



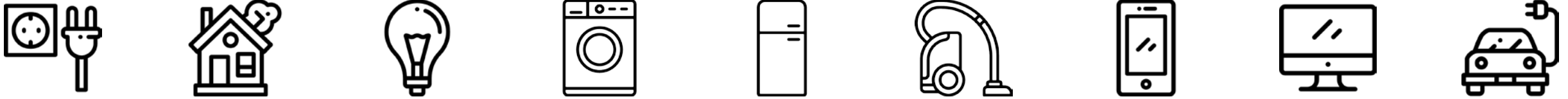
## Wie ein 3D Decision Support System die Leitungsplanung unterstützt

Joram Schito<sup>1</sup>, Prof. Dr. Martin Raubal<sup>1</sup>, Prof. Dr. Adrienne Grêt-Regamey<sup>2</sup>, Dr. Ulrike Wissen Hayek<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ETH Zürich, Institut für Kartografie und Geoinformation, Lehrstuhl für Geoinformations-Engineering

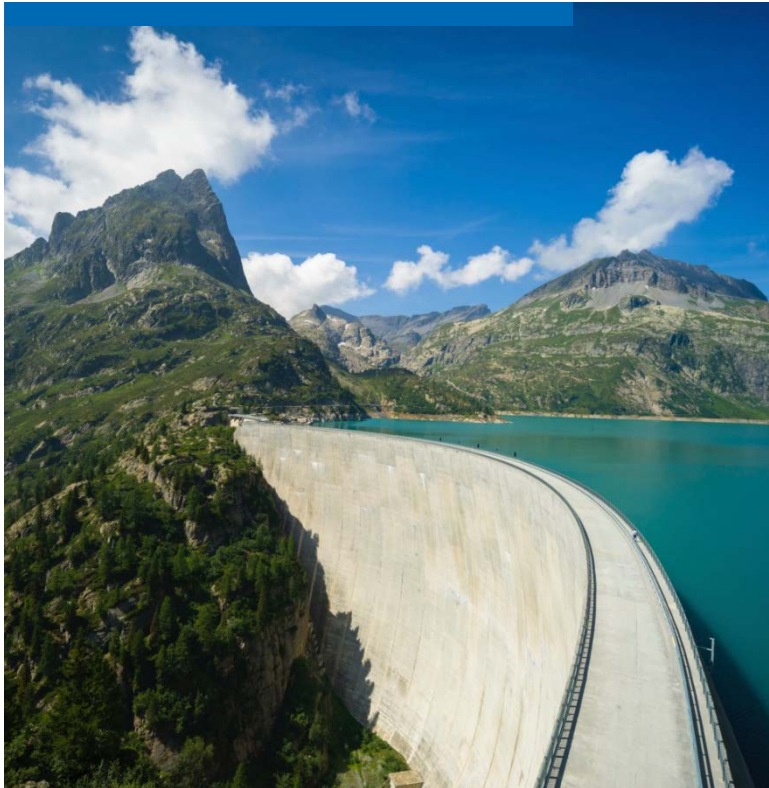
<sup>2</sup>ETH Zürich, Institut für Raumplanung, Lehrstuhl für Planung von Landschaft und Urbanen Systemen

# Wir alle brauchen Strom für unseren Alltag



# Gründe für den Netzausbau

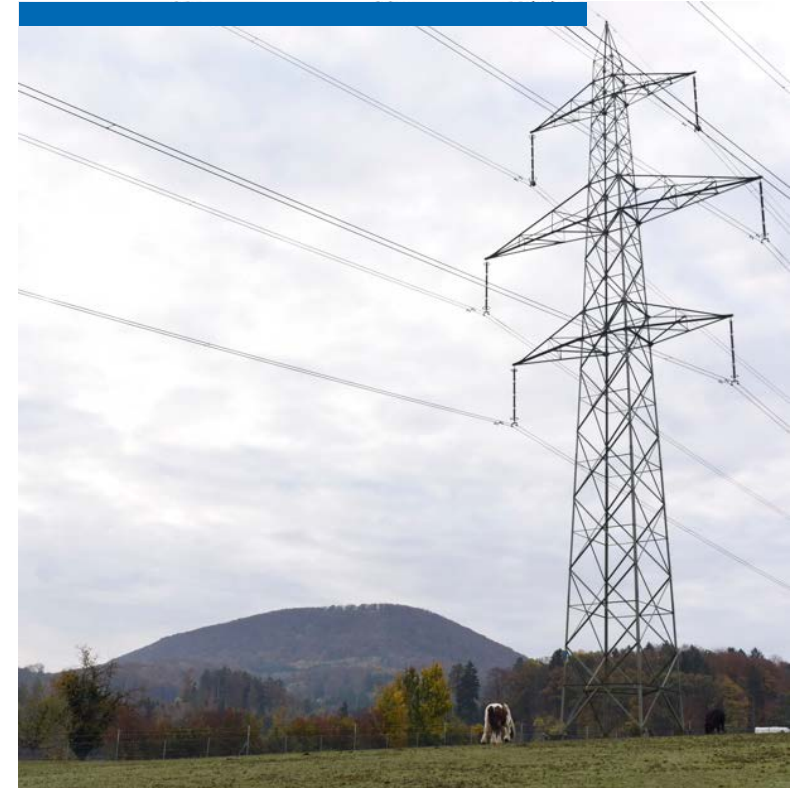
## Neue Grosskraftwerke



## Internationaler Verbund



## Versorgung nachgelagerter Netze





# Verzögerungen in Netzbau- projekten

Warum?

# Geringe Akzeptanz neuer Leitungen führt zu Projektverzögerungen



bergheinfeld-sagt-nein.de (2017)

