

**Zeitschrift:** Geomatik Schweiz : Geoinformation und Landmanagement =  
Géomatique Suisse : géoinformation et gestion du territoire =  
Geomatica Svizzera : geoinformazione e gestione del territorio

**Herausgeber:** geosuisse : Schweizerischer Verband für Geomatik und  
Landmanagement

**Band:** 118 (2020)

**Heft:** 10

**Artikel:** Automatisierte Planung von Hochspannungsleitungen mit dem 3D DSS

**Autor:** Schito, Joram / Raubal, Martin

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-905961>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 16.03.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Automatisierte Planung von Hochspannungsleitungen mit dem 3D DSS

Obwohl Strom für die Wirtschaft und die Gesellschaft von hoher Bedeutung ist, erfreuen sich Hochspannungsleitungen allgemein keiner grossen Beliebtheit. In dieser Hinsicht bietet die Digitalisierung grosse Chancen, die Akzeptanz neuer Hochspannungsleitungen zu erhöhen, indem der Planungsprozess demokratischer und transparenter gestaltet wird. Das *3D Decision Support System (3D DSS)* der ETH Zürich bietet Planern und Entscheidungsträgern ein zuverlässiges Tool, um den idealen Verlauf einer neuen Hochspannungsleitung in 3D zu modellieren und dabei die Ziele unterschiedlicher Interessensvertreter zu berücksichtigen. Das Forschungsteam untersuchte während sechs Jahren diverse Aspekte, wie die Planung von Hochspannungsleitungen durch neue Ansätze teilautomatisiert und verbessert werden kann. Die dabei gesparte Zeit kann in eine vertiefte Analyse investiert werden, was die Verhandlungen um eine optimale Linienführung unterstützt. Das Forschungsprojekt zeigt auf, welches Potential das 3D DSS hinsichtlich Planung, Analyse und Kommunikation von Hochspannungsleitungen in sich birgt und schlussfolgert, dass solche digitalen Systeme in Zukunft eine wichtige Rolle bei der Entscheidungsfindung spielen werden.

*Bien que le courant électrique soit de première importance pour l'économie et la société les lignes à haute tension ne bénéficient en général guère de beaucoup de sympathie. A cet égard la digitalisation offre beaucoup de chances d'augmenter l'acceptance des lignes à haute tension en rendant plus démocratique et transparent le processus de planification. Le système 3D Decision Support System (3D DSS) de l'EPF Zurich présente un outil fiable aux planificateurs et décideurs pour modéliser le tracé idéal en 3D permettant de prendre en compte les buts des divers intérêts en jeu. L'équipe des chercheurs a examiné pendant 6 ans divers aspects comment améliorer et automatiser partiellement par de nouvelles approches la planification de lignes à haute tension. Le temps ainsi économisé peut être investi dans une analyse approfondie ce qui soutient les tractations concernant un tracé optimal de la ligne. Le projet de recherche met en lumière le potentiel inhérent au 3D DSS en ce qui concerne la planification, l'analyse et la communication de lignes à haute tension et permet la conclusion que de tels systèmes digitaux joueront à l'avenir un rôle important pour la prise de décision.*

Le linee ad alta tensione non godono, in generale, di grande popolarità benché l'elettricità rivesta grande rilevanza per l'economia e la società. Al riguardo, la digitalizzazione offre uno spunto per incrementare l'accettazione di nuovi reti ad alta tensione, gestendo in modo più democratico e trasparente il processo di progettazione. Il *3D Decision Support System (3D DSS)* del Politecnico di Zurigo offre a progettisti e organismi decisionali uno strumento affidabile per modellare in 3D il tracciato ideale delle nuove linee ad alta tensione, tenendo conto degli obiettivi delle varie parti interessate. Durante sei anni l'equipe di ricerca ha analizzato vari approcci su come migliorare e rendere semiautomatizzata la progettazione delle linee ad alta tensione. Il tempo risparmiato può essere investito in un'analisi approfondita che supporta i negoziati per un tracciato ottimale della linea. Il progetto di ricerca mostra il potenziale intrinseco del 3D DSS a livello di progettazione, analisi e comunicazione di linee ad alta tensione e giunge alla conclusione che in futuro questa tipologia di sistemi digitali svolgerà un ruolo determinante nel processo decisionale.

