



3D Decision Support System: Wie Algorithmen die perfekte Leitung erstellen

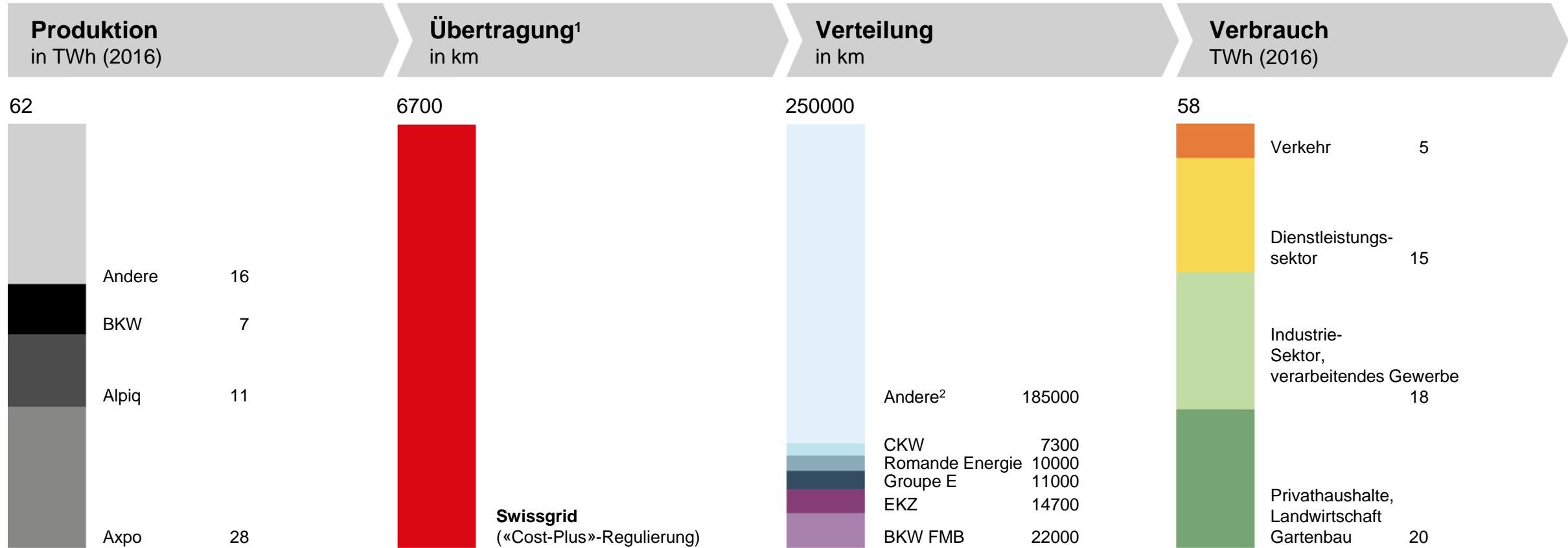
17.05.2018

Forum Netzbau und Netzbetrieb, Dresden

Joram Schito, ETH Zürich

Joshu Jullier, Swissgrid

Schweizer Strommarkt im Überblick

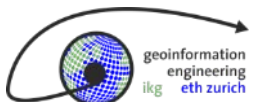


¹ 380 kV: 1,780 km und 220 kV: 4,920 km

² Rund 650 Verteilnetzbetreiber in Switzerland

Quellen: Webseiten und Geschäftsberichte CWK, EKZ, BKW, Alpiq, Axpo, Romande Energie, Groupe E, Schweizerische Elektrizitätsstatistik 2016

Alle Angaben gerundet,



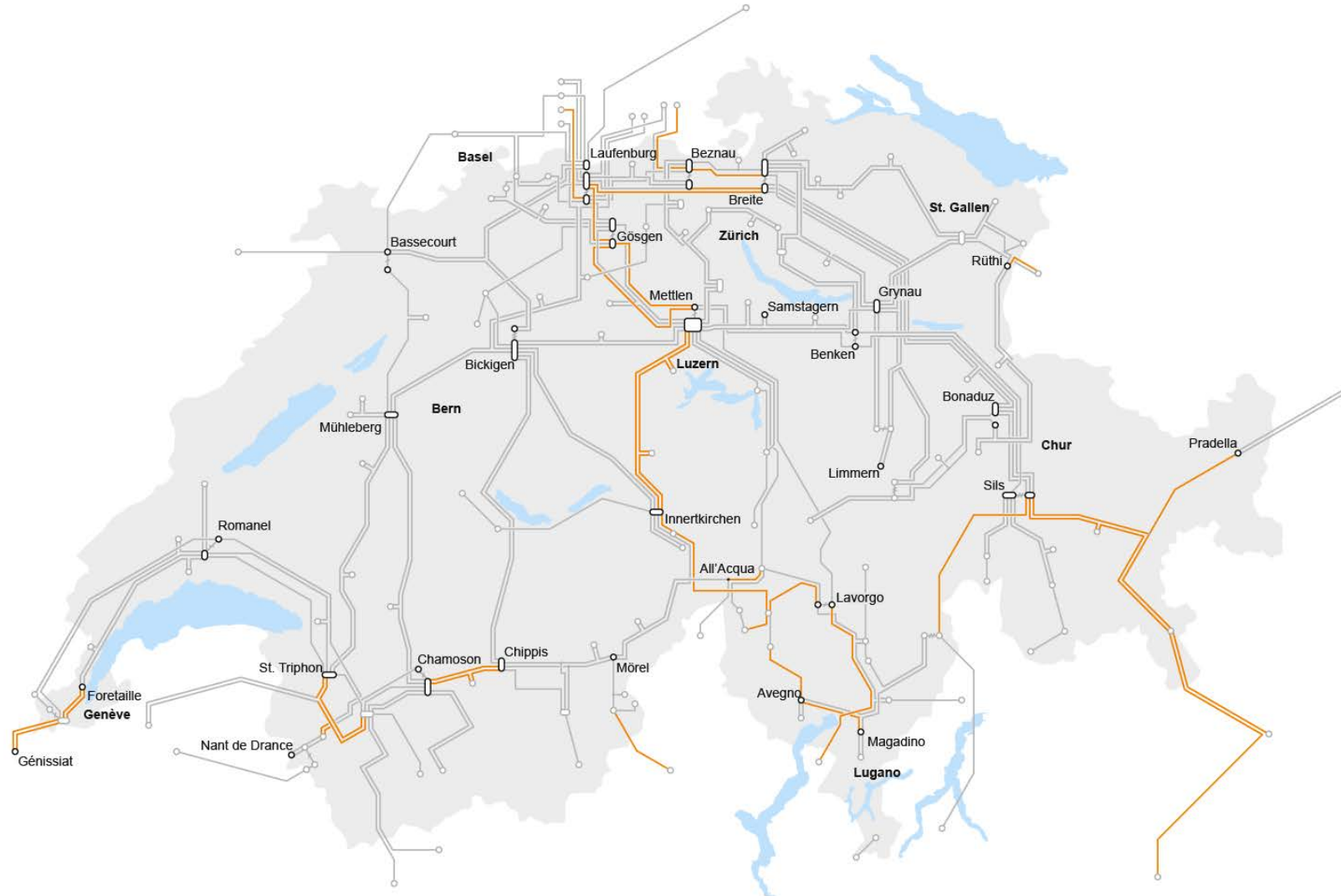
Swissgrid – Die wichtigsten Aufgaben auf einen Blick



Swissgrid...

- ① ... betreibt das Übertragungsnetz
- ② ... ist für das höchste der sieben Netzebenen zuständig
- ③ ... wartet die Schaltanlagen und Leitungen
- ④ ... plant und entwickelt das gesamte Übertragungsnetzes
- ⑤ ... stellt die Netzstabilität sowie die Übertragung der Leistung von der Produktion zum Verbrauch sicher
- ⑥ ... arbeitet eng mit europäischen Übertragungsnetzbetreibern zusammen

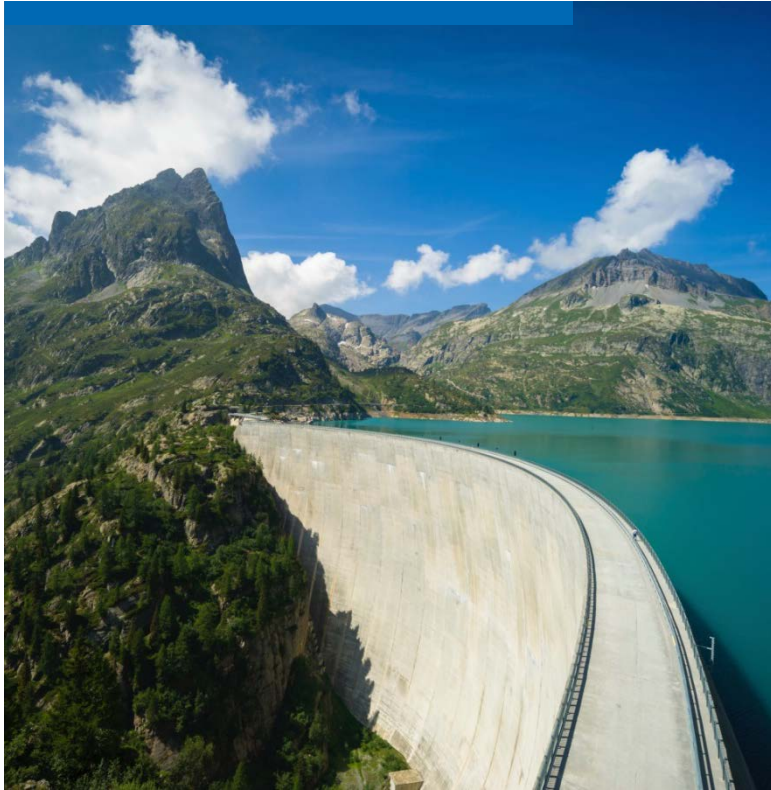
Engpässe im Übertragungsnetz



Gründe für den Netzausbau

Neue Grosskraftwerke

z. B. Bau eines neuen
Pumpspeicherkraftwerkes



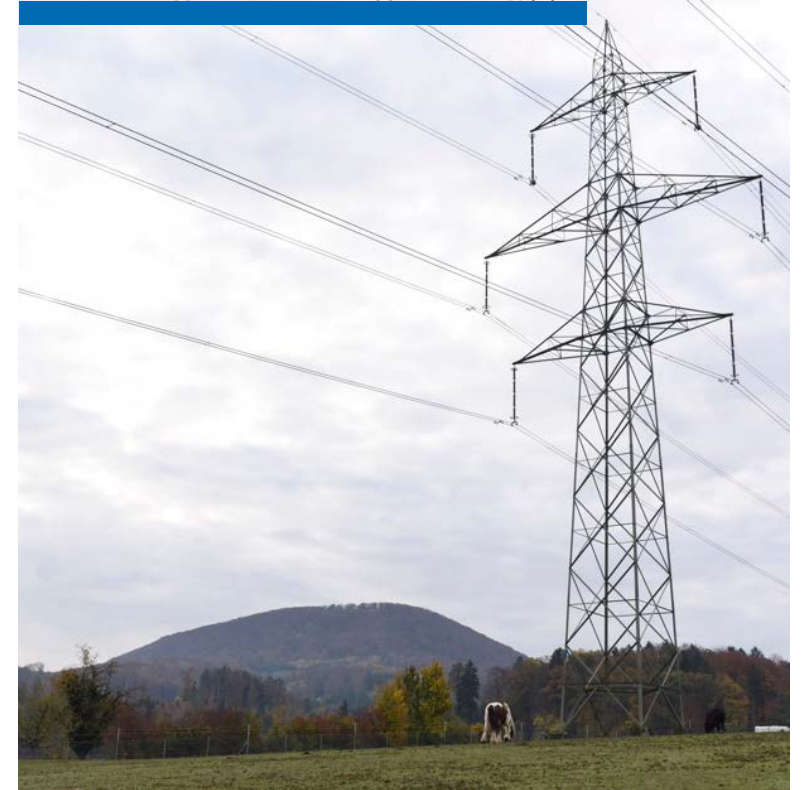
Internationaler Verbund

Bei steigendem Energieaustausch mit
dem Ausland kann es zu einer Überlastung
des Netzes kommen.