# Kommunikation mit betroffenen Bürgern kann deren Akzeptanz erhöhen

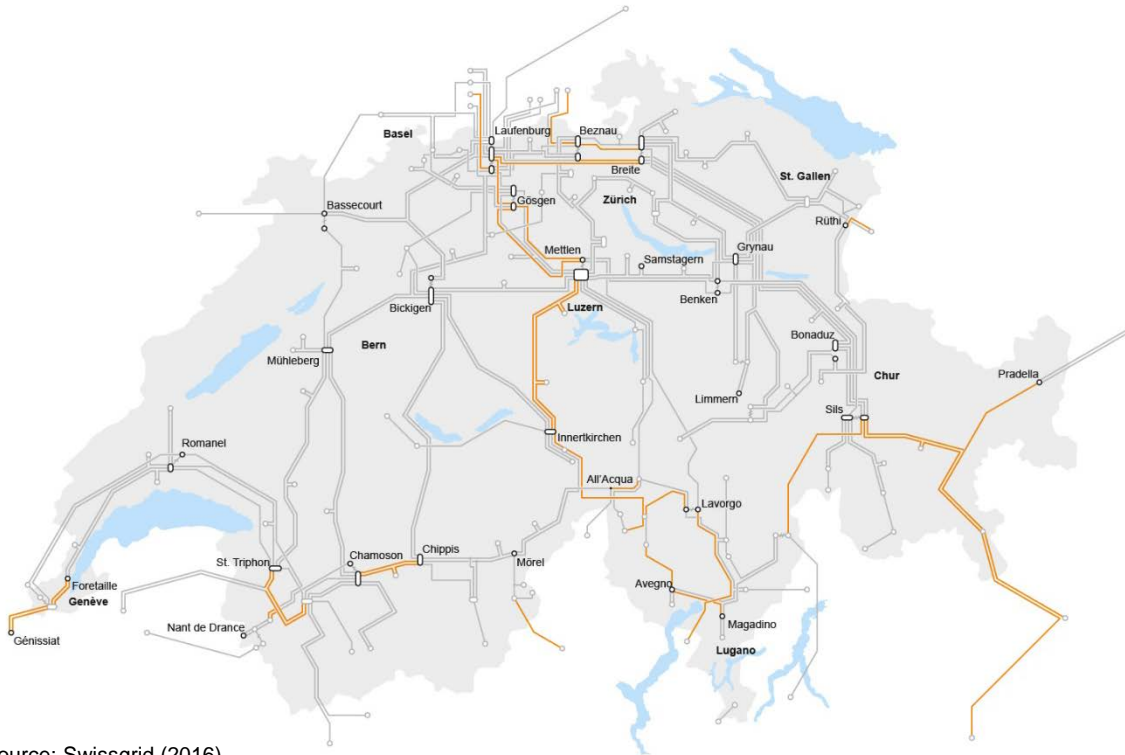


# Entscheidungsträger wollen zwischen wenigen Alternativen entscheiden, nicht zwischen Tausenden oder Millionen

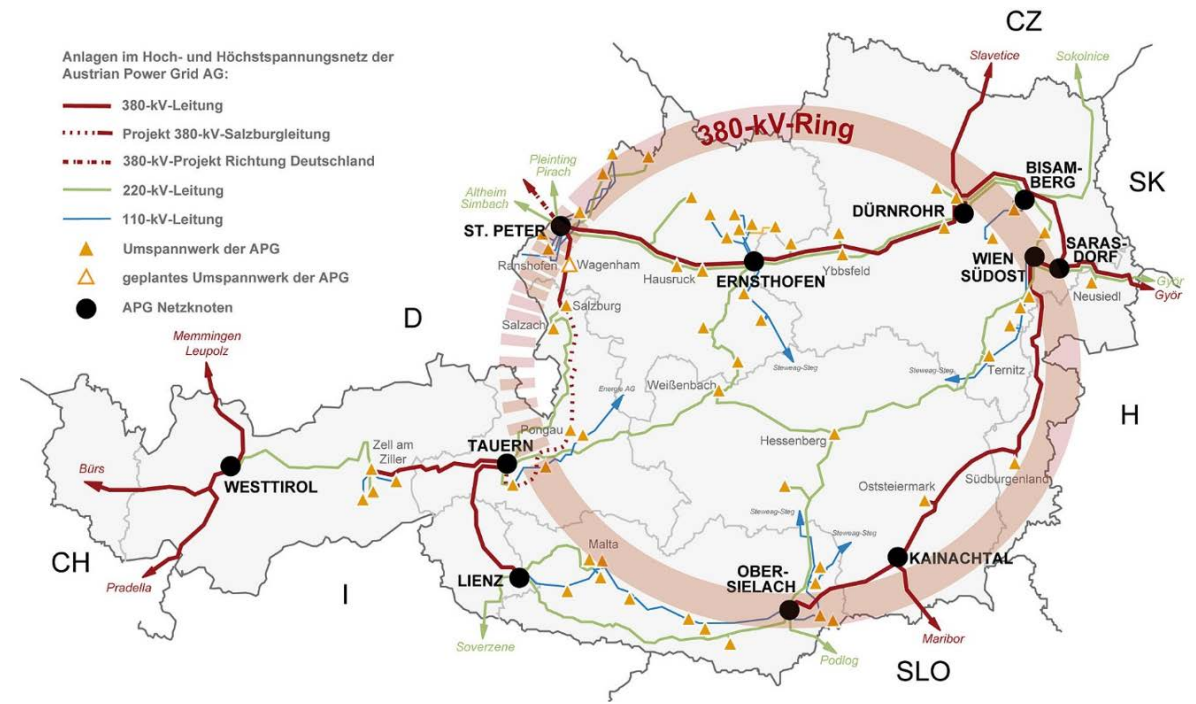


**Wie muss ein Entscheidungsmodell erstellt werden, um klar unterscheidbare Alternativen zu erzeugen?**

# Studiengebiete fokussieren auf Engpässe in der Schweiz und in Österreich



Source: Swissgrid (2016)



Source: APG (2014)



# 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

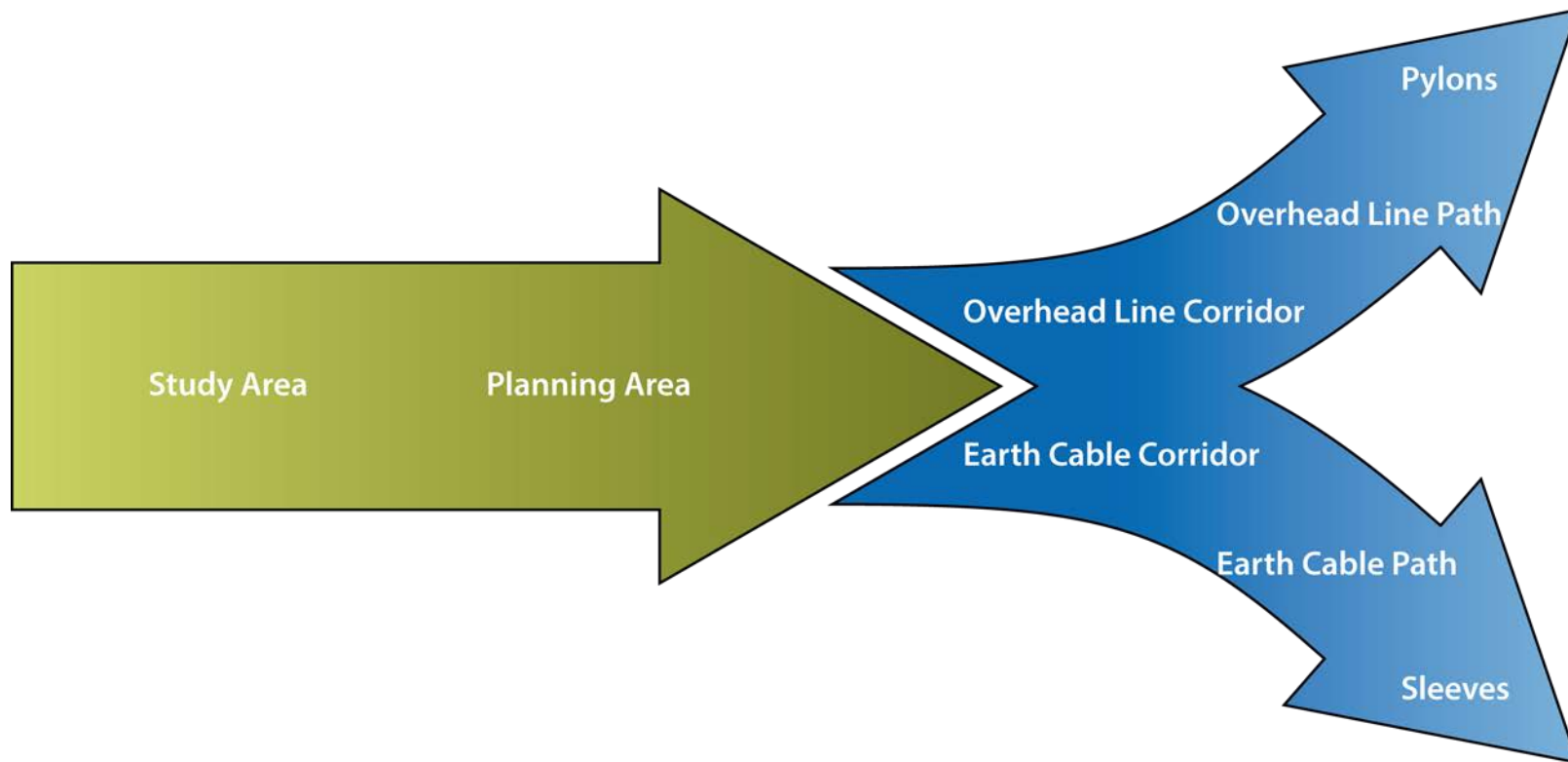
# Löse räumliches Problem mit Geografischen Informationssystemen (GIS)