*J. Schito, M. Raubal*

## Einleitung

Da das bestehende Stromnetz langfristig nicht für die wachsende Strommenge ausgelegt ist, die durch das Erschliessen neuer, erneuerbarer Energiequellen in das Netz gespeist wird, ist ein Ausbau dessen nötig. Wo neue Leitungen gebaut werden sollen, ist allerdings eine heikle Frage, da Hochspannungsleitungen in der Bevölkerung Unsicherheiten schüren und mit Ängsten verbunden sind. Einerseits ist das Bedürfnis nach einer landschaftsschonenden Linienführung hoch, andererseits müssen die Planer die gesetzlichen Anforderungen erfüllen und dennoch eine geeignete Lösung unter Berücksichtigung unterschiedlicher Meinungen finden. Gerade weil die Linienfindung ein räumliches Problem darstellt, eignen sich Geographische Informationssysteme (GIS) hervorragend, um einen optimalen Leitungsverlauf unter Berücksichtigung unterschiedlicher Faktoren zu modellieren.

## Zum Projekt

Das 3D DSS-Projekt wurde unter der Leitung von Prof. Dr. Martin Raubal am Institut für Kartografie und Geoinformation (IKG) und am Lehrstuhl für Planung von Landschaft und Urbanen Systemen (PLUS) durchgeführt. In einer ersten Phase (2014–2017) zielte das Projekt auf die Modellierung von Freileitungen, während in der zweiten Phase (2018–2020) erforscht wurde, wie sich Erdkabel und kombinierte Leitungen am besten modellieren lassen. Das 3D DSS-Projekt wurde vom Bundesamt für Energie (BFE) gefördert und zusätzlich von Swissgrid, Austrian Power Grid, Elia Power Systems, BKW und ewz finanziert. Die Projektpartner und weitere Bundesämter stellten allesamt Experten zur Verfügung, die das Projekt während sechs Jahren begleitet und durch ihre Rückmeldungen einen wertvollen Beitrag zur Entwicklung des 3D DSS beigetragen haben.



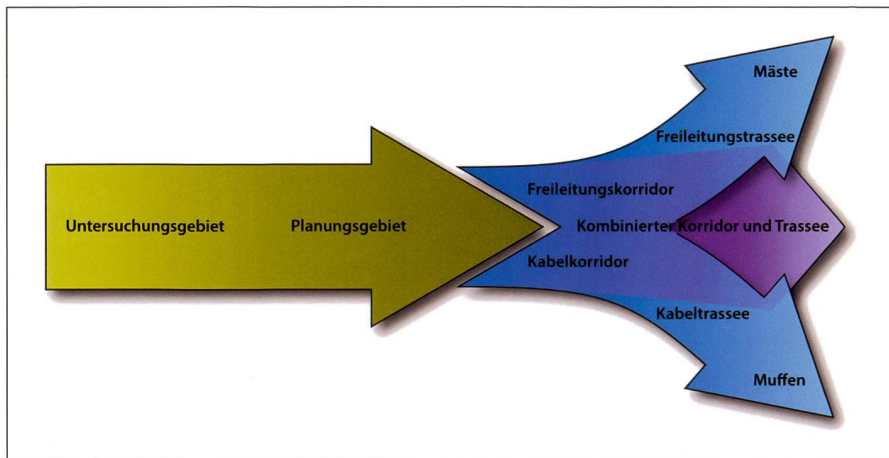


Abb. 1: Kaskadische Vorgehensweise beim Berechnen der Teilresultate.