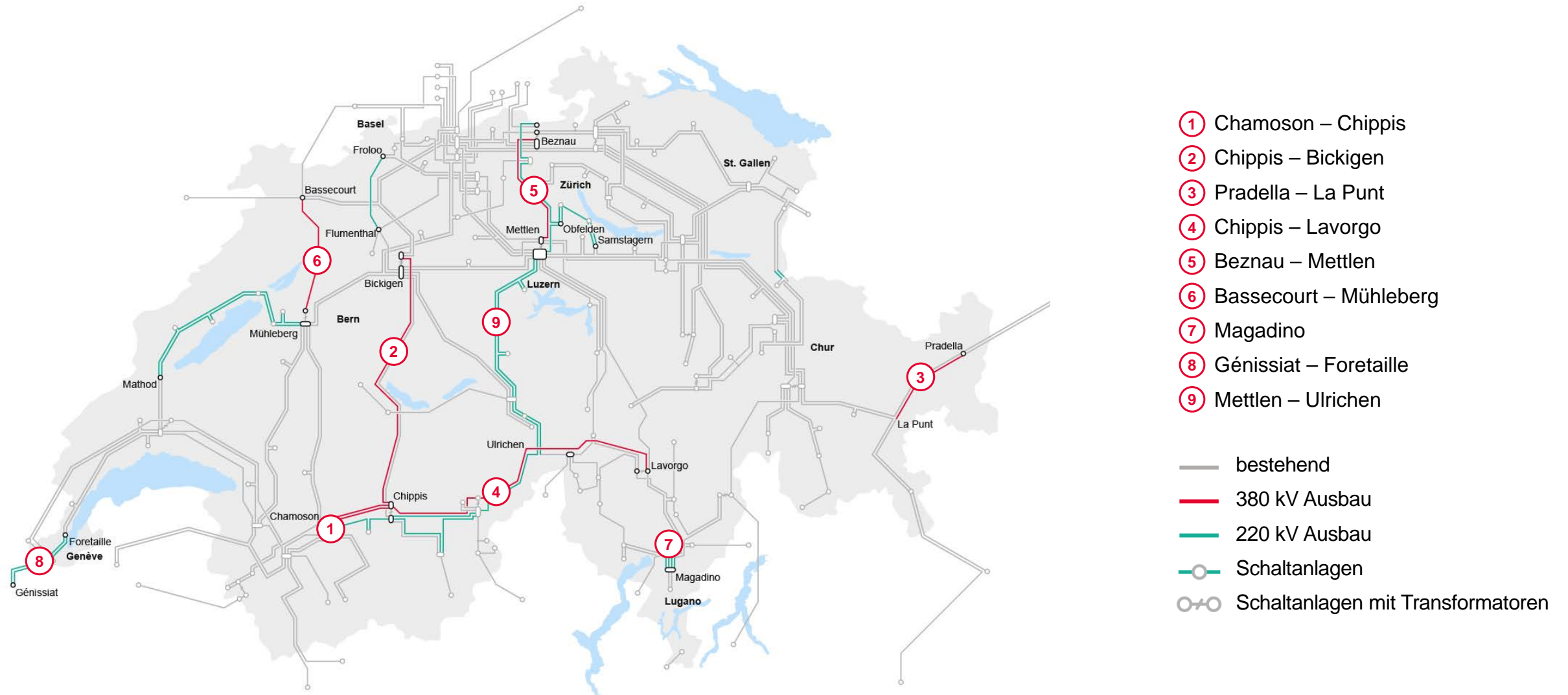


Versorgung nachgelagerter Netze

Neue Anschlussbegehren können
zu Engpässen führen.



Das Netz muss modernisiert und ausgebaut werden

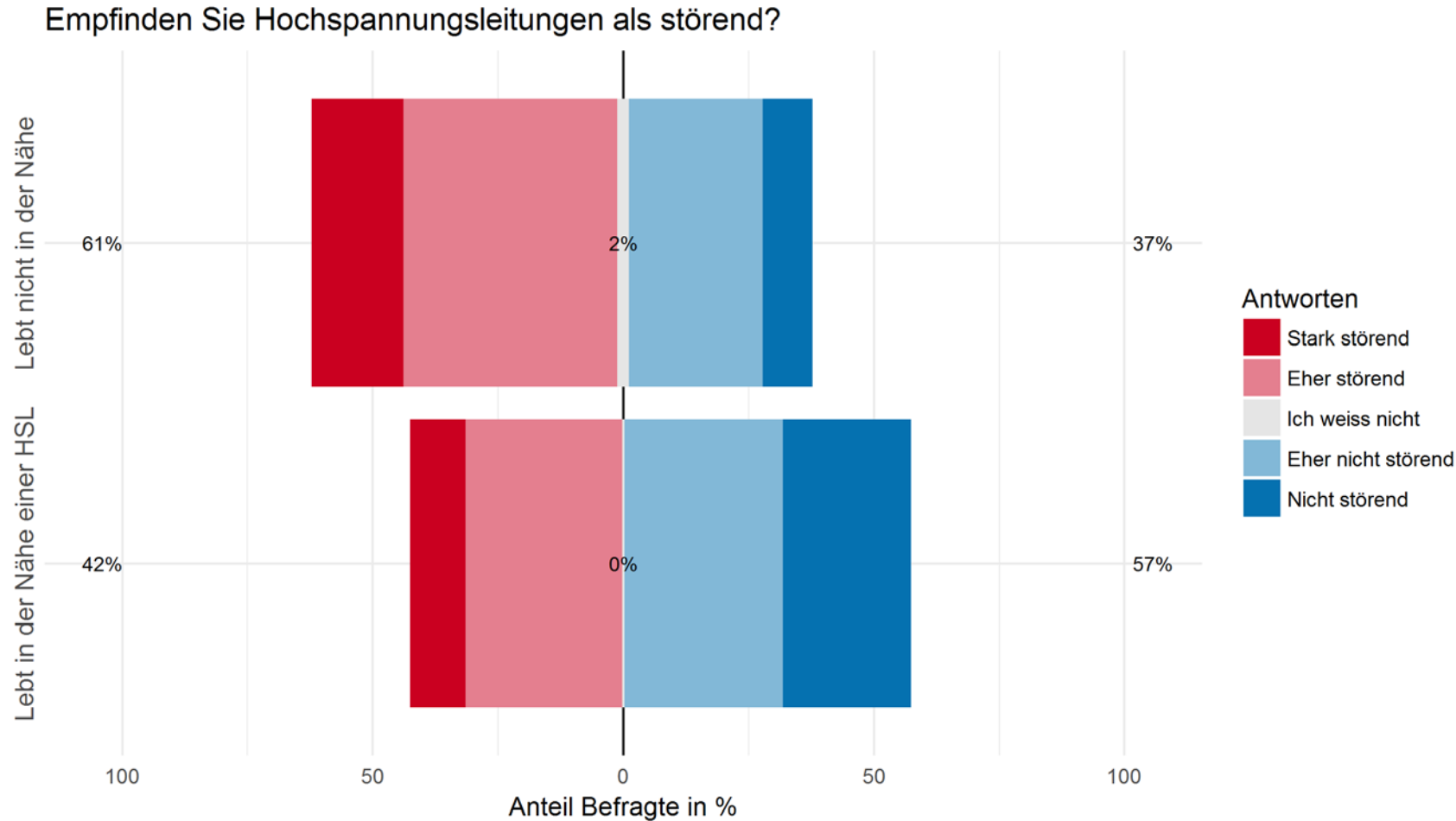




Verzögerungen in Netzbau- projekten

Warum?

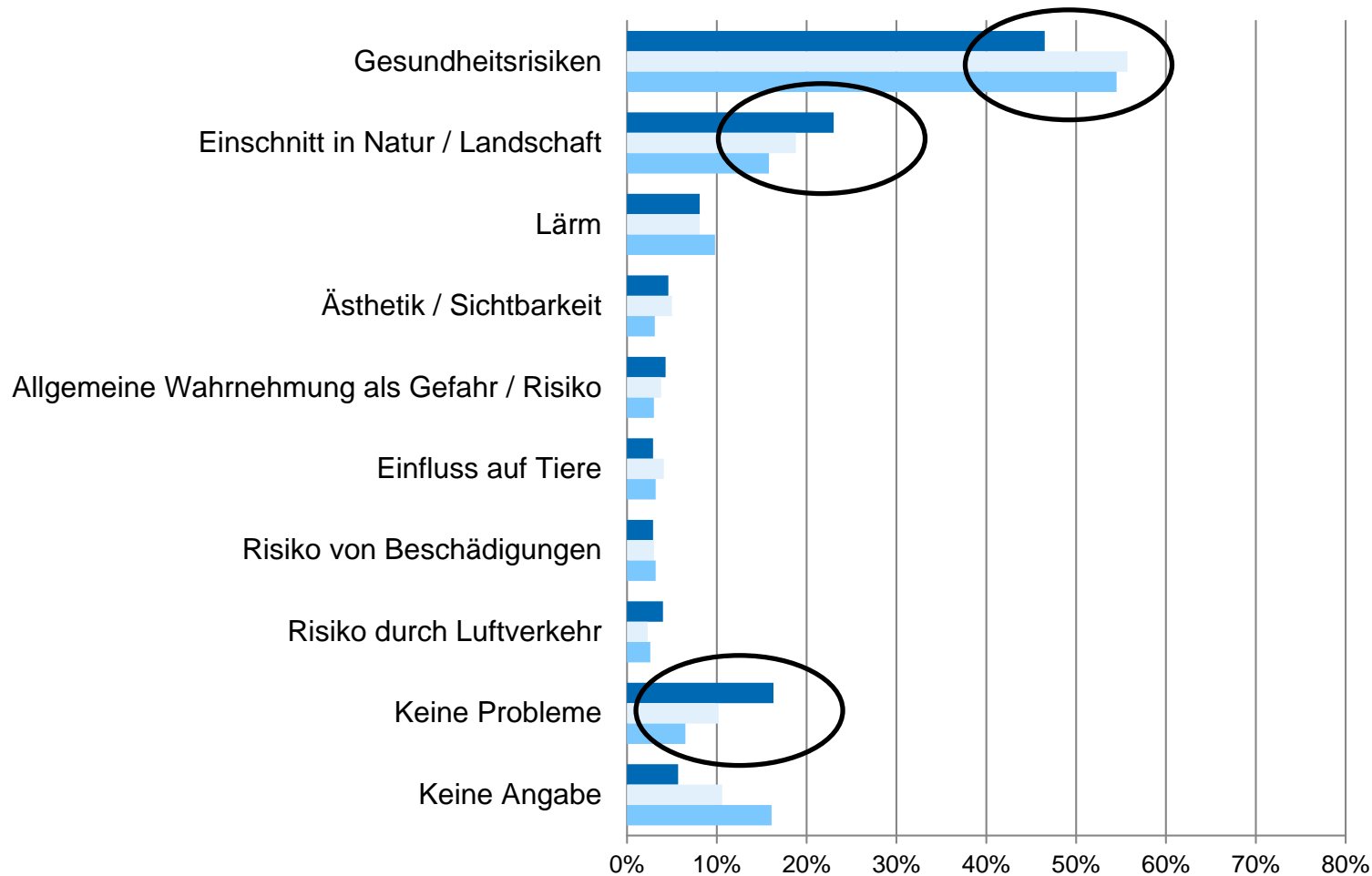
Fehlende Akzeptanz ist eine der Hauptursachen für Verzögerungen



- Freileitungen werden mehrheitlich als **störend** wahrgenommen
- Personen, die in der Nähe einer Freileitung wohnen, haben viel weniger negative Gefühle zu Freileitungen als Personen weiter weg von Leitungen

Grafik: Hedtke et al. (2018), submitted to Cigré Session 2018.

Hauptprobleme von Höchstspannungsleitungen



- **Gesundheitsrisiken** werden deutlich als grösstes Problem wahrgenommen
- Ablehnung gegen Höchstspannungsleitungen basiert hauptsächlich auf **diffusen Ängsten**

■ HSL in Sicht
 ■ HSL vorhanden
 ■ keine HSL vorhanden

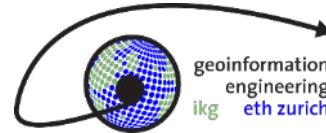
«Und was ist aus Ihrer Sicht das Hauptproblem?»