## Löse Entscheidungsproblem mit Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA)

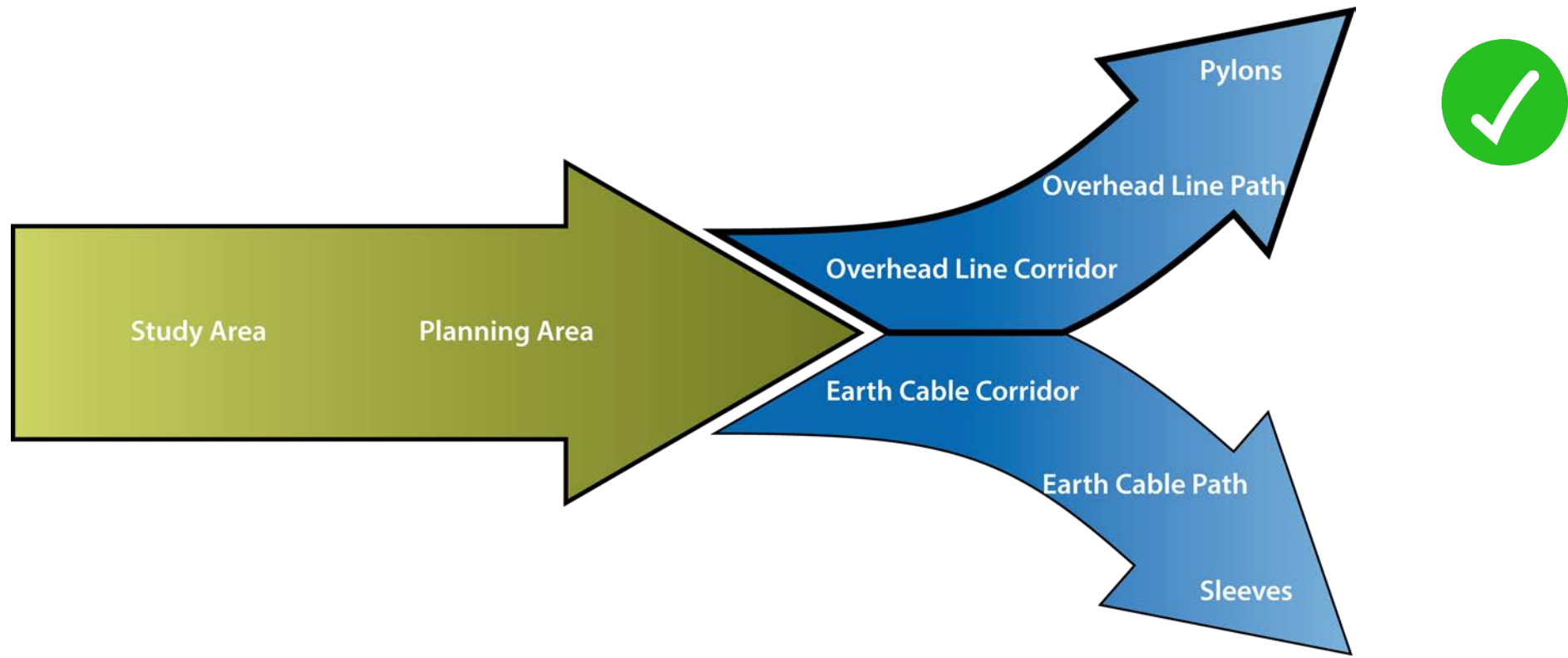


## Wie unser 3D Decision Support System (3D DSS) funktioniert

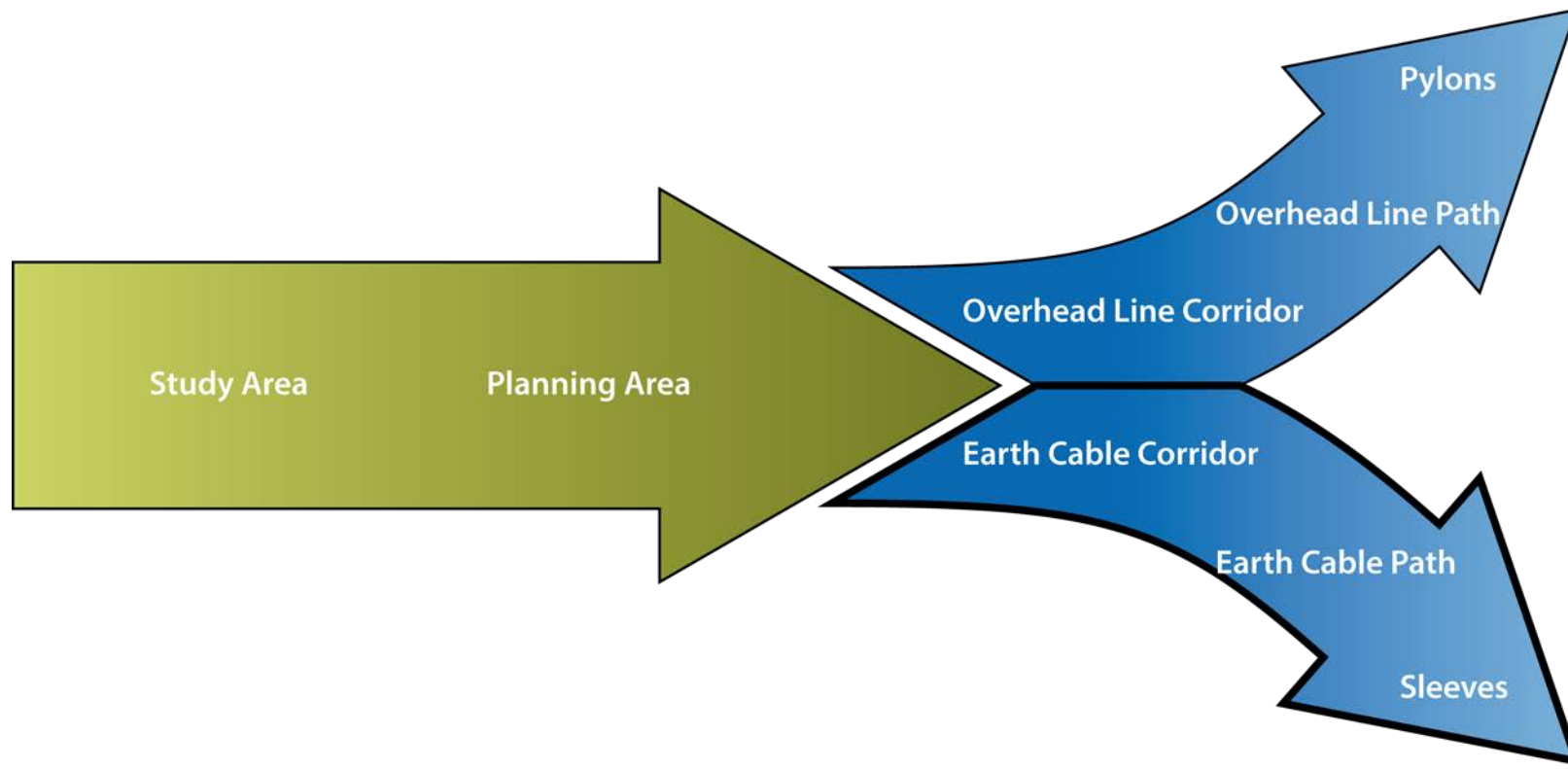
# Kaskadische Vorgehensweise



# Kaskadische Vorgehensweise



# Kaskadische Vorgehensweise



# Das Entscheidungsmodell berücksichtigt folgende drei Dimensionen



**Technische Umsetzbarkeit**

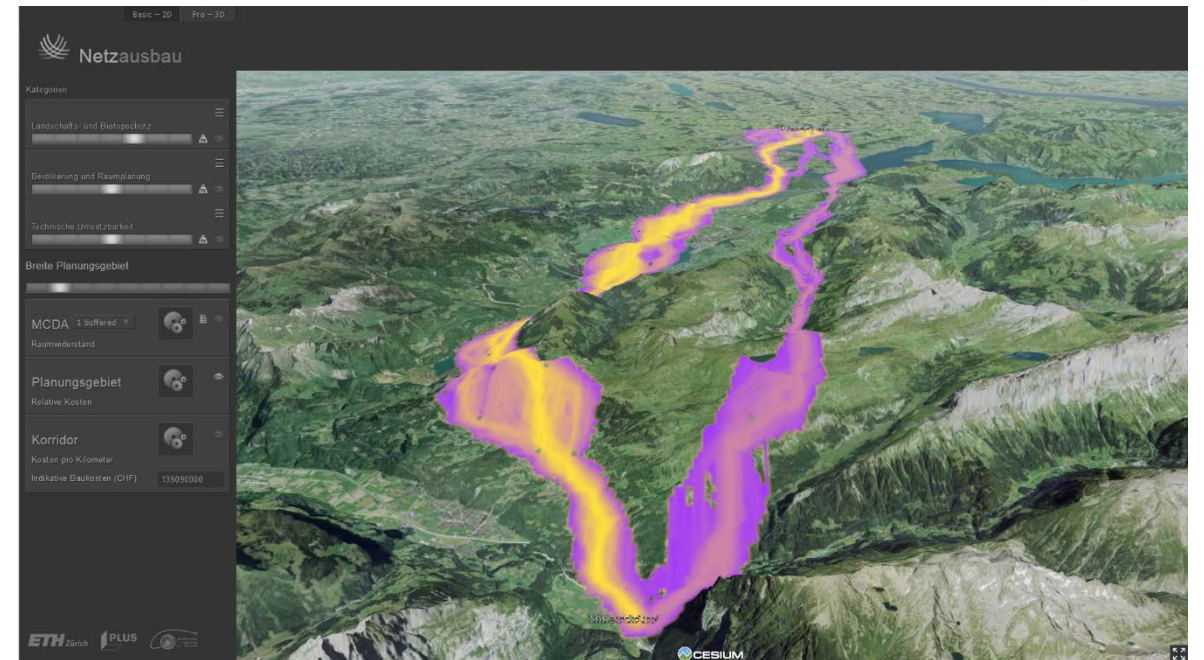
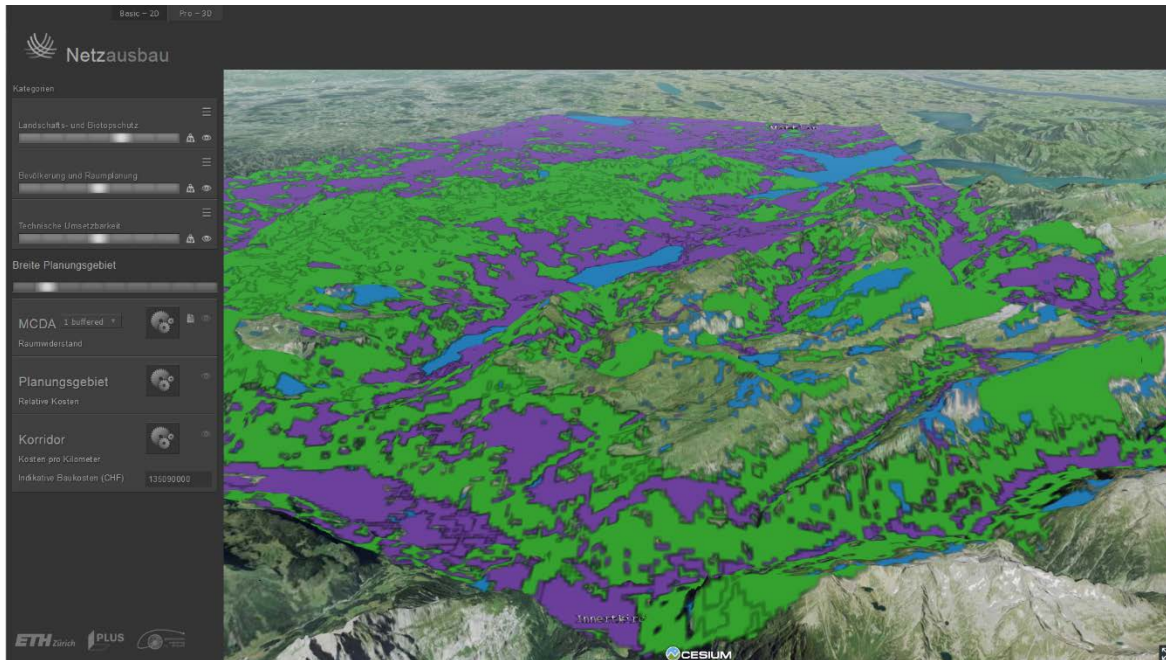


