

# A Novel Approach to the Routing Problem of Overhead Transmission Lines

NADINE PIVETEAU<sup>1</sup>, JORAM SCHITO<sup>2</sup>, MARTIN RAUBAL<sup>2</sup> & ROBERT WEIBEL<sup>1</sup>

*Zusammenfassung: Obwohl das Stromnetz in Europa veraltet ist und dringend ausgebaut werden sollte, schreitet dessen Modernisierung nur langsam voran. In dieser Masterarbeit wird ein neuer Ansatz zur Modellierung der optimalen Trasse für Übertragungsleitungen vorgestellt, um den Planungs- und Bewilligungsprozess zu beschleunigen. Im Gegensatz zu bisherigen Forschungsarbeiten werden dabei nicht nur raumplanerische und umwelt- sowie landschaftsbezogene Aspekte, sondern auch technische Kriterien berücksichtigt. Der neue Ansatz wurde in einem gebirgigen Untersuchungsgebiet zwischen zwei Schweizer Ortschaften getestet und einer standardmäßig eingesetzten Methode gegenübergestellt. Die Ergebnisse haben ergeben, dass der neue Ansatz zur Trassenbestimmung Potential hat, den Planungsprozess von Übertragungsleitungen zu verbessern.*

## 1 Einleitung

Der Ausbau des existierenden Stromnetzes ist infolge des steigenden Stromkonsums und der zunehmenden Dezentralisierung der Stromerzeugung durch die Energiewende in den Ländern Europas dringend nötig (RENDIGS 2016). Aufgrund langwieriger Planungs- und Bewilligungsprozesse sowie der geringen Akzeptanz der Bevölkerung gegenüber Übertragungsleitungen schreiten dessen Ausbau und dessen Modernisierung jedoch nur langsam voran. Die im Rahmen dieser Masterarbeit durchgeführte Studie zeigt, dass die Forschung in der Geoinformatik einen wichtigen Beitrag zur Beschleunigung von Netzausbauprojekten leisten kann, indem Produkte zur Vereinfachung von Planungsprozessen und zur Förderung der Akzeptanz entwickelt werden.

## 2 Problemstellung

Ein konventioneller Ansatz zur Modellierung der optimalen Trasse für Übertragungsleitungen besteht darin, eine Route zu finden, welche die geringsten Kosten verursacht. Dabei sind Kosten in diesem Kontext nicht im monetären Sinn zu verstehen; im Gegensatz dazu beschreiben sie die Auswirkung und die Konflikte, die der Bau einer Übertragungsleitung auf Mensch und Natur auslösen kann. Diese Kosten können in drei Dimensionen zusammengefasst werden:

- Dimension Raumplanung: Diese Dimension beschreibt, wie die menschliche und urbane Umwelt von Übertragungsleitungen hinsichtlich Distanz und Sichtbarkeit betroffen ist.
- Dimension Umwelt und Landschaft: Diese Dimension umfasst Faktoren zum Schutz von Umweltschutzbiotopen und schützenswerter Landschaften.

---

<sup>1</sup> Universität Zürich, Geographisches Institut, Winterthurerstrasse 190, CH-8057 Zürich, Schweiz  
E-Mail: nadine.piv@gmail.com, robert.weibel@geo.uzh.ch

<sup>2</sup> ETH Zürich, Institut für Kartografie und Geoinformation, Stefano-Franscini-Platz 5, CH-8093 Zürich,  
E-Mail: [jschito, mraubal]@ethz.ch

- Dimension technische Kriterien: Diese Kriterien sind eng mit ökonomischen Faktoren gekoppelt und beschreiben die bautechnische Umsetzbarkeit der Übertragungsleitungen.

In dieser Masterarbeit wurden die oben aufgelisteten Dimensionen durch die Anwendung eines neuen Verfahrens optimiert. Diese Optimierung führte dazu, dass der Einfluss der modellierten Übertragungsleitung auf die natürliche und bebaute Umwelt minimiert und deren technische Umsetzbarkeit sichergestellt werden konnte.