Richtziele des Projekts



- Die Lösung finden, welche die **höchste Akzeptanz** zwischen allen Entscheidungsträgern hat
- **Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA)** erlaubt es, die Interessen aller Entscheidungsträger zu berücksichtigen
- Die Akzeptanz einer Leitung durch **3D-Visualisierung** steigern

Projektgruppe 3D-GIS



Förderung und fachliche Unterstützung



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Energie BFE
Swiss Federal Office of Energy SFOE



Fachliche Unterstützung

In cooperation with the CTI



Energy funding programme
Swiss Competence Centers for Energy Research

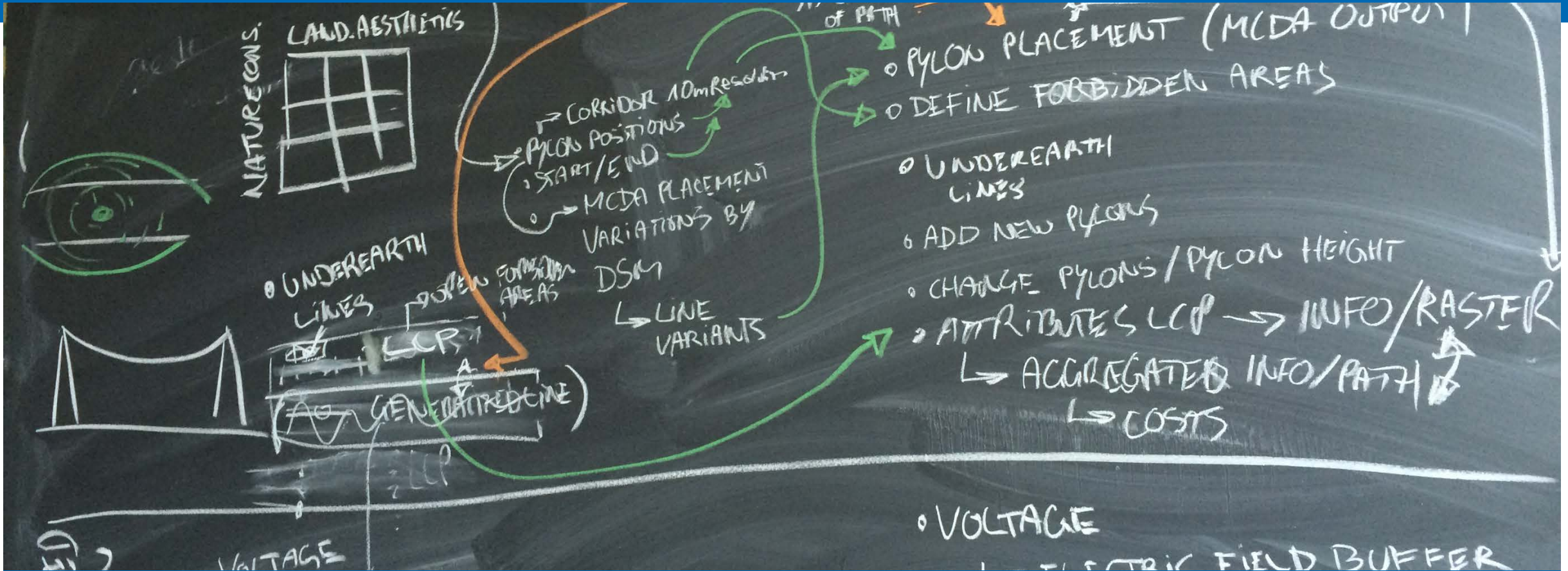


Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Swiss Confederation

Commission for Technology and Innovation CTI





Ansatz

Objekte strahlen einen Raumwiderstand gemäss ihrer Schutzwürdigkeit aus

- Sichtbarkeit der Masten
- Politischer Widerstand betroffener Bürger
- Einsprüche → Verzögerungen
- Geschützte Gebiete
- Sicherheitsabstände / Gesetze
- Monetäre Kosten