**Umwelt- und  
Landschaftsschutz**



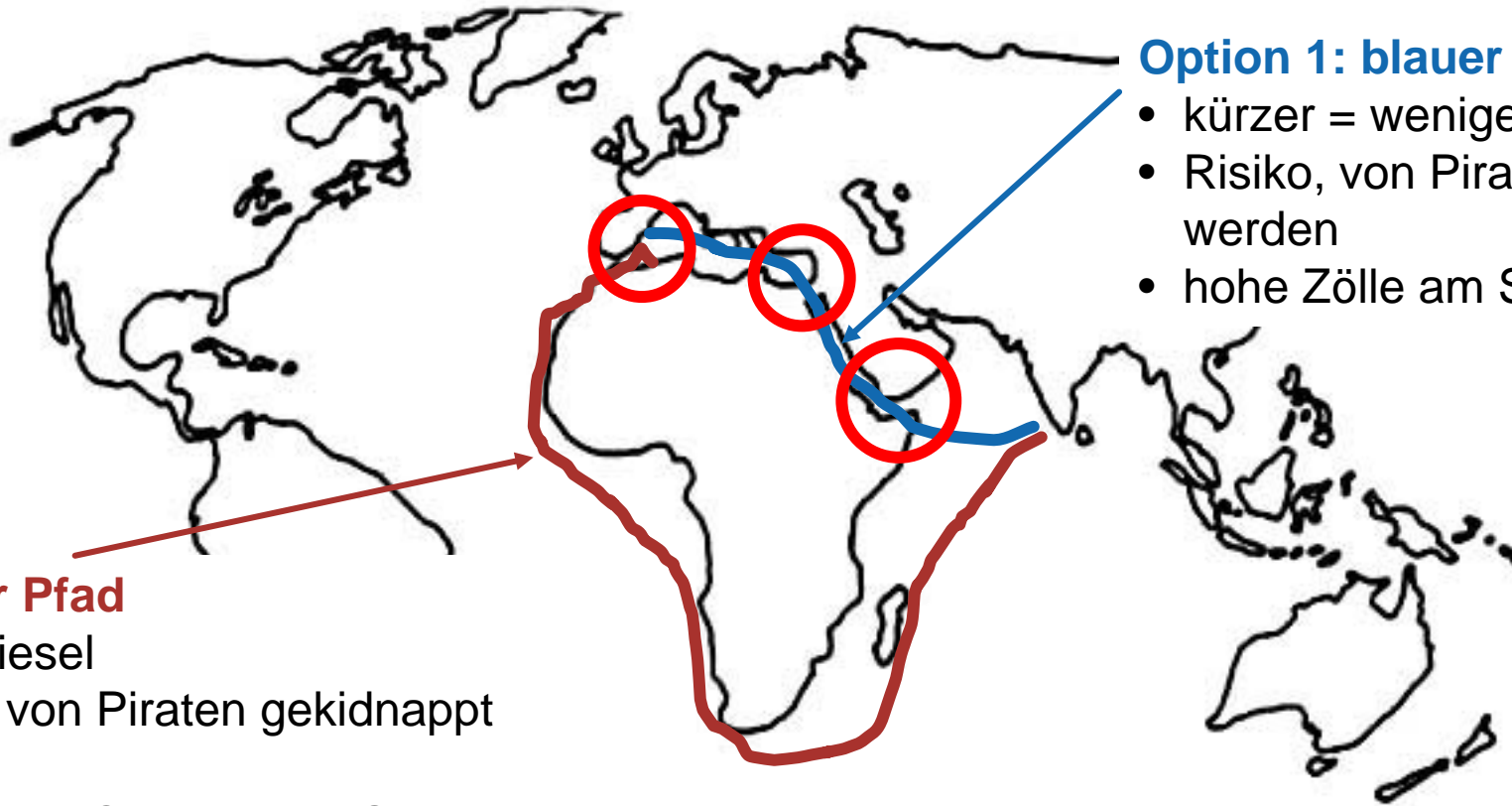
**Raumplanung**

# Wie das optimale Planungsgebiet berechnet wird





# 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

	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
<b>Totale Kosten</b>	<b>1.5</b>	<b>1.2</b>

**länger, aber günstiger!**

- **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 simple

Raumwiderstand

Planungsgebiet

Relative Kosten

Korridor

Kosten pro Kilometer

Indikative Baukosten (CHF)

140350000



## Durchgeführte Studien und Resultate

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

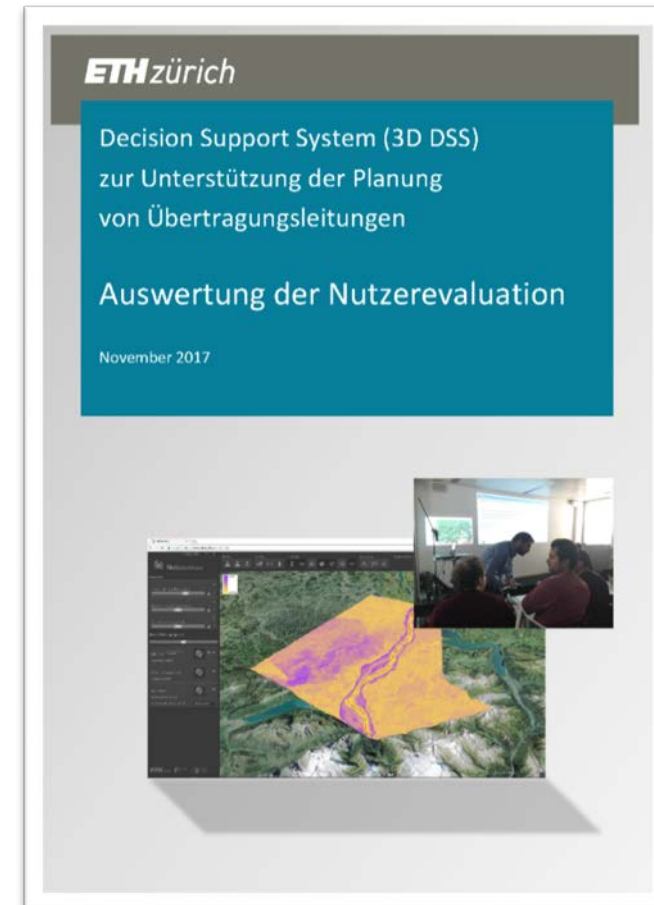
# 3 Workshops mit Swissgrid, APG und diversen Bundesämtern durchgeführt

- 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
<b>Landschafts-/Biotopschutz</b>			
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
<b>Bevölkerung/Raumplanung</b>			
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
<b>Techn. Umsetzbarkeit</b>			
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

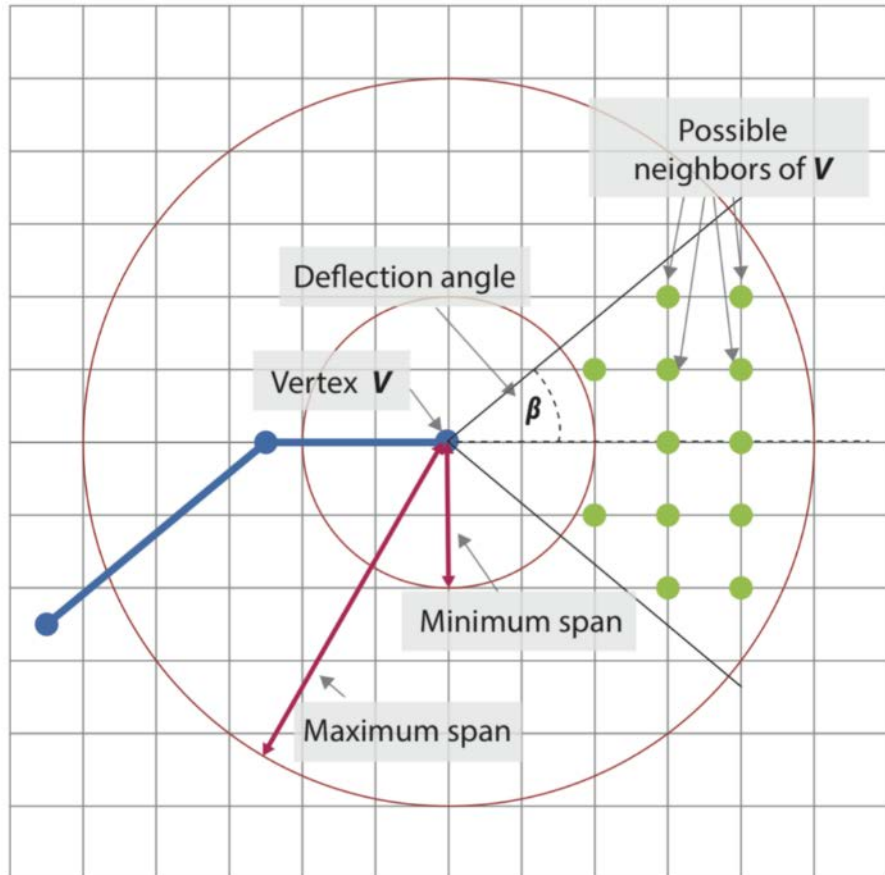
- 👍 Grosses Potential zur Unterstützung der Leitungsplanung in einer frühen Phase
- 👍 Hilfreiche Denk- und Diskussionsgrundlage
- 👍 Gute, nützliche Funktionsweise
  
- 👉 Entscheidungsmodelle komplexer gestalten
- 👉 Auf ganzheitliche Betrachtung fokussieren