### 3 Forschungsstand

Zahlreiche Forschungsarbeiten haben sich mit der Berechnung der optimalen Trasse für Übertragungsleitungen befasst. Die häufigste Vorgehensweise beruht auf einer rasterbasierten Least Cost Path (LCP) Analyse, die aus drei Schritten besteht (STEFANSKI & KAVOURAS 1995; BERRY 2004):

1. Die Definition der diskreten Kostenoberfläche
2. Die Berechnung der akkumulierten Kostenoberfläche
3. Die Bestimmung des LCP

Die diskrete Kostenoberfläche wird aufgrund einer Multikriterienanalyse berechnet und als Raster dargestellt, wobei jeder Rasterzellwert die Kosten für die Durquerung dieser Zelle ausdrückt (BAGLI ET AL. 2011). Aufgrund der Zellwerte der diskreten Kostenoberfläche wird die akkumulierte Kostenoberfläche generiert, indem, vom Ursprung zum Ziel und umgekehrt, jeder Rasterzelle die minimale akkumulierte Kostenentfernung zugewiesen wird. Der LCP zwischen zwei Ortschaften entspricht der Abfolge von Zellen mit abnehmenden Werten in der akkumulierten Kostenoberfläche („steepest downhill path“) (BERRY 2004).

Obwohl rasterbasierte Ansätze effizient und einfach sind, weisen sie Nachteile auf. Vor allem bautechnische Faktoren, die den Bau und die Kosten von Übertragungsleitungen prägen, werden vernachlässigt.

### 4 Methode

Im Gegensatz zu bisherigen Forschungsansätzen basiert diese Masterarbeit auf der Graphentheorie. Die Knoten im Graphen repräsentieren die Masten und die Kanten stellen die Leitungen zwischen zwei Masten dar. Die optimale Trasse entspricht dem Pfad im Graph, der die Dimensionen Raumplanung, Umwelt und Landschaft berücksichtigt und gleichzeitig die bestmögliche bautechnisch umsetzbare Lösung bietet. Folgende technische Aspekte fließen in die Berechnung der Trasse ein:

- Das Gelände: Schwieriges Gelände wird gemieden und es wird überprüft, ob der Bodenabstand der Leiter eingehalten wird.
- Der Abspannwinkel: Tragmasten mit kleinem Abspannwinkel ( $0^{\circ}$ - $3^{\circ}$ ) werden bevorzugt, da sie günstiger und bautechnisch einfacher umsetzbar sind als Abspannmasten.
- Die Bündelung: Übertragungsleitungen werden mit linearen Infrastrukturen wie Straßen oder Bahnlinien gebündelt, um die Verbauung und die Auswirkung auf die Umwelt zu minimieren.

Die Kriterien wurden entweder als Bedingung oder als Optimierungsfaktor in der Trassenberechnung berücksichtigt. Beispielsweise werden ein maximaler Abspannwinkel und ein minimaler Bodenabstand der Leitungen zum Boden als Bedingung im Graphen definiert. Indem Optimierungsfaktoren einkalkuliert wurden, berechnet der Algorithmus eine Route, die zusätzlich zu ökologisch sensiblen und bewohnten Gebiete auch schwieriges Gelände vermeidet.