Das Entscheidungsmodell berücksichtigt folgende drei Dimensionen



Technische Umsetzbarkeit

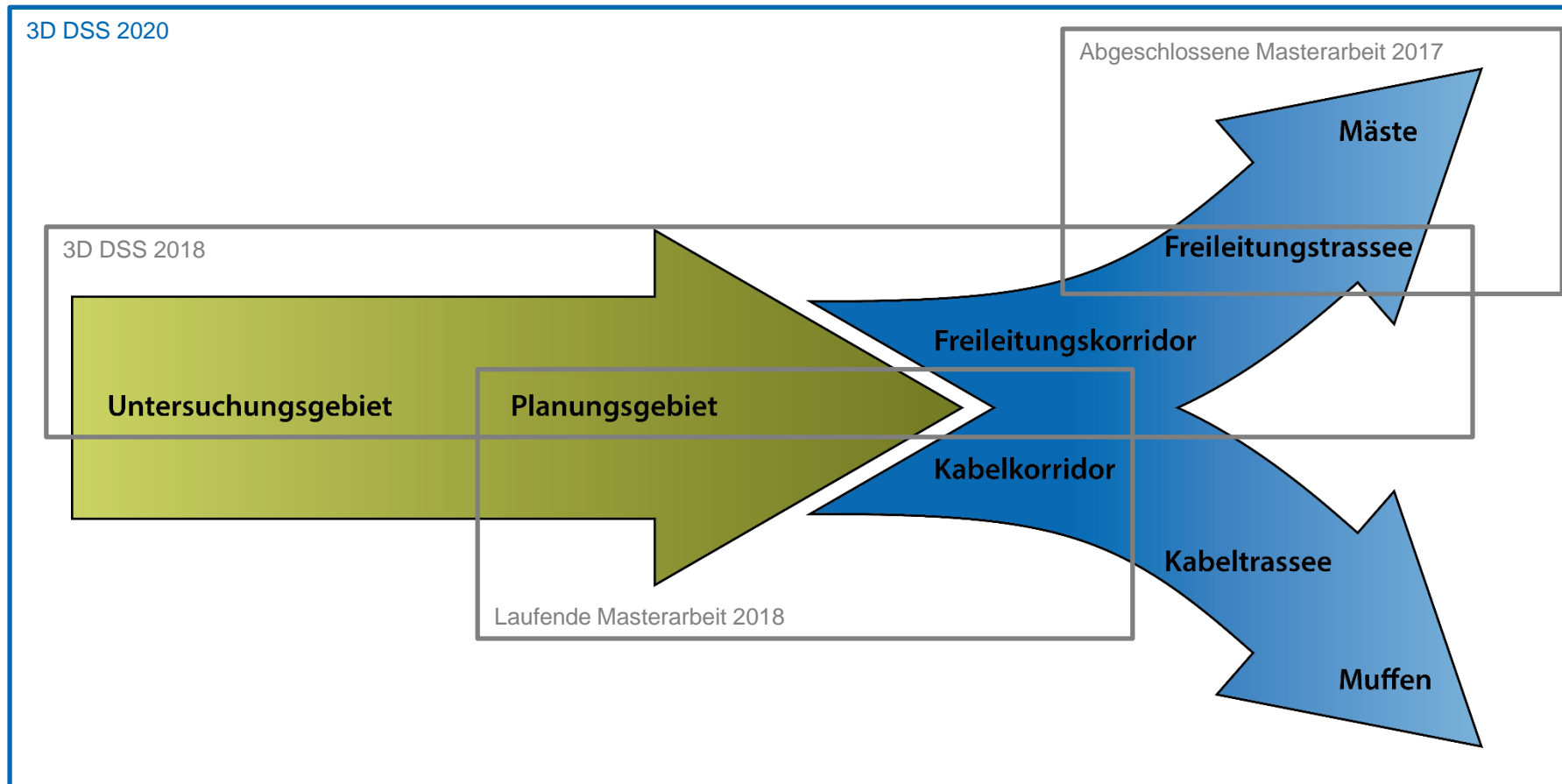


Umwelt- und
Landschaftsschutz

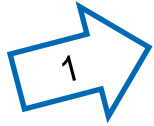


Raumplanung

Kaskadische Vorgehensweise

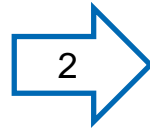


Wie das optimale Planungsgebiet berechnet wird



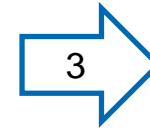
Widerstand & Gewicht

Kriterium	Widerstand	Gewicht
A	5	1
B	4	2
C	4	3

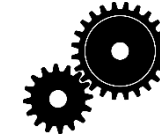


MCDA-Formel

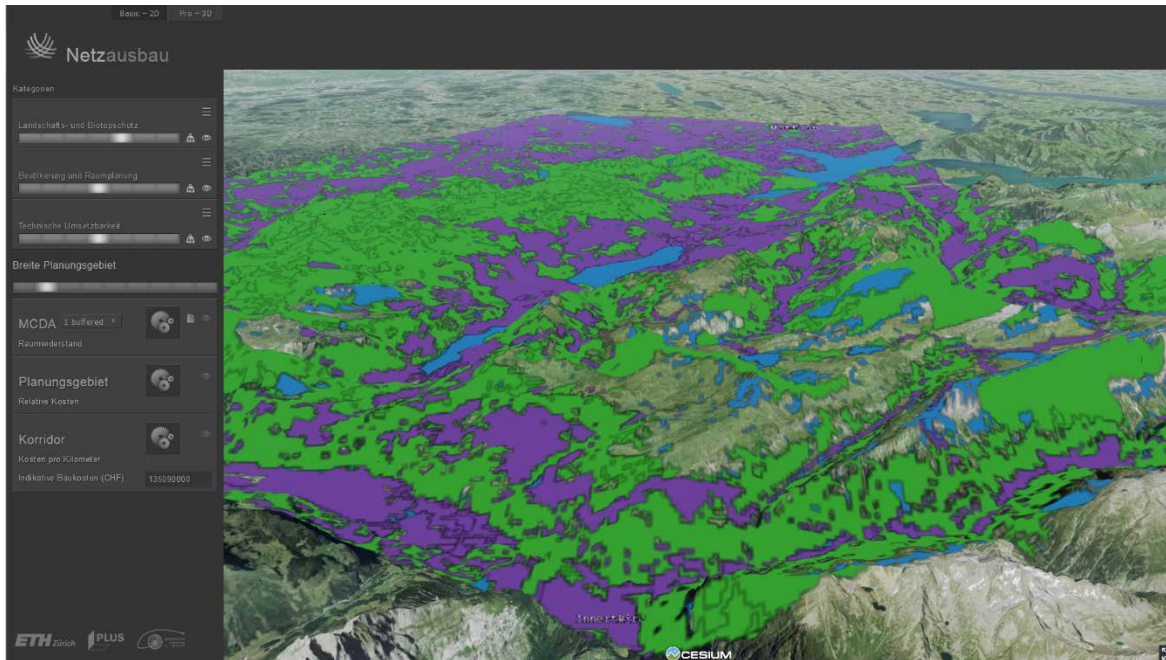
$$t_x = \sum_{i=1}^n g_i \cdot w_{ix}$$



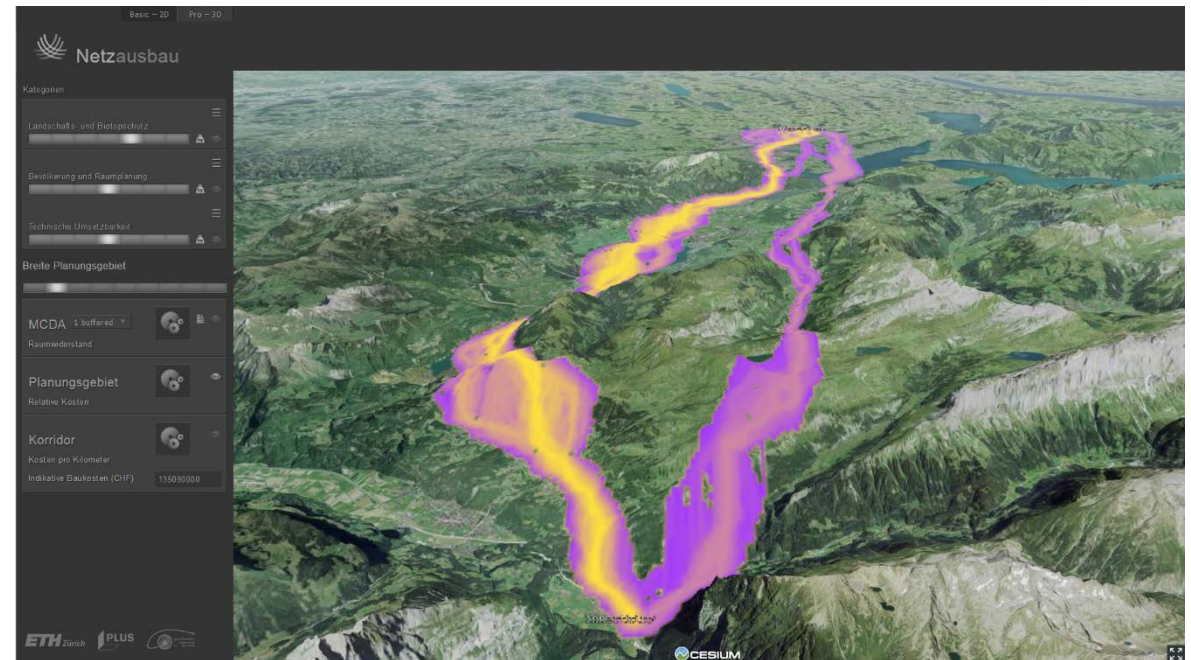
Optimierung



Geodaten

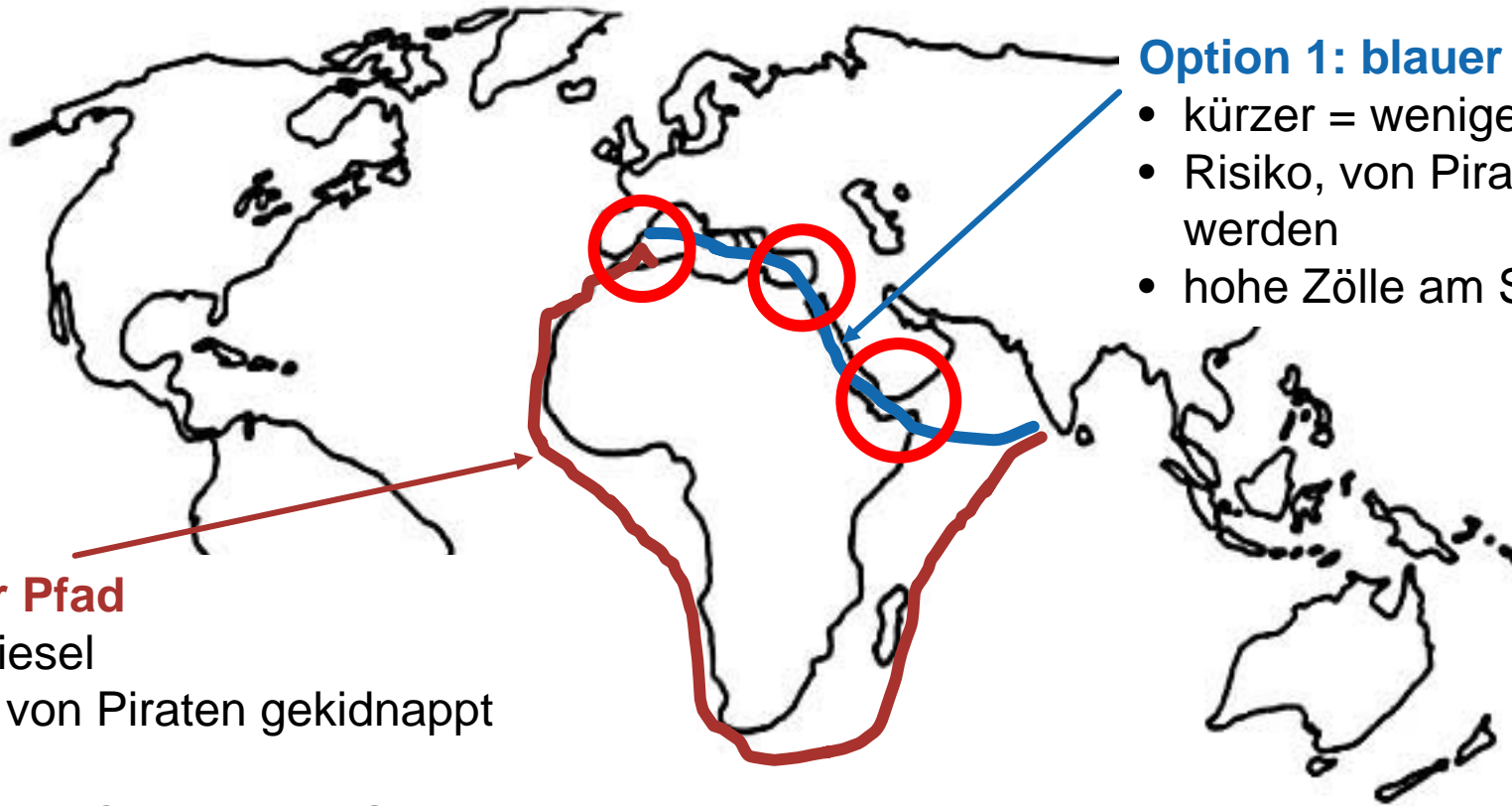


Planungsgebiet



i = factor
n = number of factors
t_x = total resistance at point *x*
g_i = weight of factor *i*
w_{ix} = resistance of factor *i* at point *x*

Was ist der Least Cost Path?



Option 1: blauer Pfad

- kürzer = weniger Diesel
- Risiko, von Piraten gekidnappt zu werden
- hohe Zölle am Suezkanal

Option 2: brauner Pfad

- länger = mehr Diesel
- geringes Risiko, von Piraten gekidnappt zu werden
- geringe Zölle an der Strasse von Gibraltar

Totale normalisierte Kosten

Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA)

	Option 1: Durch Suezkanal	Option 2: Um Afrika herum
Kosten der Distanz	0.2	0.8
Kosten / Risiko für Kidnapping	0.6	0.1
Kosten für Zölle	0.7	0.3
Totale Kosten	1.5	1.2



— GIS

- Option 2 ist zwar länger, aber die totalen Kosten sind geringer als die von Option 1.
- **Wie bewerten unterschiedliche Stakeholder die Kosten?**
- **Wie zuverlässig sind die modellierten Resultate?**



Kategorien

Landschafts- und Biotopschutz



Bevölkerung und Raumplanung



Technische Umsetzbarkeit



Breite Planungsgebiet

MCDA 1 ▾



Raumwiderstand

Planungsgebiet



Relative Kosten

Korridor



Kosten pro Kilometer

Indikative Baukosten (CHF)

Live Demo



Durchgeführte Studien und Resultate

Studie 1: Nutzerstudie, um Anwendbarkeit des 3D DSS zu evaluieren

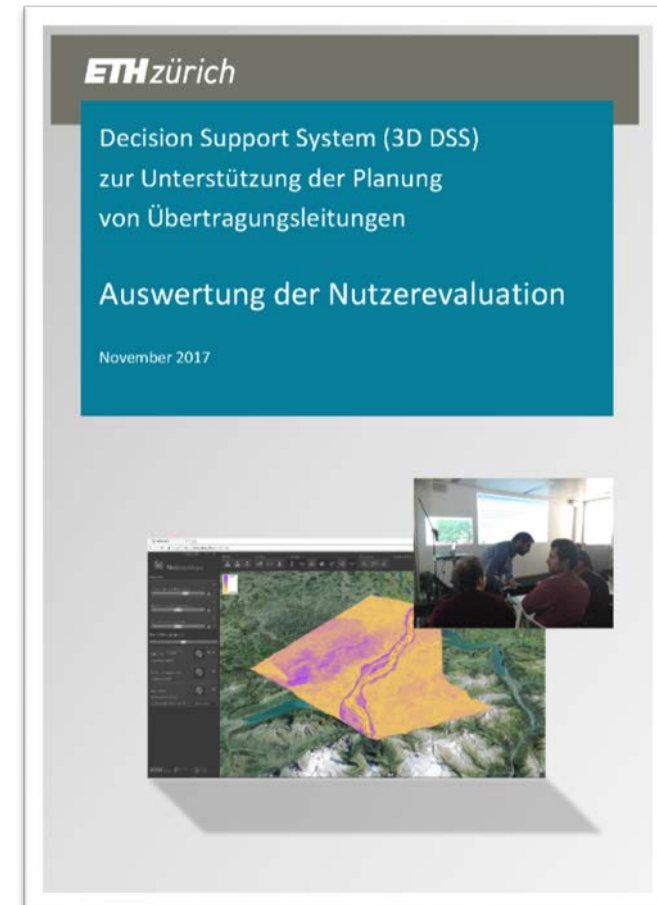
3 Workshops mit Swissgrid, APG und diversen Bundesämtern durchgeführt

- Experten evaluierten:
 - 6 MCDA-Modelle
 - 3 Gewichtungsmodelle
 - 3 Szenarien
- 3D DSS wurde auf Funktionalität und Nutzerzufriedenheit bewertet

Kategorien	Widerstand	Eignung der Zone für Leitungen	Gewicht
Landschafts-/Biotopschutz			
Auen/Amphibiengeb. v. nat. Bed.	1	weitgehend ungeeignet	2
Biosphärenreservate	1	weitgehend ungeeignet	2
BLN	1	weitgehend ungeeignet	2
Geotope	0	neutral	2
Moorbiotope v. nat. Bed.	2	ungeeignet	3
Moorlandschaften v. nat. Bed.	1	weitgehend ungeeignet	3
Naturschutzgebiete	1	weitgehend ungeeignet	2
Pärke v. nat. Bed.	0	neutral	2
Schutzwürdige Feuchtgebiete,...	1	weitgehend ungeeignet	2
Schutzgebiete nach Jagdgesetz	0	neutral	2
TWW v. nat. Bed.	1	weitgehend ungeeignet	2
Vogelschutzzonen	1	weitgehend ungeeignet	2
Wald	0	neutral	2
Bevölkerung/Raumplanung			
Kulturgüterschutzobjekte (KGS)	-1	weitgehend geeignet	2
ISOS-Objekte	1	weitgehend ungeeignet	2
IVS-Objekte	0	neutral	2
Historische Areale	0	neutral	1
Gebäude	0	neutral	2
Öffentliche Zonen	0	neutral	2
Wohn-, Arbeits- und Mischzonen	1	weitgehend ungeeignet	2
Freizeitorde	0	neutral	2
Tourismuszonen	0	neutral	2
Infrastrukturanlagen	1	weitgehend ungeeignet	2
Landwirtschaftszonen	-1	weitgehend geeignet	1
Bündelung m. exist. Leitungen	-1	weitgehend geeignet	2
Bündelung m. exist. Verkehrsinfra.	0	neutral	2
Techn. Umsetzbarkeit			
Naturgefahrenzonen	1	weitgehend ungeeignet	2
Oberflächengewässer	0	neutral	2
S1-Grundwasserzone	2	ungeeignet	3
S2-Grundwasserzone	1	weitgehend ungeeignet	2
ungeeignetes Relief	0	neutral	2

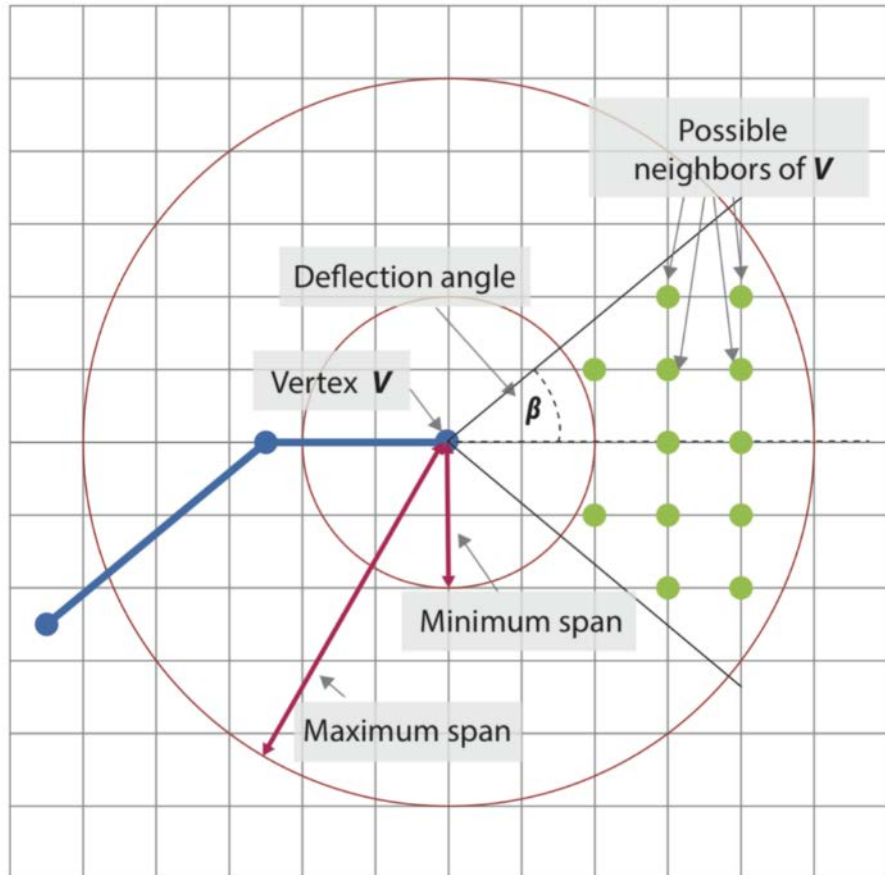
Resultate der Anwender-Workshops

- 👍 Grosses Potential zur Unterstützung der Leitungsplanung in einer frühen Phase
- 👍 Hilfreiche Denk- und Diskussionsgrundlage
- 👍 Gute, nützliche Funktionsweise
- 👉 Entscheidungsmodelle komplexer gestalten
- 👉 Auf ganzheitliche Betrachtung fokussieren