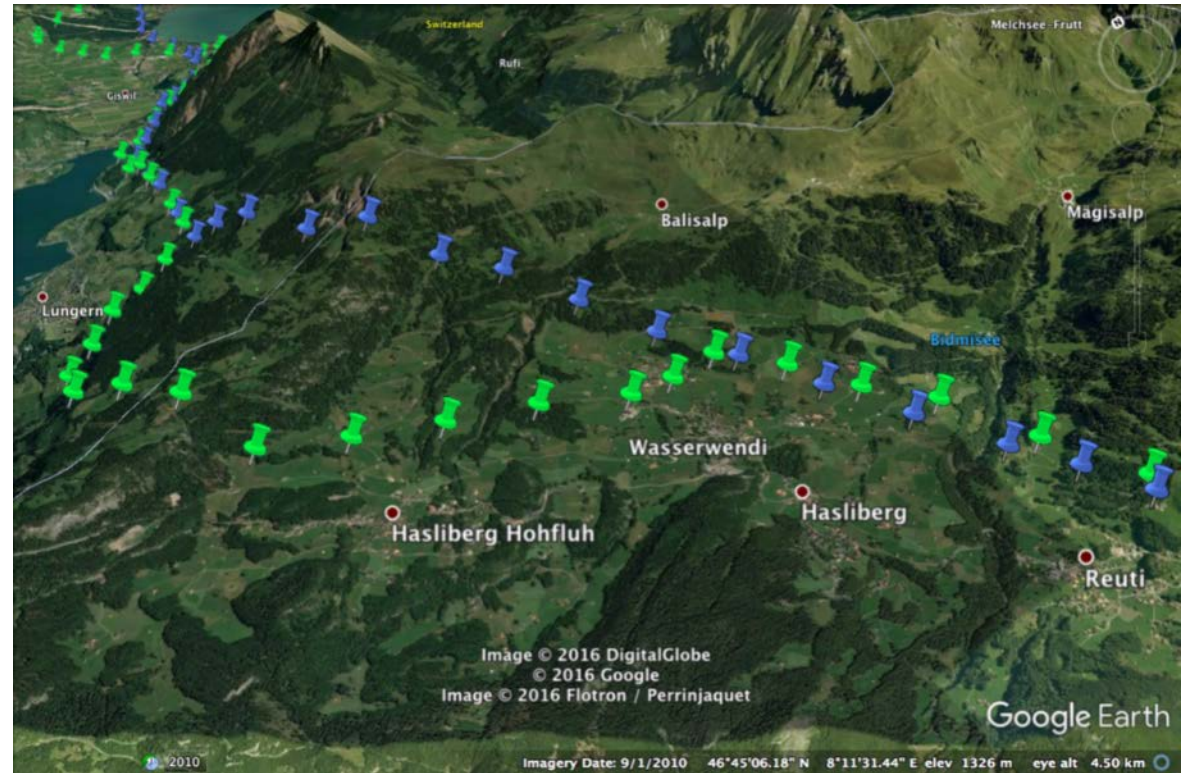
## Studie 2: Algorithmus zur Mastpositionierung in Masterarbeit erstellt und evaluiert



# Schrittweise Berechnung der idealen Mastposition von Mast zu Mast



Piveteau (2017)



# Schrittweise Berechnung der idealen Mastposition von Mast zu Mast

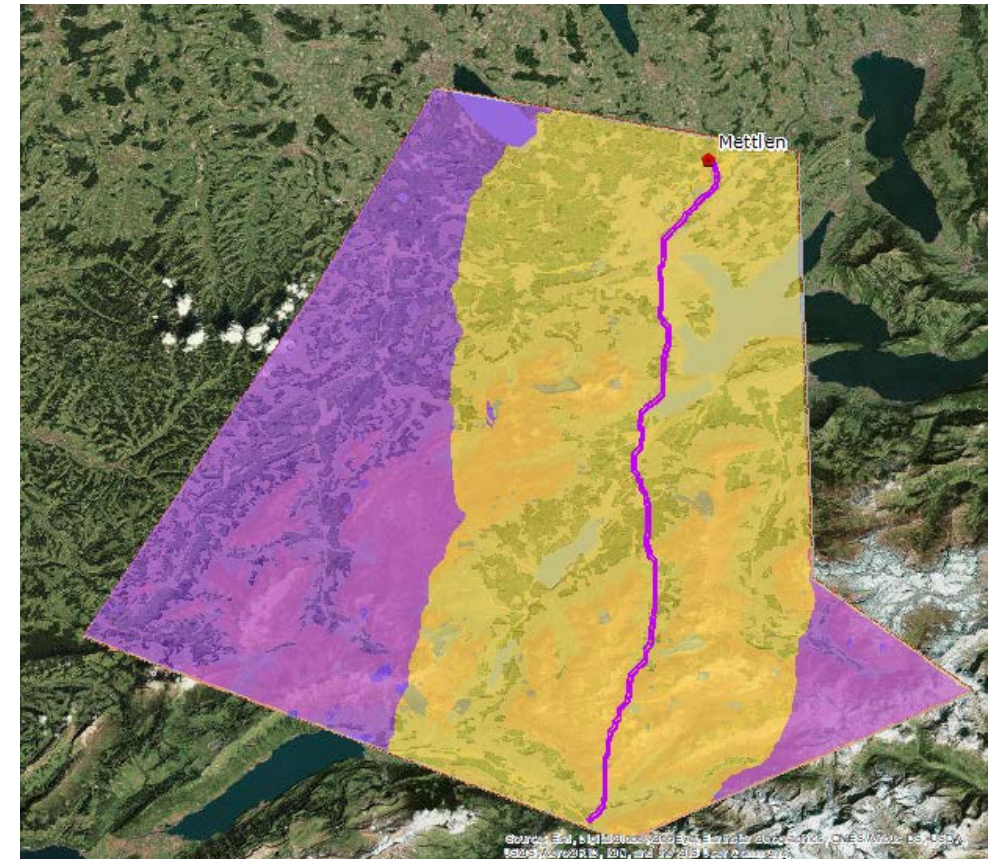
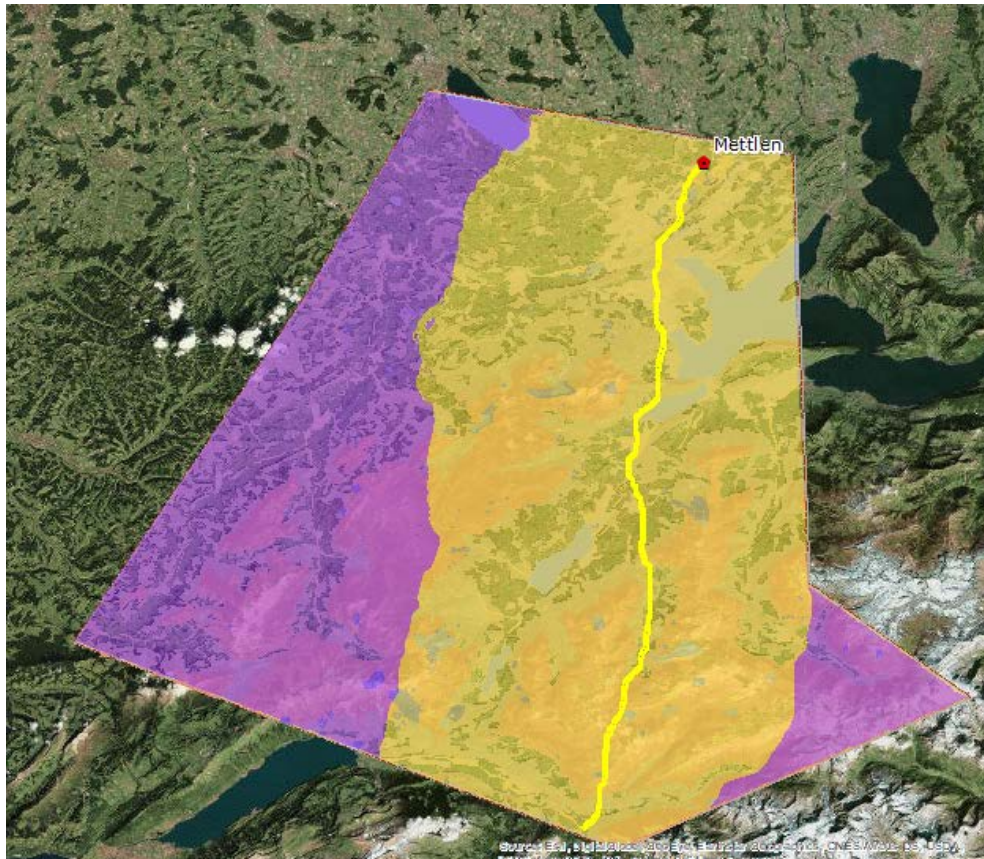
- 👍 Der Ansatz bestimmt exakte Mastpositionen
- 👍 Experten beurteilten die Positionierung der Masten als positiv, da
  - gerade Linien bevorzugt wurden
  - weniger Masten benötigt wurden
  - geringere Kosten entstehen
  - die Topografie berücksichtigt wurde
- 👍 Ideal zur Validierung der berechneten Korridore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



Piveteau (2017)