## Funktionsweise des 3D DSS

Um verschiedene Interessen mathematisch abzubilden, verwendet man zur Planung von Hochspannungsleitungen mit GIS ungefähr seit der Jahrtausendwende Methoden der *Multikriteriellen Entscheidungsanalyse (Multicriteria Decision Analysis, MCDA)*. Dadurch werden Gebiete erörtert, die einen besonders hohen Raumwiderstand gegen den Bau einer Hochspannungsleitung aufweisen. Auf dieser sogenannten Kostenoberfläche findet der Dijkstra-Algorithmus anschliessend den optimalen Leitungsverlauf. Dies ist das Standardverfahren, das in jedem GIS mit Rasteroperationen und der *Least Cost Path (LCP)-Analyse* ausgeführt werden kann, mit dem Nachteil, dass viele Operationen manuell durchgeführt werden müssen und man einige Einbussen bezüglich des Realismusgrades in Kauf nehmen muss.

Das 3D DSS geht darüber hinaus, indem es dieses Standardverfahren in vielen Bereichen verbessert und über weite Teile automatisiert. Beispielsweise wurden komplexe Entscheidungsregeln erstellt, welche die Gesetzgebung und die menschliche Wahrnehmung von Hochspannungsleitungen so genau als möglich berücksichtigen. Auch schliesst das Entscheidungsmodell Schattenhänge ein, optimiert den Verlauf durch Täler oder versucht, die neue Hochspannungsleitung mit bestehenden Leitungen zu bündeln. Entsprechend der Abb. 1 vermag das

3D DSS als weltweit einziges Planungstool über die ganze Prozesskette vom Untersuchungsgebiet bis hin zu den exakten Mastpositionen alle geeigneten Teilräume für eine Hochspannungsleitung zu berechnen – auf verschiedenen Netzebenen, sowohl über- als auch unterirdisch oder kombiniert. Je exakter die Position festgelegt werden soll, desto mehr vergrössert sich der Rechenaufwand und desto eher werden Ansätze der linearen Optimierung verwendet, um unter vielen möglichen Alternativen diejenige zu finden, die ein bestimmtes Problem optimal löst.

Dazu legen die Interessensvertreter fest, welche Schutzziele (Abb. 3) ihnen am wichtigsten sind – beispielsweise, ob die Landschaft oder der menschliche Lebensraum stärker geschützt werden soll. Das Entscheidungsmodell muss in dieser Hinsicht auch die Gesetzgebung berücksichtigen,

was vom Analytisten ein gewisses Feingefühl für die Daten und Kenntnis vielfältiger GIS-Methoden voraussetzt, wie diese räumlich modelliert werden können. Wird ein Schutzziel als besonders hoch eingestuft, so werden die daran gekoppelten Kriterien (z.B. Wald, Fluss, Wohngebiet, Autobahn etc.) mit einem starken Raumwiderstand versehen und die entsprechenden Gebiete für den Bau einer Hochspannungsleitung als ungeeignet markiert. Innert kurzer Zeit berechnet das 3D DSS die möglichen Gebiete und visualisiert den optimalen Leitungsverlauf in 3D (Abb. 2). Statistische Auswertungen über den Leitungsverlauf ermöglichen es Entscheidungsträgern, Vor- und Nachteile mehrerer Varianten gegeneinander abzuwägen und die Alternative auszuwählen, welche die Bedürfnisse der Interessensvertreter am besten erfüllt.

Im Forschungsprojekt wurden verschiedene Ansätze getestet und auf vier Gebieten in drei Ländern mit unterschiedlichen Netzebenen angewandt. Die Ansätze wurden in zahlreichen Studien von insgesamt über 30 Experten getestet und laufend weiterentwickelt. Das 3D DSS ist ready-to-use und über Github ([www.github.com/jschito/3D-DSS](http://www.github.com/jschito/3D-DSS)) open source verfügbar, wobei das genaue Verfahren in der Dissertation von Schito (2020) ausführlich beschrieben wird.