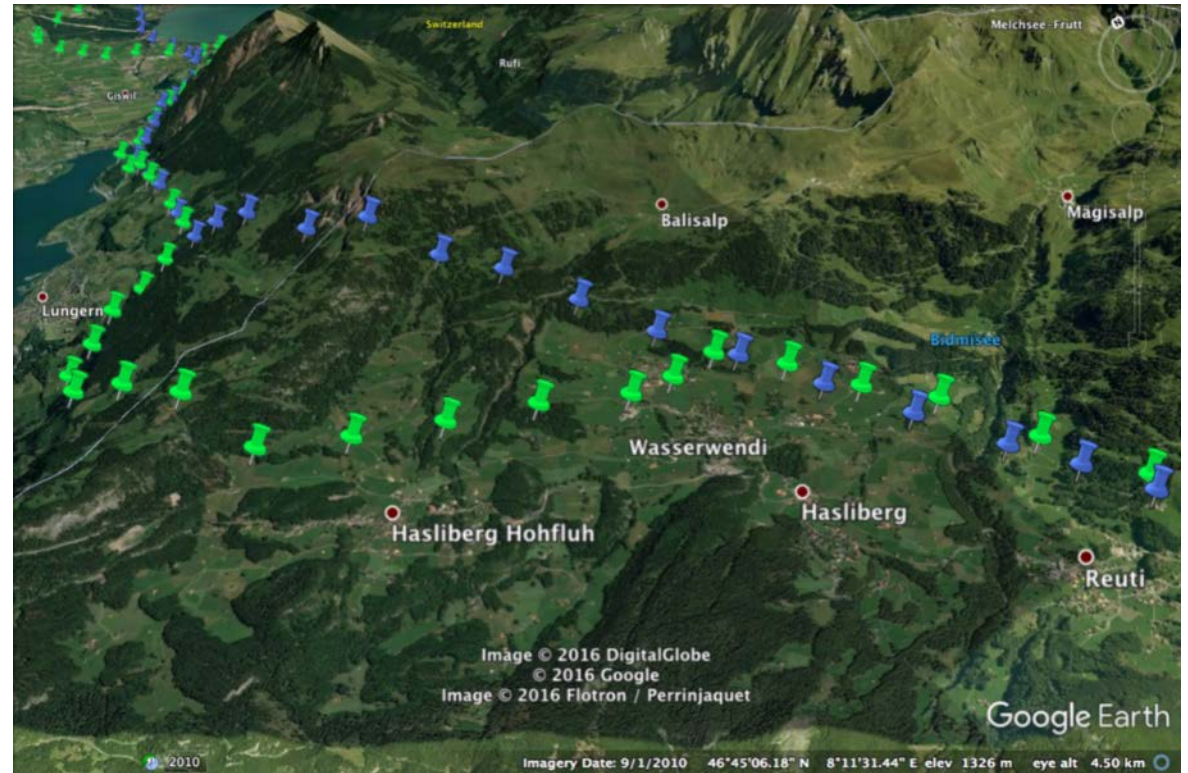


Studie 2: Algorithmus zur Mastpositionierung in Masterarbeit erstellt und evaluiert

Schrittweise Berechnung der idealen Mastposition von Mast zu Mast



Piveteau (2017)



Schrittweise Berechnung der idealen Mastposition von Mast zu Mast

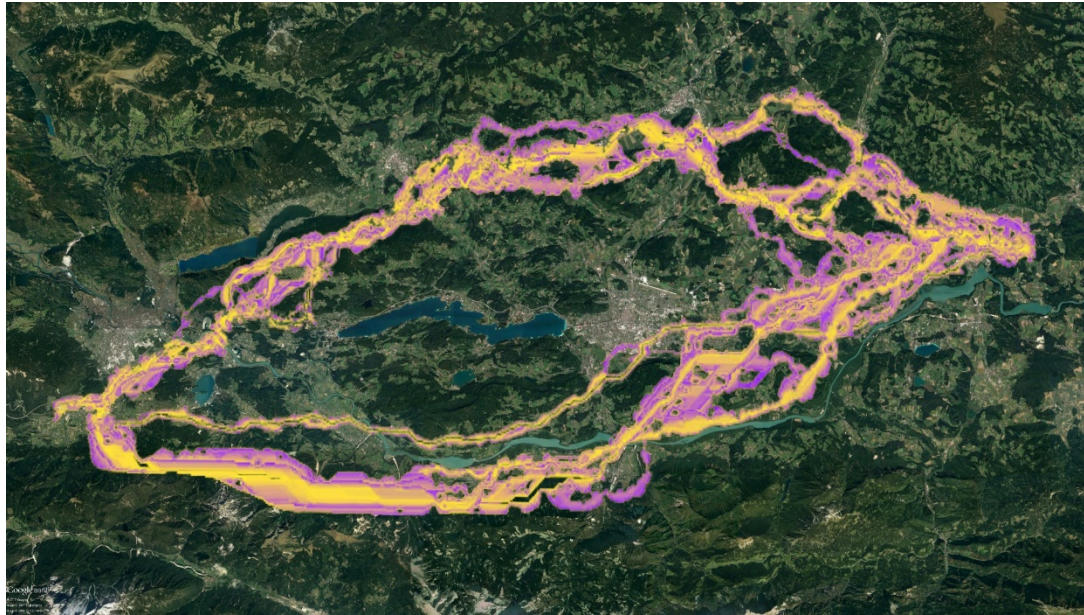
- 👍 Der Ansatz bestimmt exakte Mastpositionen
- 👍 Experten beurteilten die Positionierung der Masten als positiv, da
 - gerade Linien bevorzugt wurden
 - weniger Masten benötigt wurden
 - geringere Kosten entstehen
 - die Topografie berücksichtigt wurde
- 👍 Ideal zur Validierung der berechneten Korridore in einer späten Planungsphase



Piveteau (2017)

Studie 3: Effekt des Entscheidungsmodells durch Sensitivitätsanalyse bestimmt

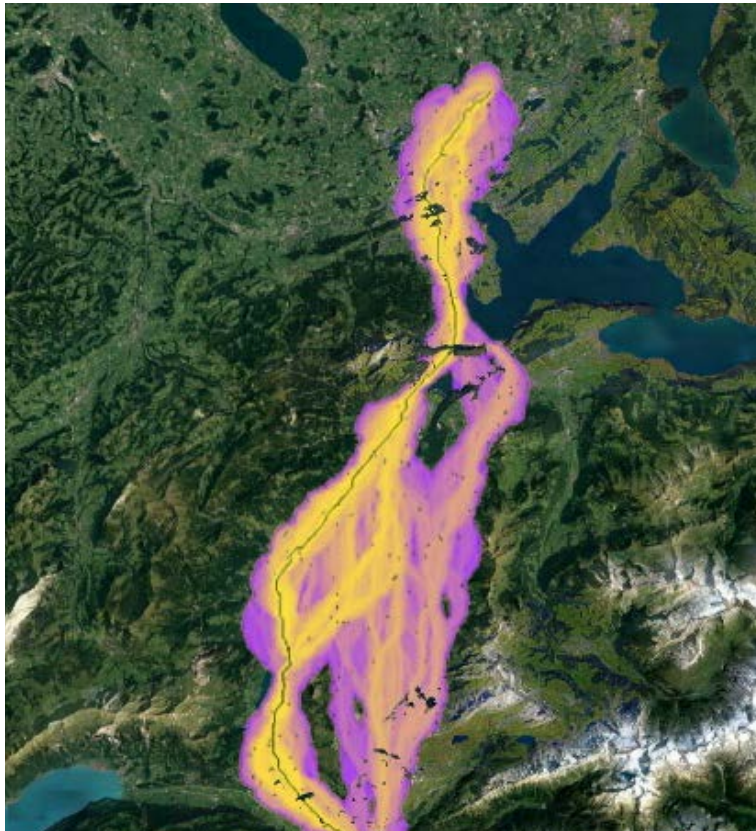
Berechnete Resultate der Sensitivitätsanalyse: 4 Millionen Runs



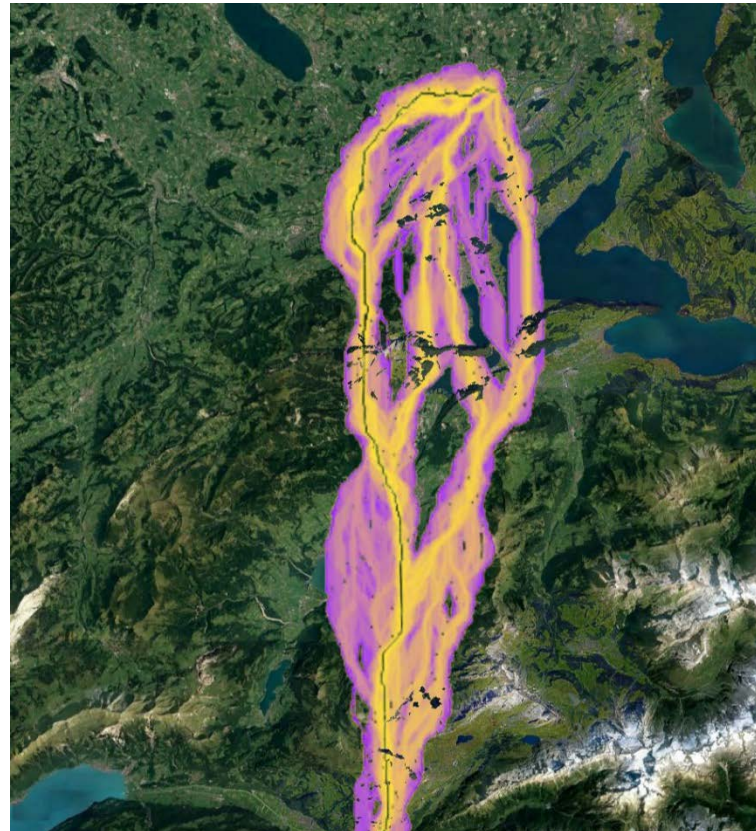
- Optimales Planungsgebiet
 - Optimaler Korridor
 - Optimales Trasse
-
- Indikative Baukosten
 - Totaler Raumwiderstand
 - Länge der durchquerten Schutzgebiete
 - Technischer Umsetzbarkeitsindex
 - Anzahl der Masten

Einfluss der Daten

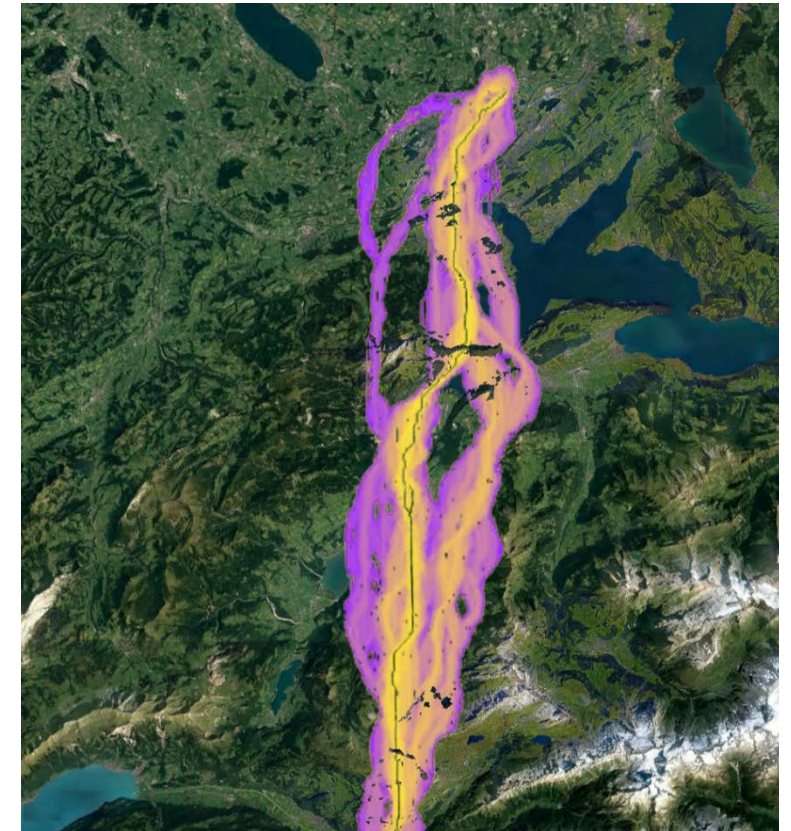
Hoher Schutz...



