retrieved Jan 25, 2020, from <https://doi.org/10.1016/j.aej.2017.06.008>.
- Blaschke, T. (2010). Object based image analysis for remote sensing. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 65, 2–16. Retrieved Jan 25, 2020, from <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2009.06.004>.
- Brownson, J. R. S. (2014). Chapter 03 – Laws of Light. In: Brownson, J. R. S. (Ed.), *Solar Energy Conversion Systems*. Academic Press, Boston (pp. 41–66). Retrieved Jan 25, 2020, from <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-397021-3.00003-X>.
- Brunelli, R. (2009). *Template matching techniques in computer vision: Theory and practice*. Wiley, Chichester, U. K.
- BMNT & BMVIT (2018). *#mission2030: Die Klima- und Energiestrategie der Österreichischen Bundesregierung*. Wien.
- Canny, J. (1986). A computational approach to edge detection. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 8, 679–698. Retrieved Jan 25, 2020, from <https://doi.ieeecomputersociety.org/10.1109/TPAMI.1986.4767851>.
- Douglas, D. H., & Peucker, T. K. (1973). Algorithms for the reduction of the number of points required to represent a digitized line or its caricature. *Cartographica: The International Journal for Geographic Information and Geovisualization*, 10, 112–122. Retrieved Jan 25, 2020, from <https://doi.org/10.3138/FM57-6770-U75U-7727>.
- Dragut, L., Schauppenlehner, T., Muhar, A., Strobl, J., & Blaschke, T. (2009). Optimization of scale and parametrization for terrain segmentation: An application to soil-landscape modeling. *Computers & Geosciences*, 35, 1875–1883. Retrieved Jan 25, 2020, from <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2008.10.008>.
- Graser, A., & Peterson, G. N. (2018). *QGIS Map Design*. (2nd Ed.). Chugiak: Locate.
- Islam, S., Miles, S., Menke, G., Jr, G. S., Pirelli, L., & Hoesen, G.V. (2019). *Mastering Geospatial Development with QGIS 3.x: An in-depth guide to becoming proficient in spatial data analysis using QGIS 3.4 and 3.6 with Python*. (3rd Ed.). Birmingham: Packt.
- Krisch, R. (2009). *Sozialräumliche Methodik der Jugendarbeit. Aktivierende Zugänge und praxisleitende Verfahren*. Weinheim/München: Juventa.

- McConnell, S. (2004). *Code Complete: A Practical Handbook of Software Construction*. (2nd Ed.). Redmond, Wash: Microsoft.
- OpenCV Team (2020). *Open Source Computer Vision Library*. Retrieved Jan 25, 2020, from <https://opencv.org/about/>.
- Pargman, D. S., Eriksson, E., Bates, O., Kirman, B., Comber, R., Hedman, A., & van den Broeck, M. (2019). The future of computing and wisdom: Insights from Human – Computer Interaction. *Futures*, *113*, 102434, 1–10. Retrieved April 10, 2020, from <https://doi.org/10.1016/j.futures.2019.06.006>.
- Pegels, A., & Lütkenhorst, W. (2014). Is Germany's energy transition a case of successful green industrial policy? Contrasting wind and solar PV. *Energy Policy*, *74*, 522–534. Retrieved Jan 25, 2020, from <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.06.031>.
- Puri, R., & Jain, V. (2019). Barcode Detection using OpenCV-Python. *International Research Journal of Advanced Engineering and Science*, (4). Retrieved Jan 25, 2020, from <https://doi.org/10.5281/zenodo.2556728>.
- Sarodnick, F., & Brau, H. (2015). *Methoden der Usability Evaluation: Wissenschaftliche Grundlagen und praktische Anwendung*. Bern: Hogrefe.
- Schauppenlehner, T., Lux, K., & Graf, C. (2019). Effiziente großflächige interaktive Landschaftsvisualisierungen im Kontext des Ausbaus erneuerbarer Energie – das Potenzial freier Geodaten für die Entwicklung interaktiver 3D-Visualisierungen. *AGIT Journal für Angewandte Geoinformatik*, 5-2019, 172–182. Retrieved Jan 25, 2020, from <https://www.doi.org/10.14627/537669016>.
- Schauppenlehner, T., & Muhar, A. (2018). Theoretical Availability versus Practical Accessibility: The Critical Role of Metadata Management in Open Data Portals. *Sustainability*, *10*, 545. Retrieved Jan 25, 2020, from <https://doi.org/10.3390/su10020545>.
- Schoonenboom, J., & Johnson, R. B. (2017). How to Construct a Mixed Methods Research Design. *Köln Z Soziol*, *69*, 107–131. Retrieved Jan 25, 2020, from <https://doi.org/10.1007/s11577-017-0454-1>.
- Süße, H., & Rodner, E. (2014). *Bildverarbeitung und Objekterkennung: Computer Vision in Industrie und Medizin*. Berlin/Heidelberg: Springer.
- Weidig, C., & Aurich, J. C. (2015). Systematic Development of Mobile AR-applications, Special Focus on User Participation. *Procedia CIRP*, *28*, 155–160. Retrieved Jan 25, 2020, from <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.04.026>.
- Wüstenhagen, R., Wolsink, M., & Bürer, M. J. (2007). Social acceptance of renewable energy innovation: An introduction to the concept. *Energy Policy*, *35*, 2683–2691. Retrieved Jan 25, 2020, from <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2006.12.001>.
- Xie, G., & Lu, W. (2013). Image Edge Detection Based On Opencv. *IJEEE*, (1), 104–106. Retrieved Jan 25, 2020, from <https://doi.org/10.12720/ijeee.1.2.104-106>.