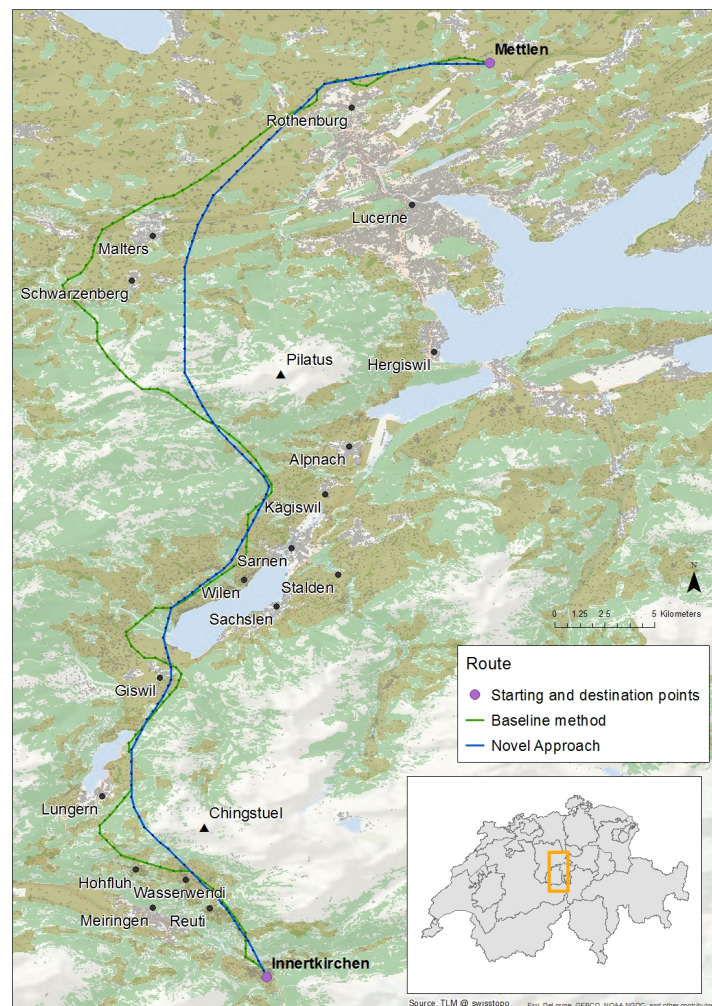


Abb. 1: Die Trasse des neuen Ansatzes (blau) und der herkömmlichen Methode (grün).

## 5 Ergebnisse

Der neue Ansatz wurde in einem gebirgigen Untersuchungsgebiet zwischen zwei Schweizer Ortschaften getestet. Um den Mehrwert des neuen Algorithmus zu eruieren, wurde die Trasse des neuen Ansatzes mit der herkömmlichen Methode anhand einer indikatorbasierten Evaluation und durch Expertenbefragungen verglichen.

Sowohl in der quantitativen als auch in der qualitativen Analyse haben beide Ansätze hinsichtlich der Dimension Umwelt und Landschaft sowie der Dimension Raumplanung ähnlich abgeschlossen. In gewissen Situationen berücksichtigt die Trasse des neuen Algorithmus die Kriterien dieser zwei Dimensionen besser als die herkömmliche Methode. In anderen Situationen ist es jedoch umgekehrt. Deshalb waren sich die Experten einig, dass bei beiden Methoden aufgrund von vor Ort durchgeführten Felduntersuchungen punktuelle Anpassungen an der modellierten Trasse vorzunehmen sind.

Die Autoren konnten zudem wesentliche Unterschiede zwischen den beiden Methoden in Bezug auf die technischen Faktoren feststellen. Die Trasse des neuen Ansatzes ist kürzer, günstiger und geradliniger als die, die durch die herkömmliche Methode berechnet wird (siehe Abb. 1). Zudem weist sie einen höheren Anteil an Tragmasten auf, was geringere Kosten verursacht. Außerdem wird schwieriges Gelände automatisch gemieden, was zusätzliche Kosten spart. Diese Eigenschaften wurden ebenfalls von den befragten Experten beobachtet, gutgeheißen und bestätigt.

## 6 Fazit & Ausblick

Die Resultate dieser Masterarbeit haben ergeben, dass hauptsächlich technische Kriterien den Verlauf der Trasse entscheidend beeinflussen. Experten maßen dem neuen Ansatz ein hohes Potential zu, beim Abwägen unterschiedlicher Szenarien hilfreich zu sein, aber auch bei der Modellierung von Erdkabelleitungen den Planungsprozess zu vereinfachen. Da der Algorithmus in einem gebirgigen Gelände getestet wurde, sind weitere Studien nötig, welche die Anwendbarkeit auf andere Terrainformen überprüfen. Diese Arbeit ist ein weiterer Baustein im Bestreben, das Stromnetz zu modernisieren, und hat das Potential, sich zu einem leistungsfähigen Tool zur Trassenbestimmung zu entwickeln.

## 7 Literaturverzeichnis

- BAGLI, S., GENELETTI, D. & ORSI, F., 2011: Routeing of power lines through least-cost path analysis and multicriteria evaluation to minimise environmental impacts. *Environmental Impact Assessment Review*, **31**(3), 234-239.
- BERRY, J. K., 2004: Topic 19: Optimal paths and routing. In *Map Analysis*.
- RENDIGS, S., 2016: Transformation des Schweizer Stromübertragungsnetzes – Herausforderungen und Aufgaben für die Raumplanung. ETH Zurich (Doctoral dissertation).
- STEFANAKIS, E. & KAVOURAS, M., 1995: On the determination of the optimum path in space. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 241-257.