...bedeutende Landschaften

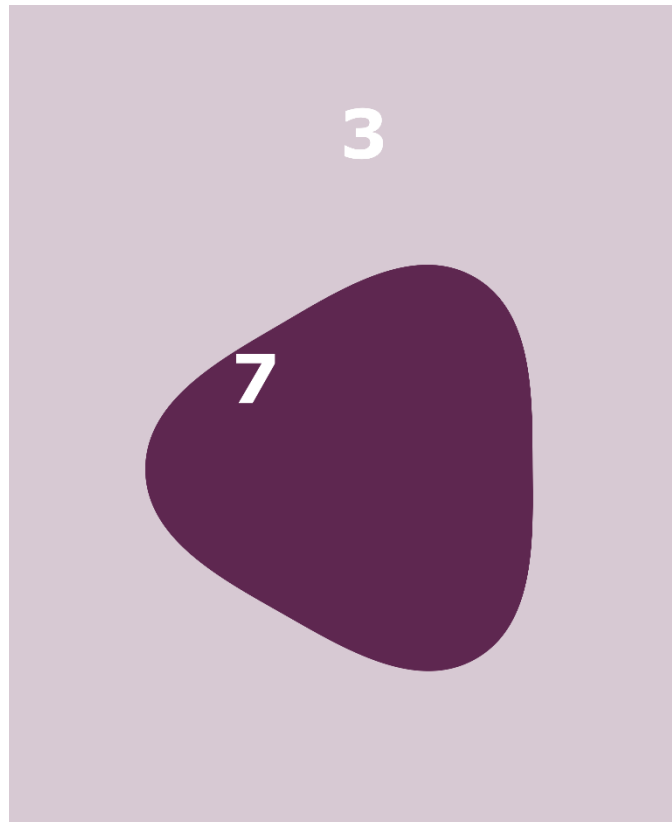


...Siedlung/ Tourismusgebiete

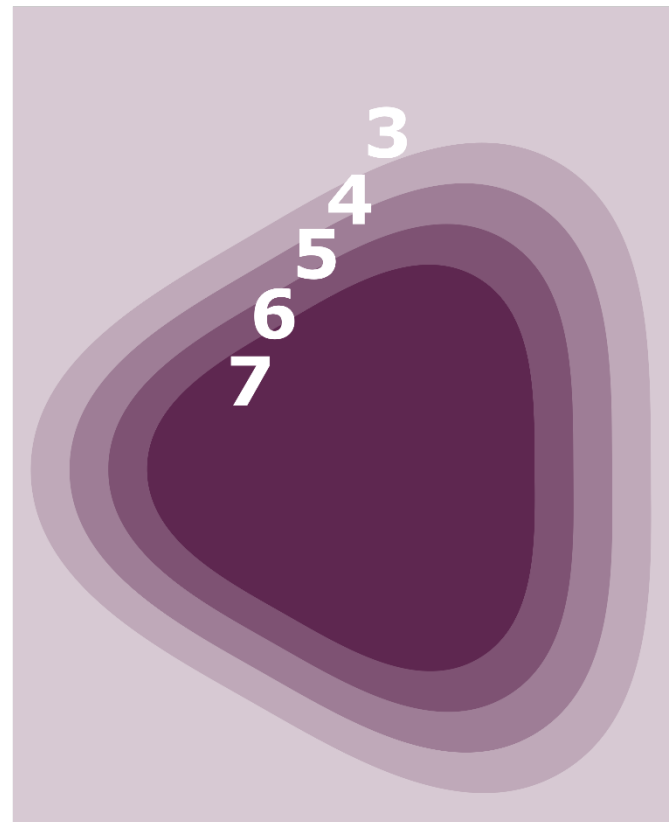


...Biodiversität

Einfluss des Begrenzungsmodells



scharfkantig



kontinuierlich

Einfluss der MCDA-Methode und des Begrenzungsmodells

$$t_1(g, w) = \sum_{i=1}^n h_{a,i}(g, w) u_{b,i,x}(w)$$



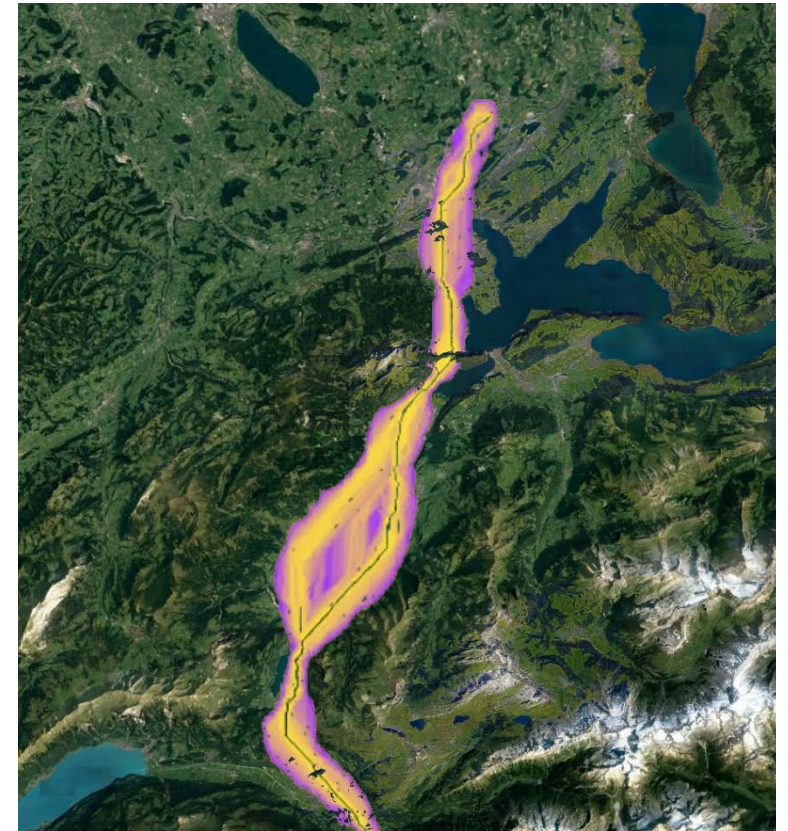
Modell 1, scharfkantig

$$t_2(g, w) = \frac{\sum_{i=1}^n h_{a,i}(g, w) \cdot u_{b,i,x}(w)}{\ln c_x + 1} \quad \forall c_x \geq 1$$



Modell 2, scharfkantig

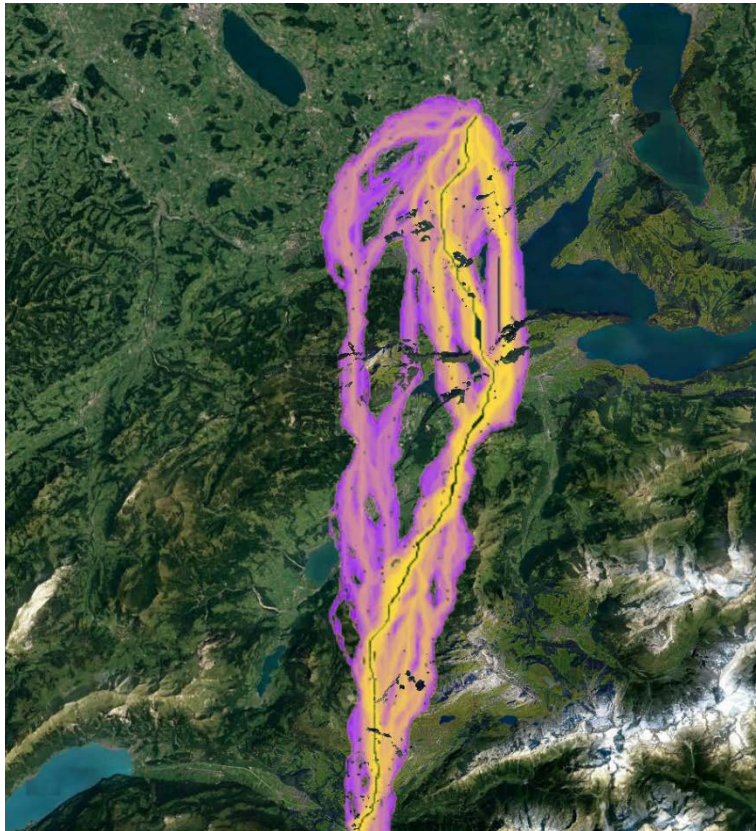
$$t_3(g, w) = \max_{i \in \{1, \dots, n\}} (h_{a,i}(g, w) \cdot u_{b,i,x}(w))$$



Modell 3, scharfkantig

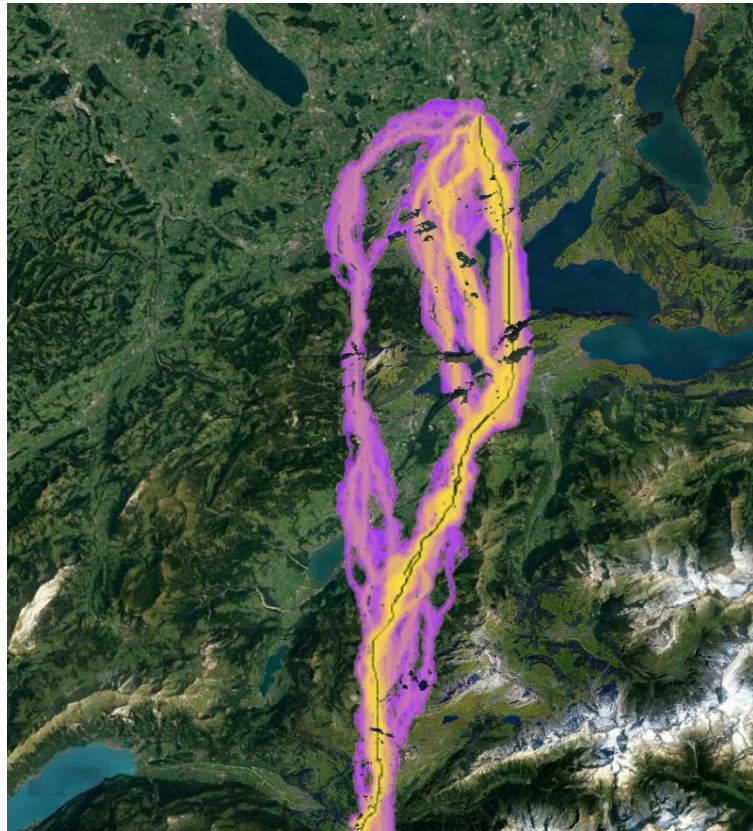
Einfluss der MCDA-Methode und des Begrenzungsmodells

$$t_1(g, w) = \sum_{i=1}^n h_{a,i}(g, w) u_{b,i,x}(w)$$



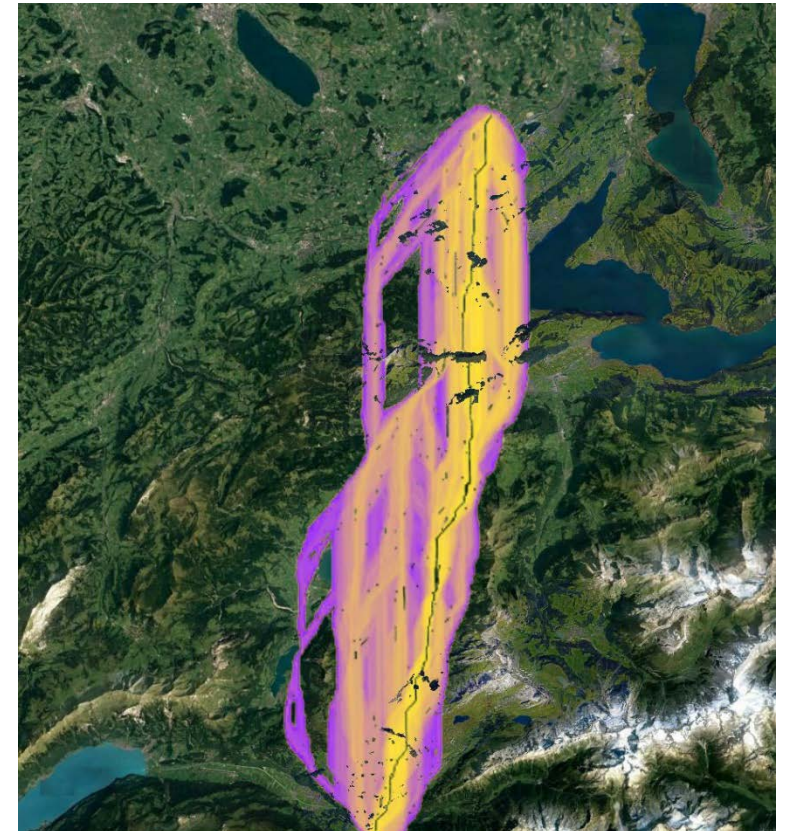
Modell 1, kontinuierlich

$$t_2(g, w) = \frac{\sum_{i=1}^n h_{a,i}(g, w) \cdot u_{b,i,x}(w)}{\ln c_x + 1} \quad \forall c_x \geq 1$$