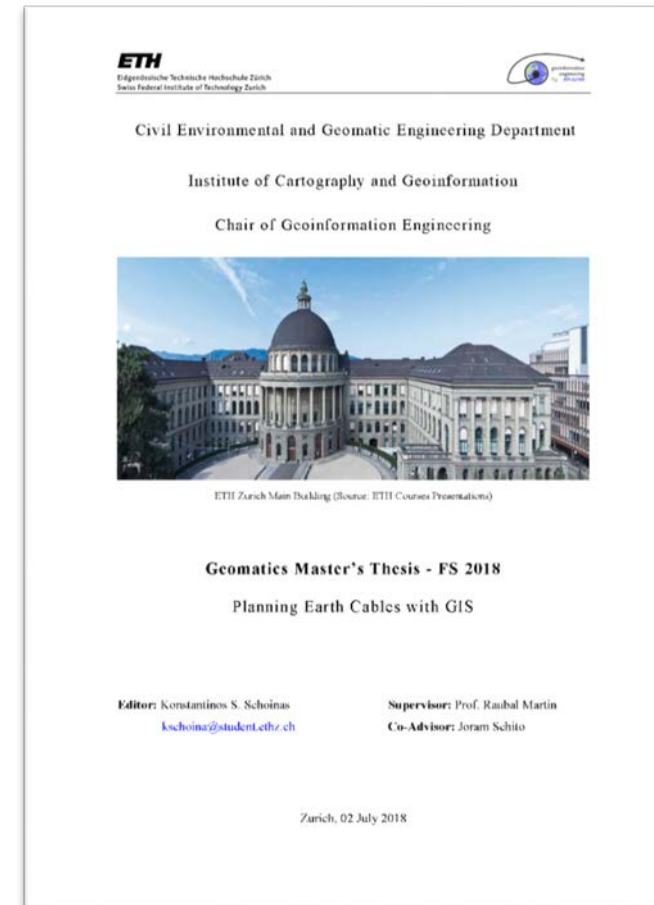
## Studie 3: Entscheidungsmodell zur Planung von Erdleitungen in Masterarbeit erstellt und evaluiert

# Die Direct Rating Method (links, gelbe Linie) und der Analytical Hierarchy Process (rechts, violette Linie) im Vergleich



# Die Direct Rating Method und der Analytical Hierarchy Process im Vergleich

- 👍 Die Direct Rating Method und der Analytical Hierarchy Process ergeben ähnliche Korridore
- 👍 Obwohl der Analytical Hierarchy Process aufwendig ist, haben Experten beide Ansätze befürwortet
- 👍 Experten beurteilten das erstellte Entscheidungsmodell für Erdkabel als positiv



Schoinas (2018)

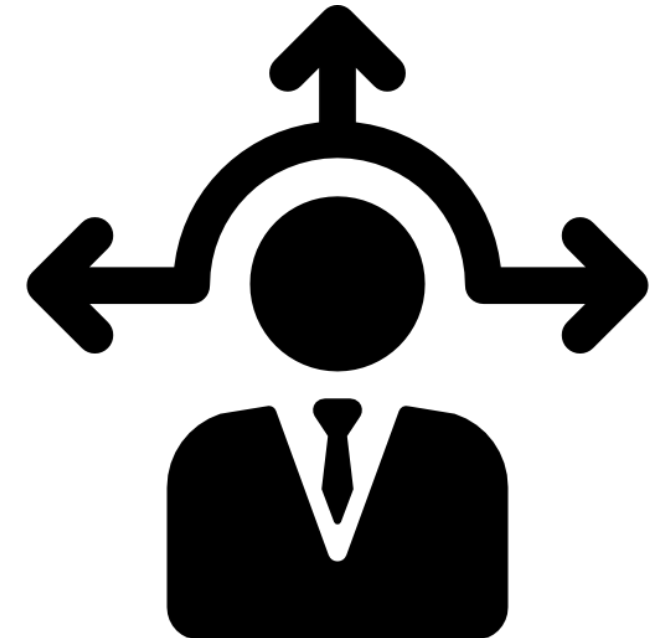
## Studie 4: Effekt des Entscheidungsmodells durch Sensitivitätsanalyse bestimmt

# Entscheidungsträger wollen zwischen wenigen Alternativen entscheiden, nicht zwischen Tausenden oder Millionen



# Welche Parameter des Entscheidungsmodells können verändert werden?

Widerstand	33 x	<input type="text" value="-2"/>	...	<input type="text" value="+2"/>	
Gewichtung	33 x	<input type="text" value="-2"/>	...	<input type="text" value="+2"/>	
Begrenzungsmodell		<input type="text" value="A"/>	<input type="text" value="B"/>		
MCDA-Methode		<input type="text" value="A"/>	<input type="text" value="B"/>	<input type="text" value="C"/>	
Gewichtungsmodell		<input type="text" value="A"/>	<input type="text" value="B"/>	<input type="text" value="C"/>	
Nutzenfunktion		<input type="text" value="A"/>	<input type="text" value="B"/>	<input type="text" value="C"/>	<input type="text" value="D"/>