## Resultate und Erkenntnisse

Die aus dem Forschungsprojekt entstandenen Ansätze erfüllen die Erwartungen

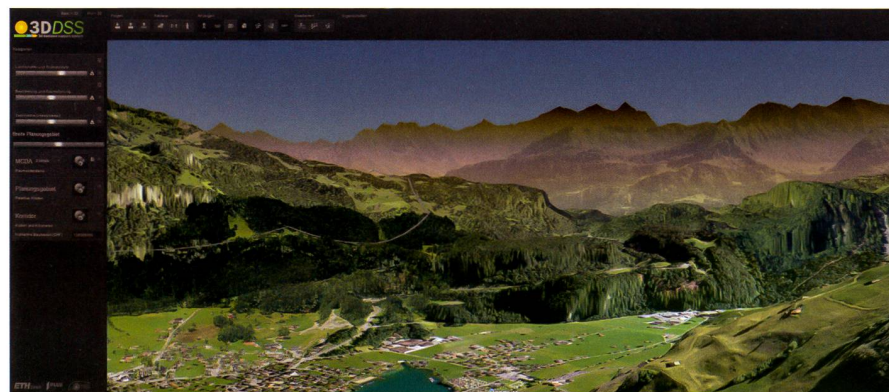


Abb. 2: Die grafische Benutzeroberfläche des 3D DSS mit einer modellierten Freileitung und Sicht auf das Berner Oberland.



der beiden Planungsverfahren, die in der Planung von Hoch- und Höchstspannungsleitungen von Bedeutung sind. Das Potenzial aller drei Funktionen des 3D DSS – *Planung, Analyse und Kommunikation* – wurde von den Experten als hoch eingestuft. Das 3D DSS-Projekt ist das weltweit erste Projekt, das zwei Methoden erarbeitet und evaluiert hat, welche kombinierte Leitungen modellieren, die aus Freileitungs- und Erdkabelabschnitten bestehen. Hierbei erfreute sich diejenige Methode, die sich an der Planungslogik der Raumplanung anlehnt, einer grösseren Akzeptanz und vermochte gegenüber einer weiteren Methode, die geeignete Räume mittels eines statistischen Verfahrens berechnet, die Interessen der Experten besser abzubilden (Schito 2020). Generell wurden Verfahrenen, die Optimierungstechniken verwendeten, von den Experten positiv aufgefasst. Beispielsweise befürworteten Entscheidungsträger einen Ansatz, der hinsichtlich diverser Schutzziele Pareto-optimale Leitungsverläufe berechnet, da sich dadurch die Verhandlungen über Leitungsverläufe versachlichen lassen (Schito, Moncecchi und Raubal 2020). Ein weiterer Ansatz, der den Eigenschaften der Topographie Rechnung trägt und die Masten in der Landschaft optimal platziert, wurde ebenfalls positiv bewertet, da der modellierte Leitungsverlauf einen hohen Realitätsgrad erreicht (Piveteau 2017).

Besonderes Augenmerk wurde auf die Verbesserung der Analysefunktionen gelegt. Das 3D DSS modelliert nicht nur Leitungsverläufe anhand festgelegter Schutzziele, sondern erlaubt es Interessensvertretern, eigene Leitungsverläufe einzuzeichnen und dessen Vor- und Nachteile gegenüber einer als optimal erachteten Alternative zu vergleichen. Die grafische Darstellung in Form von 3D-Visualisierungen und Diagrammen (Abb. 3) wurde dabei als hilfreich eingestuft, da sie den Experten dazu verhalf, ihre Meinung bezüglich einer Linienführung zu überdenken (Schito, Jullier und Raubal 2019). Ein statistisches Verfahren wurde speziell dafür entwickelt, aus allen