Modell 2, kontinuierlich

$$t_3(g, w) = \max_{i \in \{1, \dots, n\}} (h_{a,i}(g, w) \cdot u_{b,i,x}(w))$$



Modell 3, kontinuierlich

Einfluss der MCDA-Methode und des Begrenzungsmodells

**berücksichtigt zusätzliche
Schutzdistanzen**

**höherer Schutz von
bedeutenden Landschaften
und Siedlungsgebieten**

einfache Berechnung

**wird den Erwartungen der
Experten am gerechtesten**

Modell 1, kontinuierlich

**kein relevanter Unterschied
zum Modell 1, trotz
Berücksichtigung von
Überlappungen**

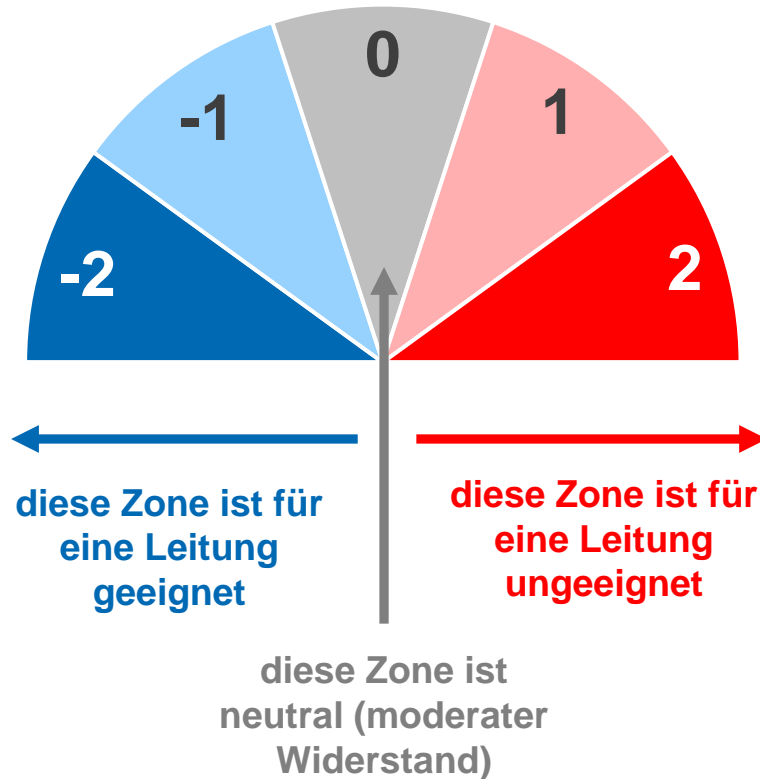
Modell 2, kontinuierlich

**unrealistische
Korridorvorschläge durch
Nichtberücksichtigung von
sich überlappenden
Schutzgebieten**

Modell 3, kontinuierlich

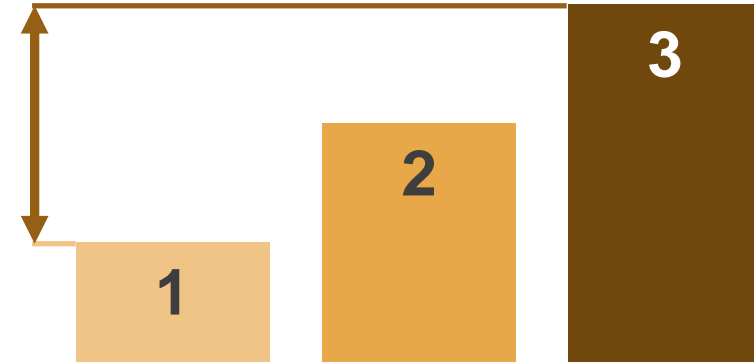
Einfluss von Widerständen und Gewichtungen

Widerstände



Gewichtungen

je höher das Gewicht, desto höher ist der Einfluss des Faktors innerhalb einer Kategorie



je höher das Gewicht, desto höher ist der Einfluss des Widerstandes

Einfluss der Gewichtung: 3 empirisch festgelegte Modelle wurden getestet

Faktor	Widerstand	Gewichtungen	Widerstand korrigiert
Naturgefahren	2	1	2.000
Oberflächengewässer	1	3	1.500
S1-Grundwasserzone	0	1	0.000
S2-Grundwasserzone	-1	2	-1.250
ungeeignetes Relief	-2	3	-2.500

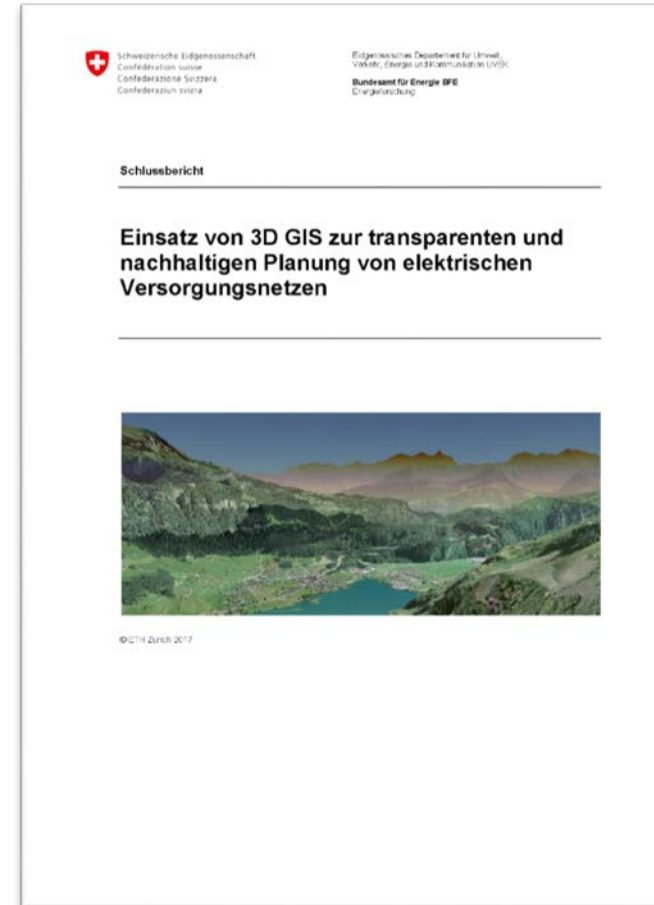
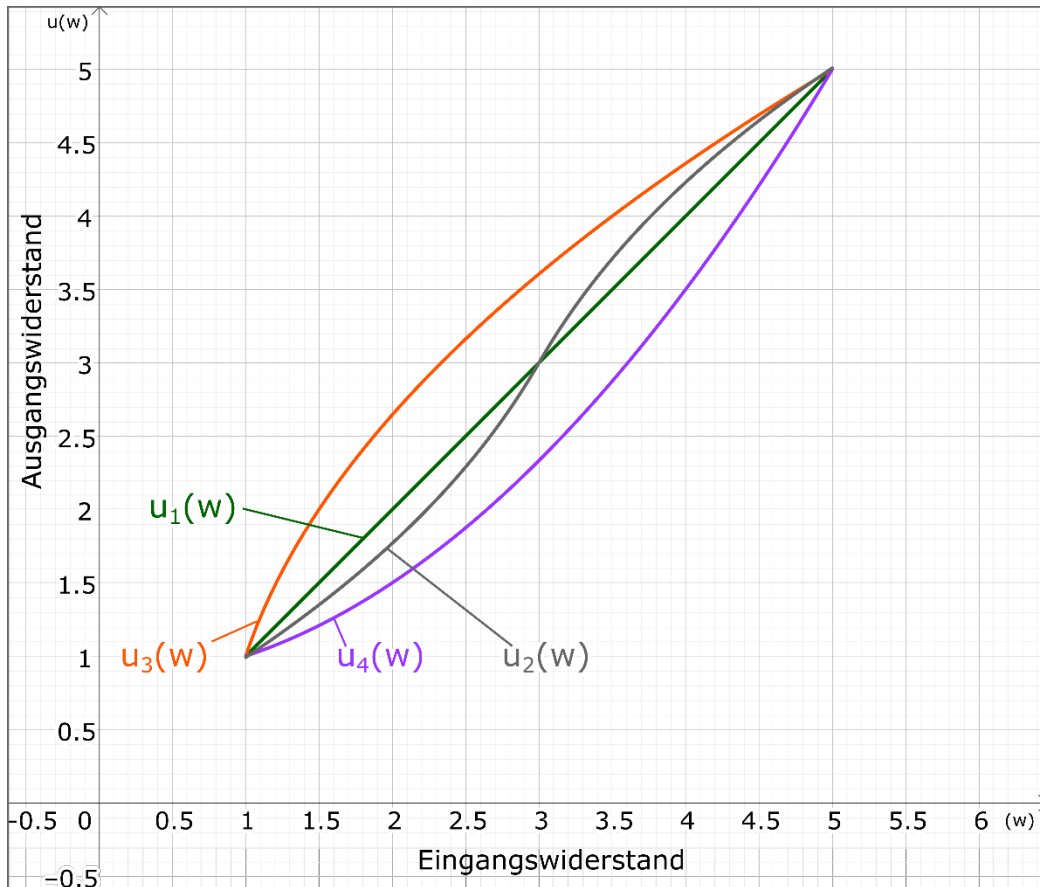
Signifikanter Einfluss auf die Variabilität des Resultats

B nicht signifikant

C nicht signifikant

Frage: Wie sollen positive und negative Widerstände in ihrer Wirkung verstärkt werden?

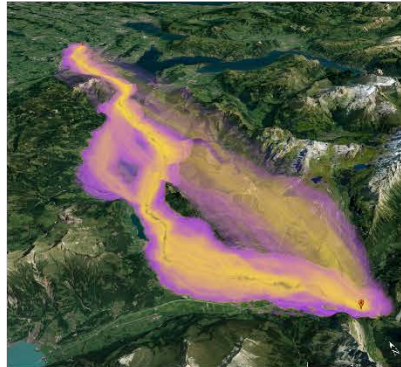
Einfluss der Nutzenfunktion: Wie sollen die Begriffe «geeignet», «weitgehend geeignet», «neutral», etc. mathematisch umgesetzt werden?



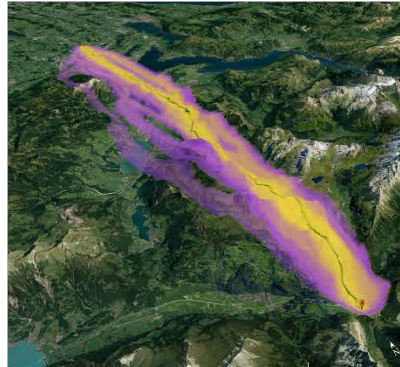
Untersuchung zweier Modellregionen: Ausschlaggebende Parameter