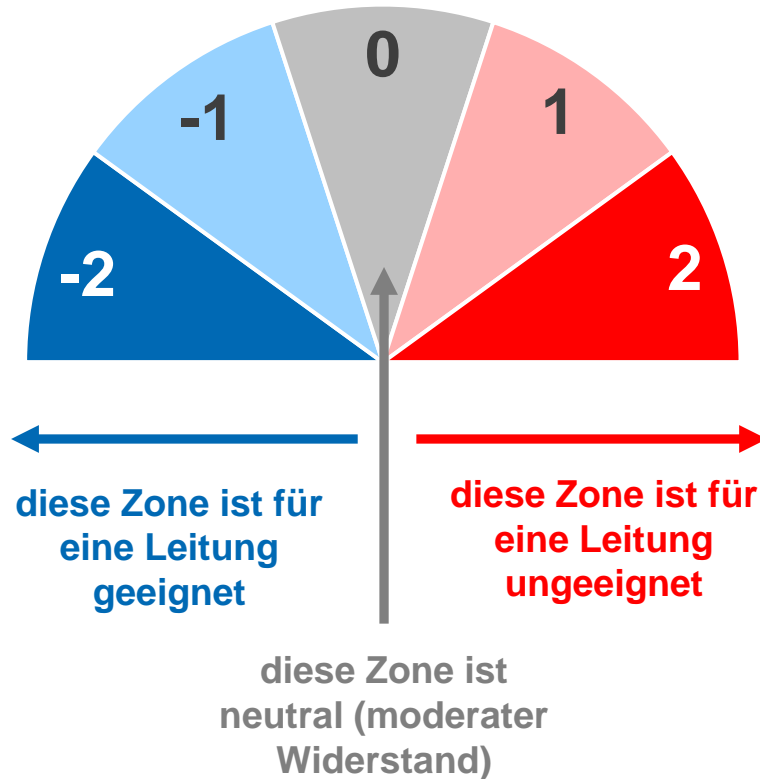




# Faktor 1) Widerstände und Gewichtungen

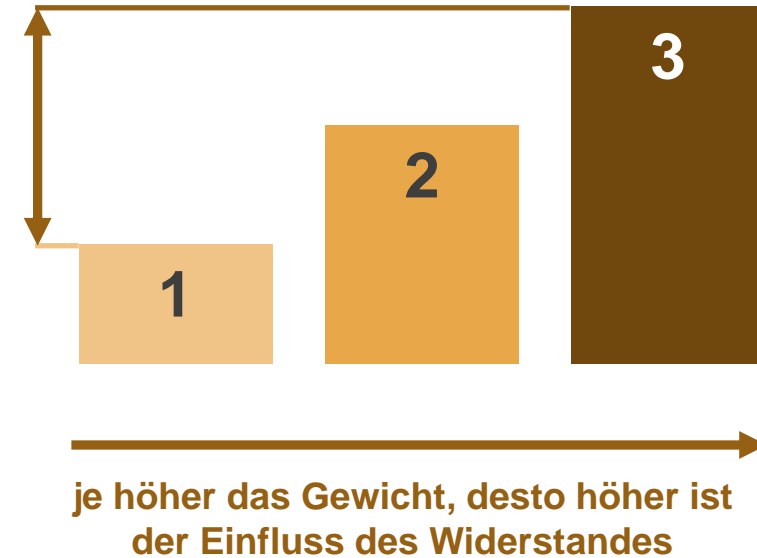
$$33 \times [-2 \dots +2]$$

## Widerstände



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

## Gewichtungen

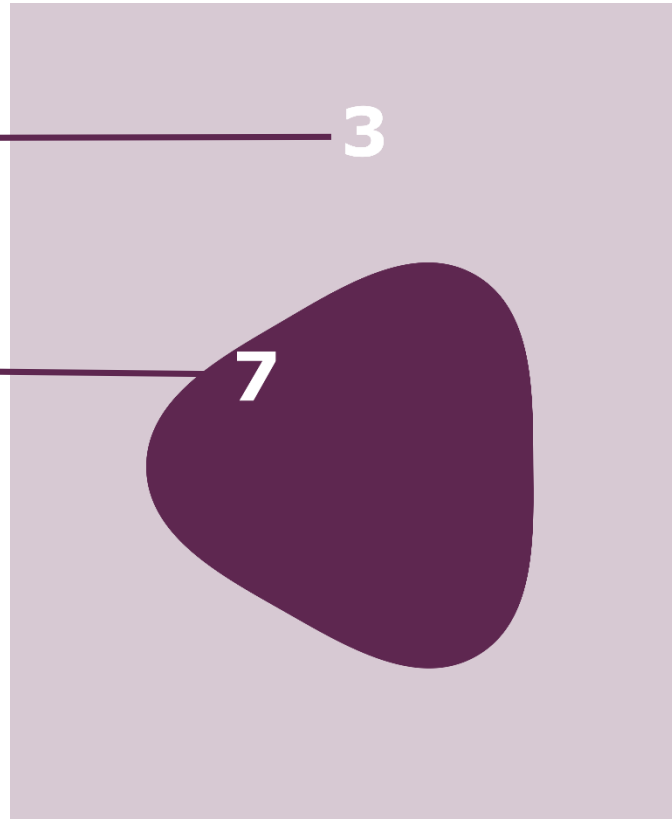


## Faktor 2) Begrenzungsmodell

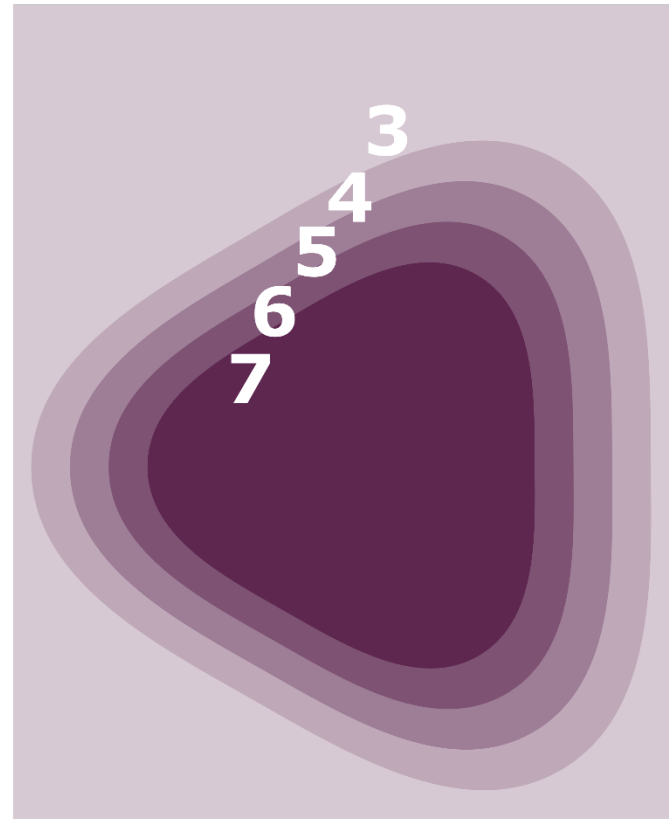


Fläche mit  
Widerstand 3

Fläche mit  
Widerstand 7

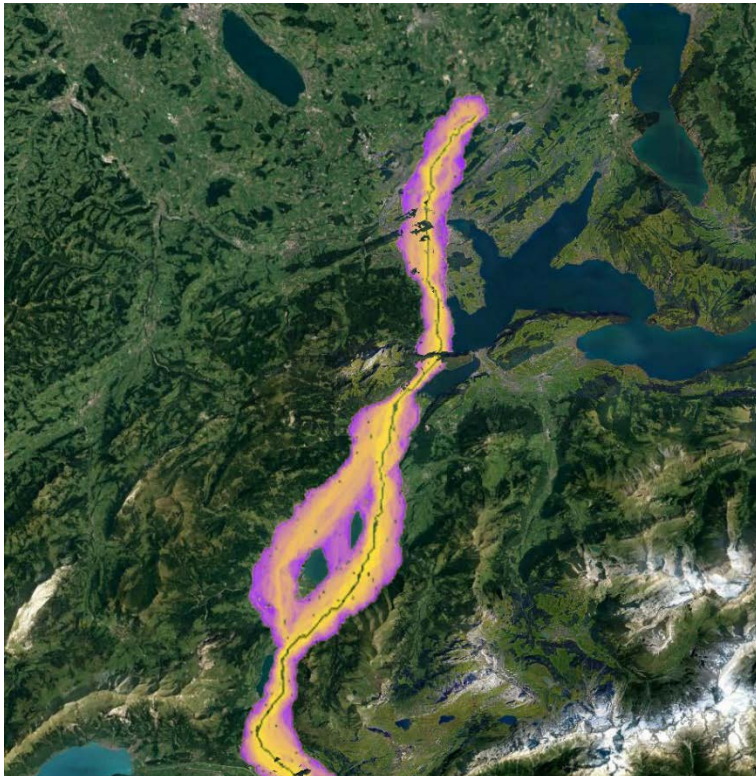


scharfkantig

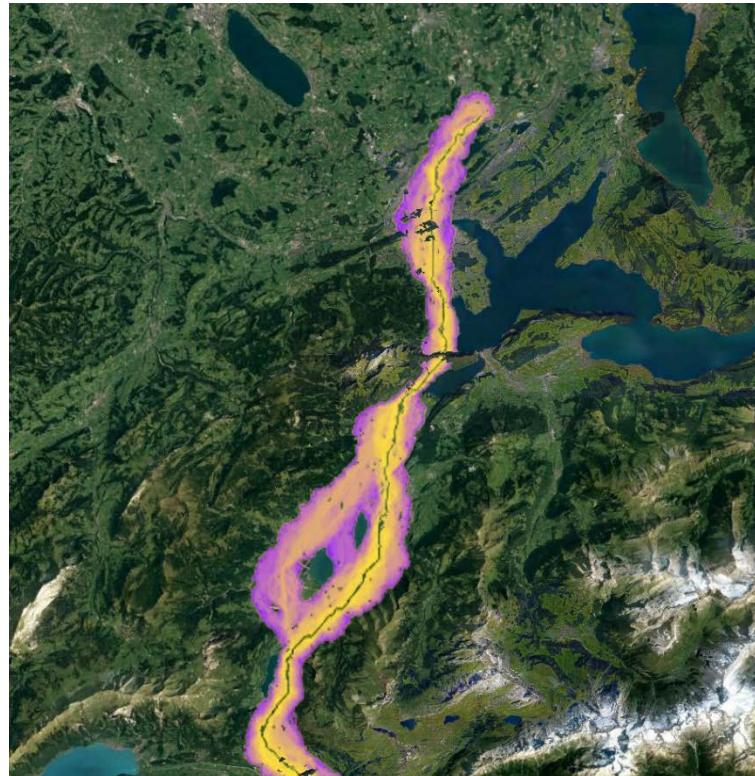


kontinuierlich

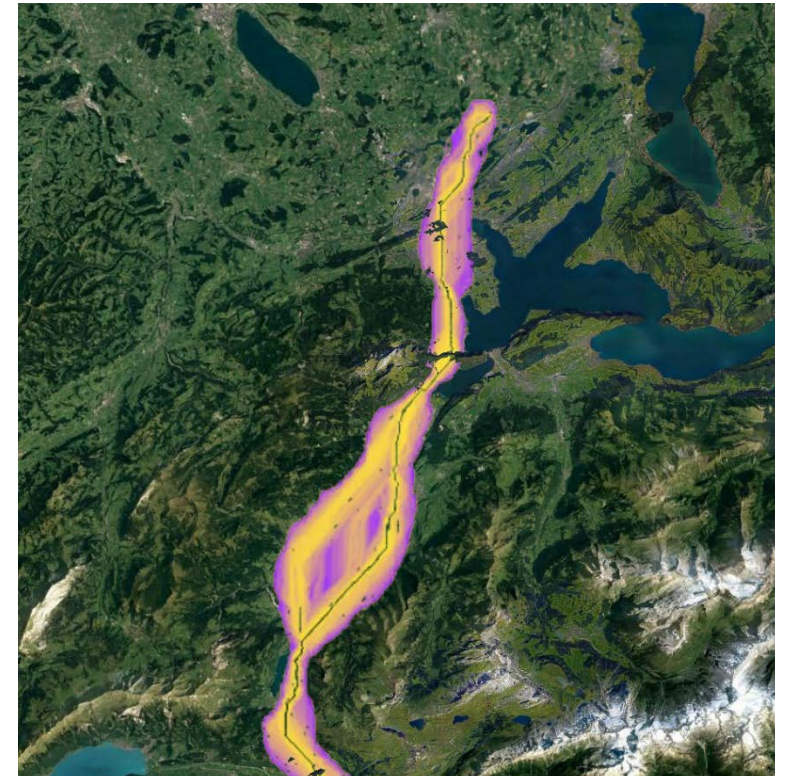
# Faktor 3) MCDA-Methode



simple additive weighting SAW  