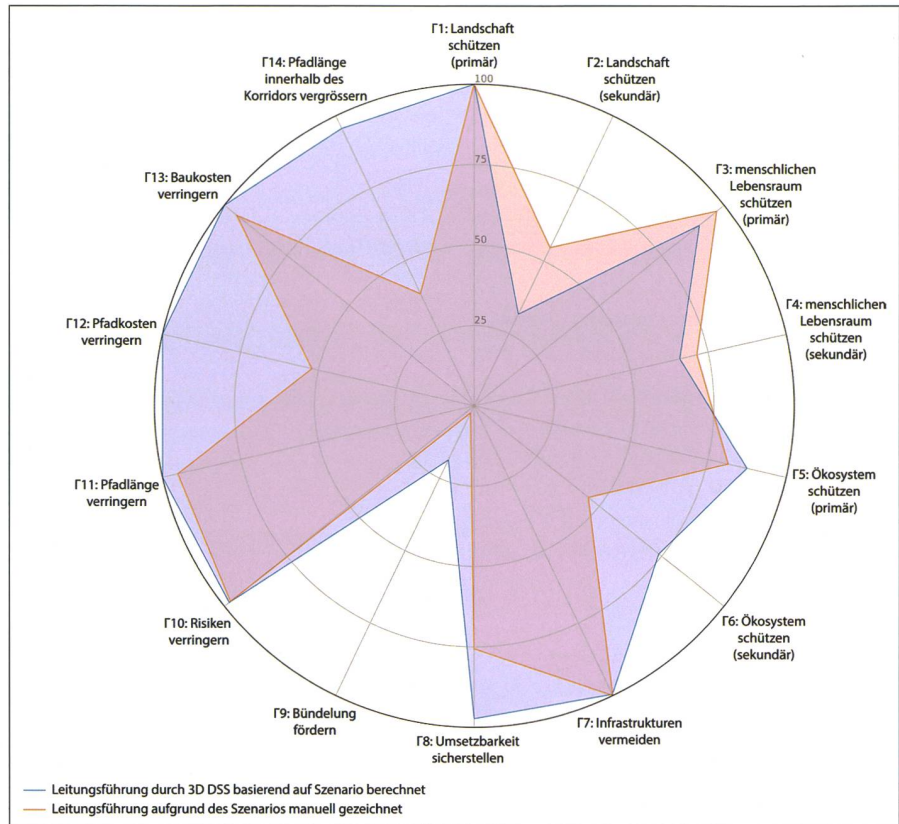


Abb. 3: Spinnennetzdiagramme unterstützen Entscheidungsträger bei der Evaluation unterschiedlicher Alternativen, da messbare Gütekriterien miteinander verglichen werden können.

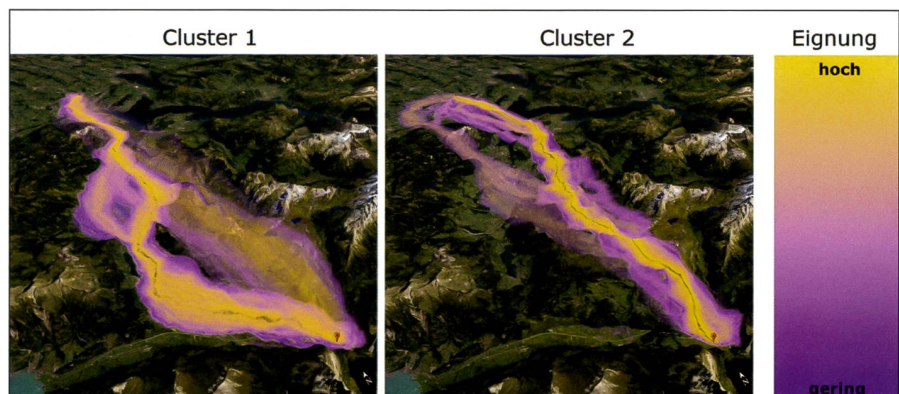


Abb. 4: Ein statistisches Verfahren identifiziert räumliche Cluster von Pfadalternativen, die sich signifikant voneinander unterscheiden.