Modellregion 1

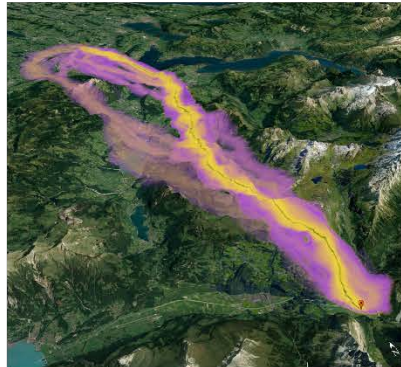
Cluster 1



Cluster 2



Cluster 3



Suitability



Modellregion 2

Cluster 1



Cluster 2



Cluster 3



Cluster 4



Cluster 5



Cluster 6



Cluster 7



Cluster 8

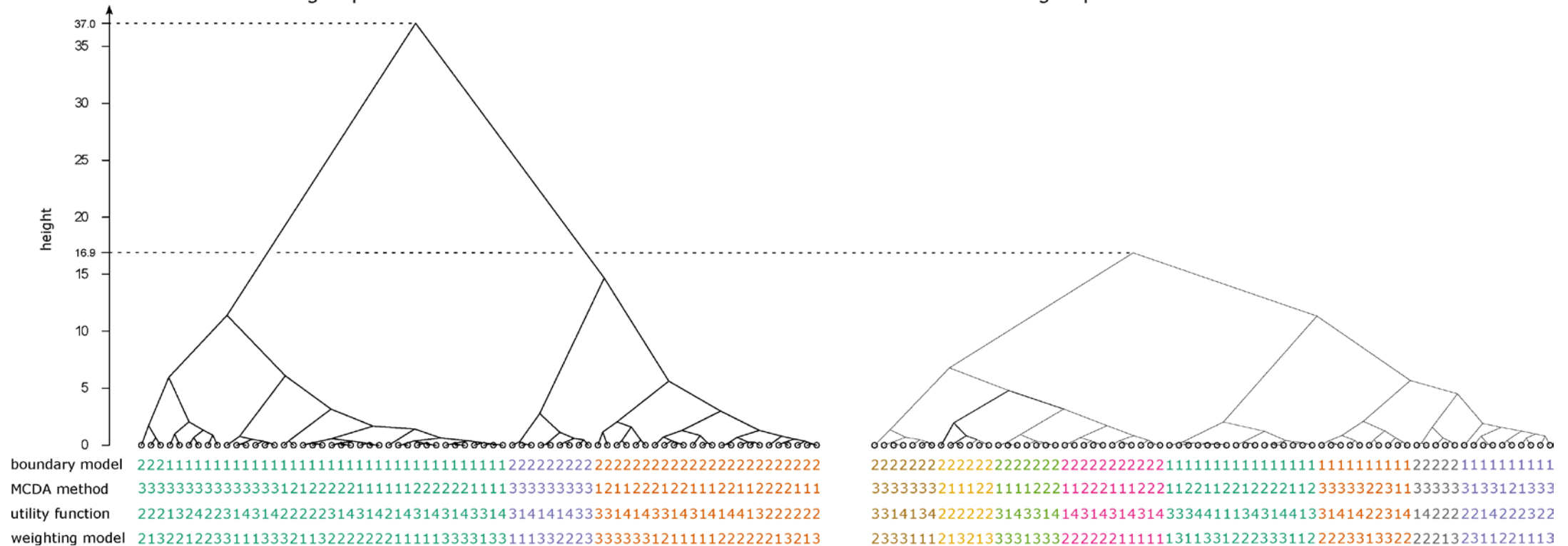


Untersuchung zweier Modellregionen: Ausschlaggebende Parameter

dendrograms showing the clustering of all parameter combinations

Modellregion 1
grouped into 3 clusters

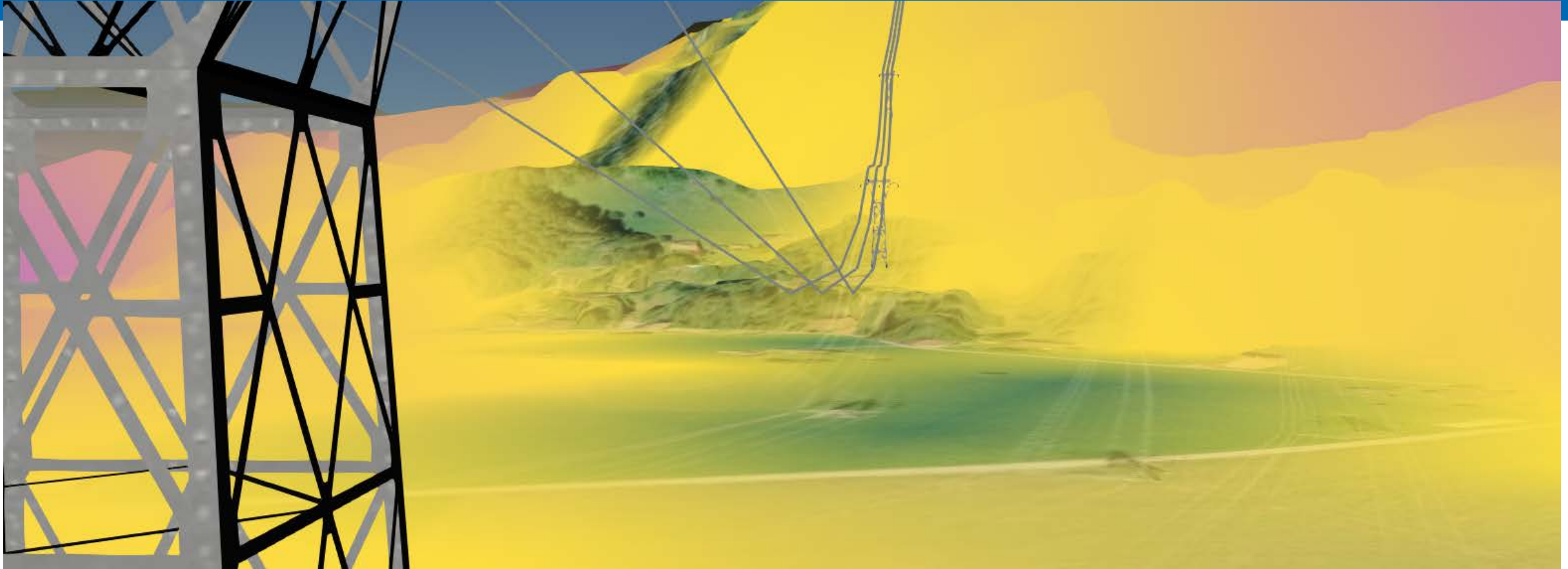
Modellregion 2
grouped into 8 clusters



Wie eine statistische Datenanalyse die Argumentation unterstützen kann

- Angewandte statistische Methode findet die dominanten Parameter des Modells.
 - Wir wissen, welcher Parameter wie viel zum Resultat beiträgt.
 - Ansatz zur Entzerrung des Modells vorgeschlagen, aber noch nicht getestet.
- ☞ Volle Kenntnis über das Modell kann als wichtiges Argument für eine bestimmte Trasseeführung eingesetzt werden.





Nächste Schritte

Visualisierung von Point Clouds



Visualisierung ohne (links) oder mit (rechts) Point Clouds

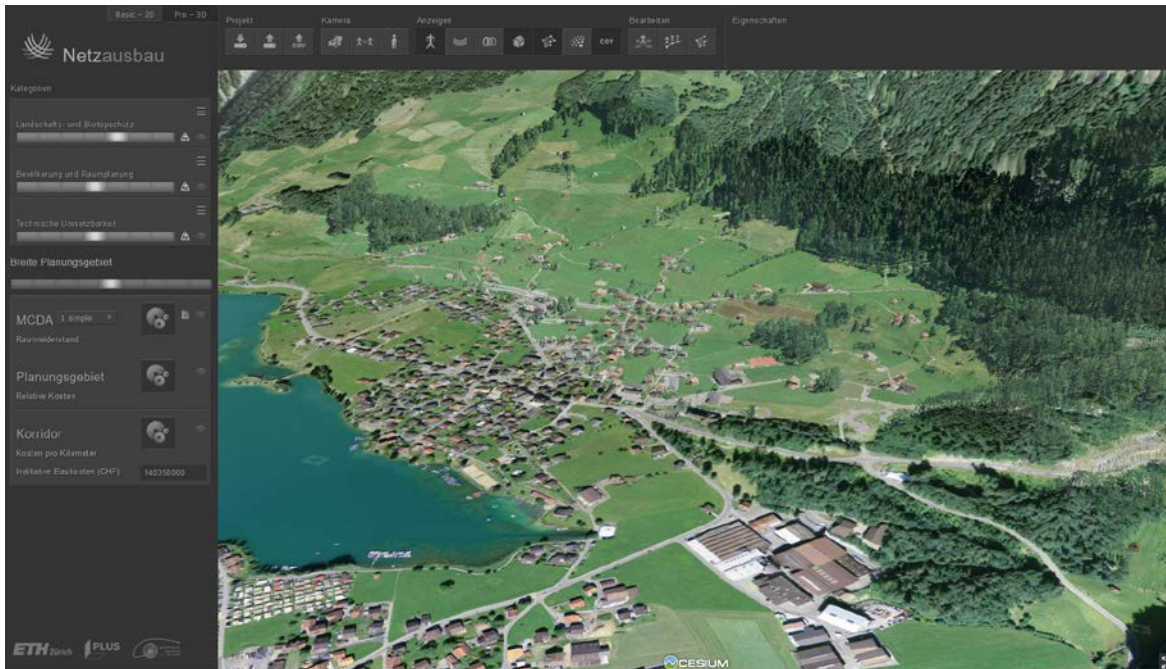


Visualisierung ohne (links) oder mit (rechts) Point Clouds

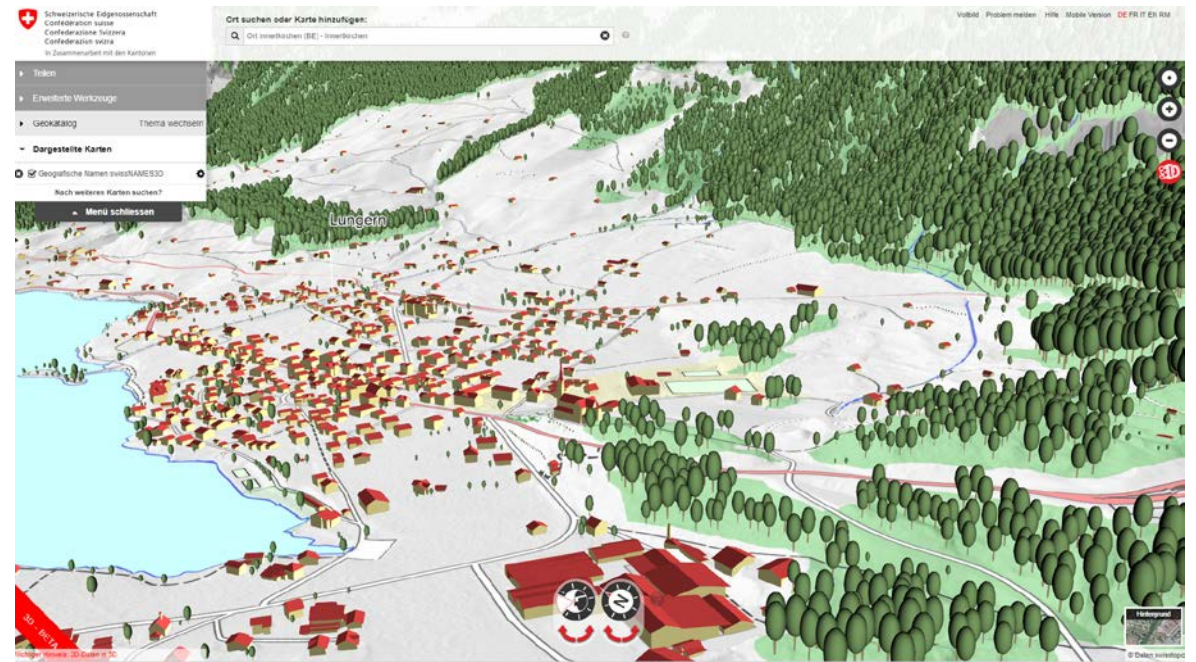


Mögliche Erweiterung: TLM 3D-Daten einbinden

Visualisierung mit LiDAR-Daten

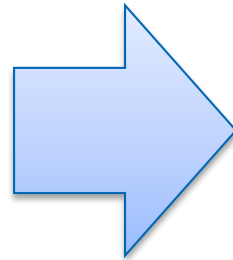


Beispiel: Swisstopo-Visualisierung mit TLM 3D-Daten

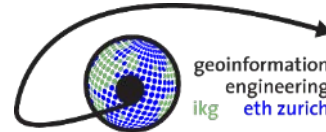


<https://www.geo.admin.ch/de/home.detail.news.html/geo-internet/news2017/news20171025.html.html>

Neues Projekt: «Erweiterung des 3D DSS: Integration von Erdkabeln»



Projektgruppe 3D DSS – EK



Förderung und fachliche Unterstützung



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Energie BFE
Swiss Federal Office of Energy SFOE



Fachliche Unterstützung

In cooperation with the CTI



Energy funding programme
Swiss Competence Centers for Energy Research



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Swiss Confederation

Commission for Technology and Innovation CTI



Augmented und Virtual Reality



- Lösung für mobile Geräte soll Zusatzinformationen anzeigen.
- Nutzer können Alternativen vor Ort bewerten und kommentieren.
- Verbesserte Kommunikation.
- Vereinfachte Entscheidungsfindung.

Ideen für weitere Publikationen

- Wie sicher sind Voraussagen eines Korridors, wenn man die modellierten Trassees analysiert?
- Inwiefern eignet sich eine andere Abfragemethode für eine realistische Modellierung? (laufende Masterarbeit)
- Lässt sich die Akzeptanz erhöhen, wenn man zur Visualisierung Virtual, Mixed oder Augmented Reality einsetzt?



Einsatz in realen Netzausbauprojekten



- Verwendung zur übergeordneten **Planung**
- Wirkt **entscheidungsunterstützend**
- Verwendung als **Kommunikationsmittel** an Informationsveranstaltungen
- **Visualisierung** des finalen Trassees aus der Perspektive betroffener Bürger




Wie wir eine höhere Akzeptanz erreichen wollen



- Höhere **Glaubwürdigkeit** aufgrund realistischer Visualisierung
- **Offenheit** gegenüber unterschiedlichen Technologien und Lösungen
- **Interessen aller Stakeholder** werden durch MCDA berücksichtigt
- Höhere **Transparenz** im Entscheidungsprozess

Links



-  <https://netzausbau.ethz.ch/ch/>
-  https://www.youtube.com/watch?v=PDWy_unkKy8
-  <http://www.esc.ethz.ch/news/archive/2017/05/3d-gis-for-planning-electric-power-systems.html>



Diskussion

Haben Sie Fragen zum 3D DSS oder zur Methodik?

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit.