Einstellmöglichkeiten, die das 3D DSS bietet, diejenigen räumlichen Cluster zu identifizieren, die sich räumlich ähnlich sind und sich signifikant von den anderen Leitungsverläufen unterscheiden (Schito, Wissen Hayek und Raubal 2018). Dies kommt dem Wunsch der Entscheidungsträger entgegen, ein komplexes Modell so zu reduzieren, dass sich die Diskussion

auf eine überschaubare Anzahl an Alternativen beschränkt.

### Zusammenfassung und Ausblick

Das 3D DSS erleichtert die Planung neuer Hochspannungsleitungen, indem mögliche Räume schnell und einfach identifiziert



werden. Die eingesparte Zeit gegenüber dem konventionellen Arbeiten mit GIS kann dazu genutzt werden, unterschiedliche Leitungsverläufe zu analysieren und damit das Entscheidungsmodell so zu verbessern, dass eine optimale Lösung gefunden werden kann, welche die Erwartungen aller Interessensvertreter erfüllt. Experten schätzen den rechnergestützten Ansatz sehr, da die berechneten Alternativen eine objektive Diskussion über Vor- und Nachteile einer Linienführung unterstützen. Visualisierungen und Diagramme sind dabei von zentraler Wichtigkeit, um Sachverhalte und Alternativen klar zu kommunizieren. Aus diesem Grund erachten Experten entscheidungsunterstützende Systeme als Ergänzung zur menschlichen Entscheidungsfindung, sodass solche Systeme in Zukunft an Bedeutung gewinnen werden.

## Referenzen:

Piveteau, Nadine. 2017. «A Novel Approach to the Routing Problem of Overhead Transmission Lines». Master Thesis, Zurich (Switzerland): University of Zurich, Department of Geography.

Schito, Joram. 2020. «Realistic Modeling of Power Transmission Lines with Geographic Information Systems». Dissertation, Zurich (Switzerland): ETH Zurich.

Schito, Joram, Joshu Jullier und Martin Raubal. 2019. «A framework for integrating stakeholder preferences when deciding on power transmission line corridors». EURO Journal on Decision Processes, Special Issue on Environmental Decisions, 7 (3–4): 159–195.

Schito, Joram, Daniele Moncecchi und Martin Raubal. 2020. «Determining transmission line path alternatives using a valley-finding algorithm». Manuscript submitted for publication. Under review in Computers, Environment and Urban Systems.

Schito, Joram, Ulrike Wissen Hayek und Martin Raubal. 2018. «Enhanced multi criteria decision analysis for planning power transmission lines». In Proceedings 10th International Conference on Geographic Information Science (GIScience 2018), herausgegeben von Stephan Winter, Amy Griffin und Monika Sester. Bd. 114. Melbourne (Australia): LIPICS.

Joram Schito  
Prof. Martin Raubal  
ETH Zürich  
Institut für Kartografie  
und Geoinformation  
Stefano-Franscini-Platz 5  
CH-8093 Zürich  
jschito@ethz.ch  
mraubal@ethz.ch

## Wer abonniert, ist immer informiert!

Geomatik Schweiz vermittelt Fachwissen –  
aus der Praxis, für die Praxis



Jetzt bestellen!

Bestelltalon

Ja, ich **profitiere** von diesem Angebot und bestelle Geomatik Schweiz für:

- 1-Jahres-Abonnement Fr. 96.– Inland (10 Ausgaben)
- 1-Jahres-Abonnement Fr. 120.– Ausland (10 Ausgaben)

Name  Vorname

Firma/Betrieb

Strasse/Nr.  PLZ/Ort

Telefon  Fax

Unterschrift  E-Mail

Bestelltalon einsenden/faxen an: SIGImedia AG, alte Bahnhofstrasse 9a, CH-5610 Wohlen  
Telefon 056 619 52 52, Fax 056 619 52 50, verlag@geomatik.ch