scharfkantig

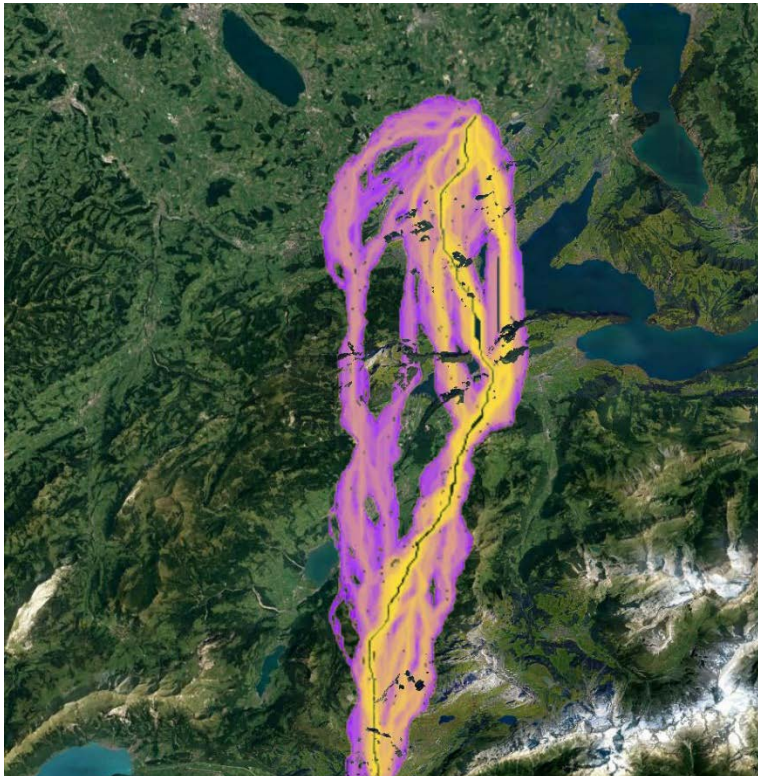


log- korrigiertes SAW  
scharfkantig

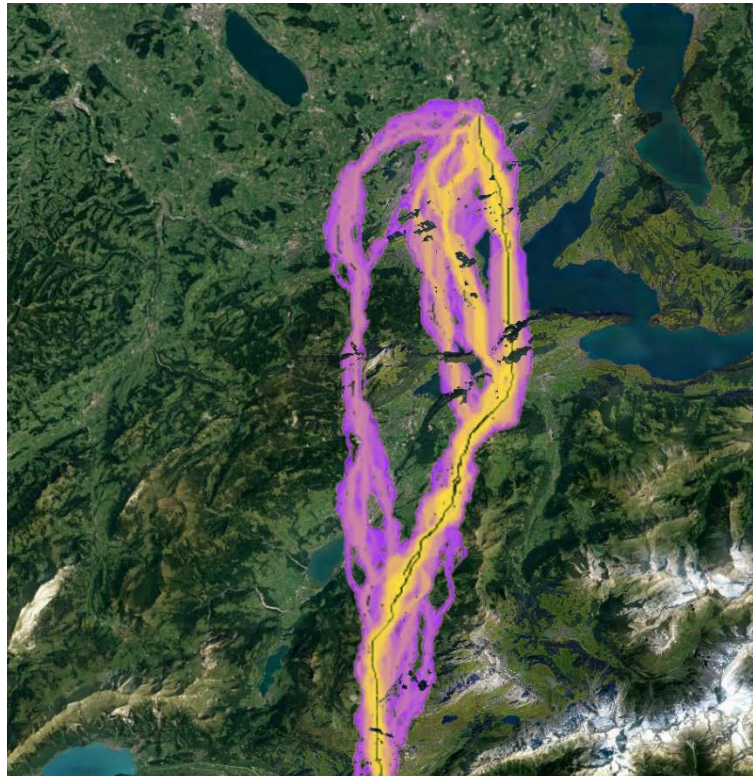


Maximalwert  
scharfkantig

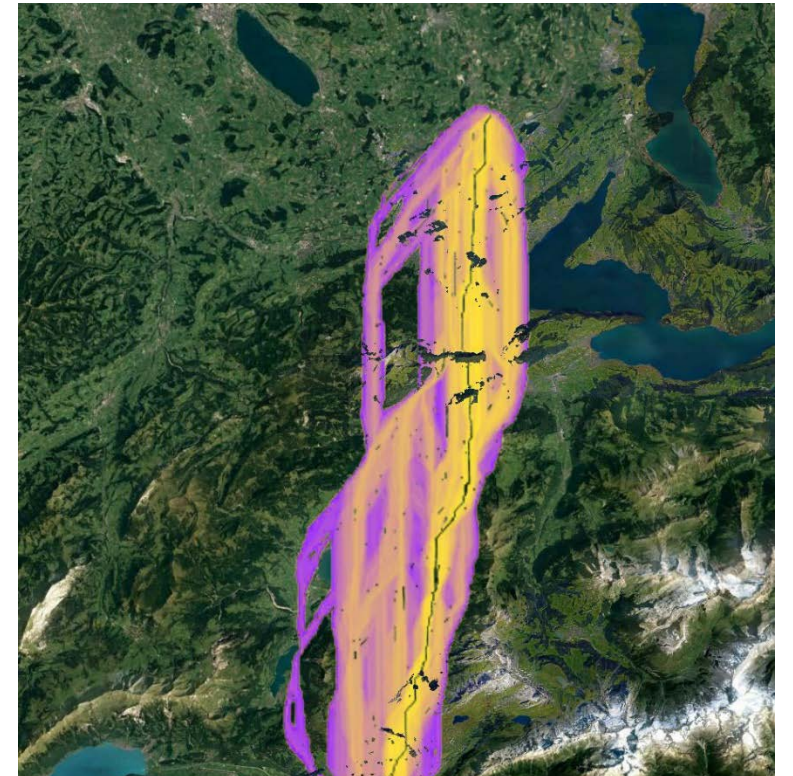
# Faktor 3) MCDA-Methode



simple additive weighting SAW  
kontinuierlich

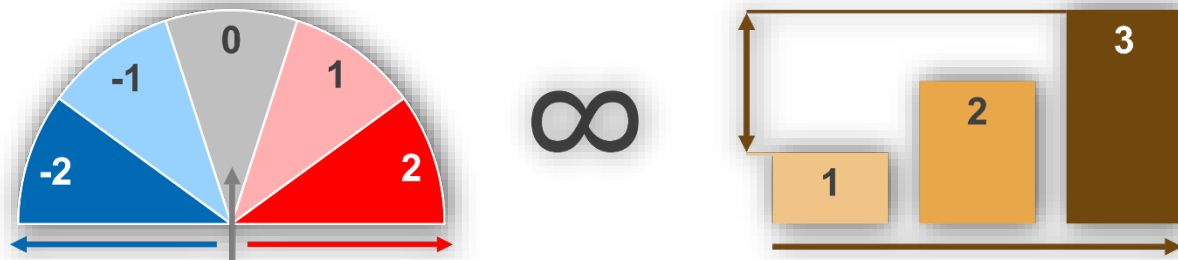


log-korrigiertes SAW  
kontinuierlich



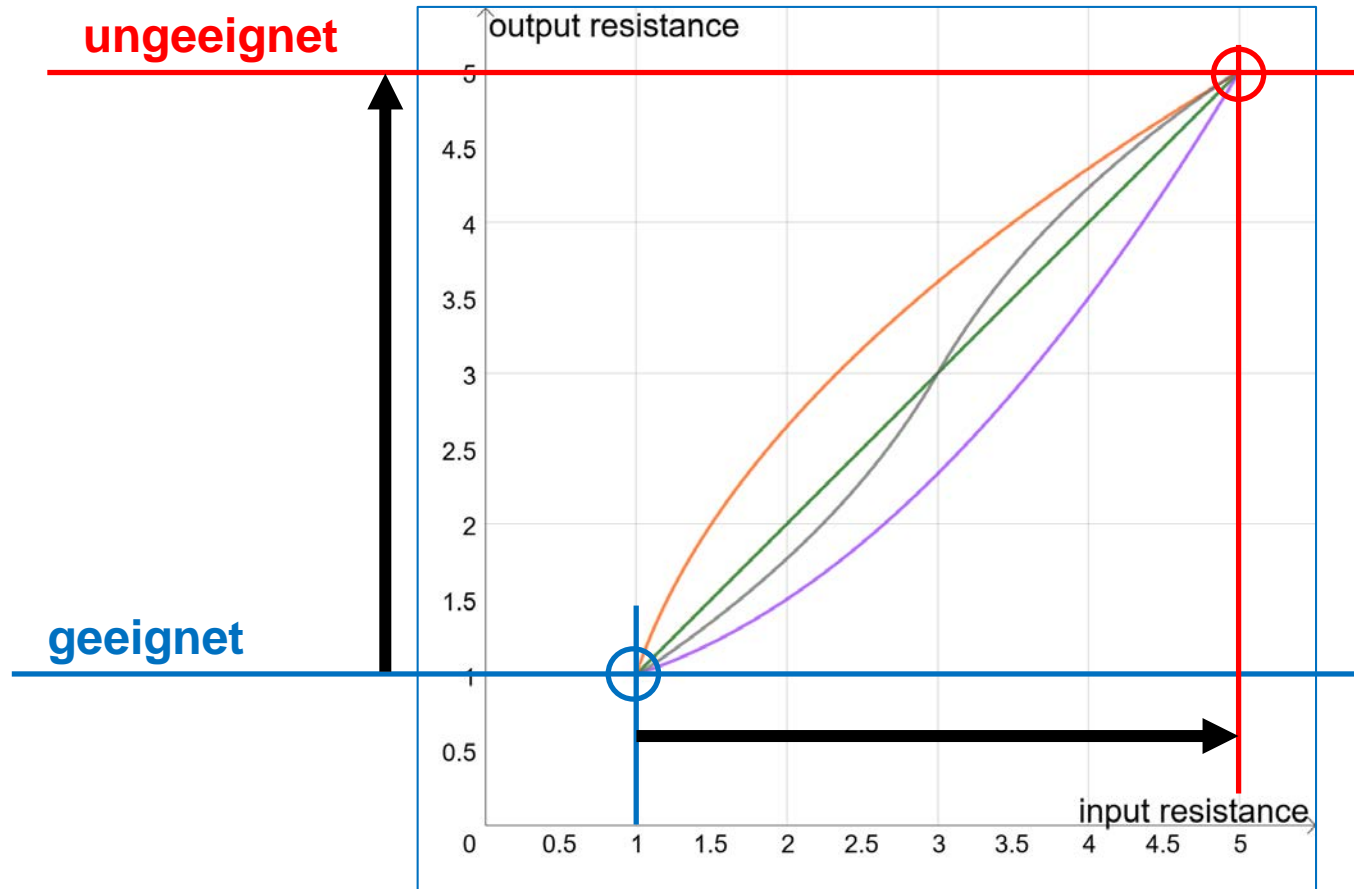
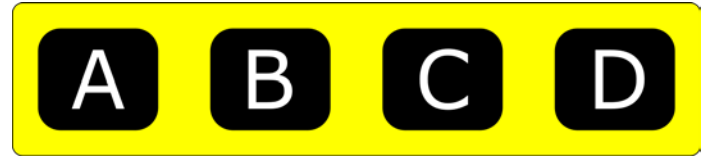
Maximalwert  
kontinuierlich

# Faktor 4) Gewichtungsmodell



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

# Faktor 5) Nutzenfunktion

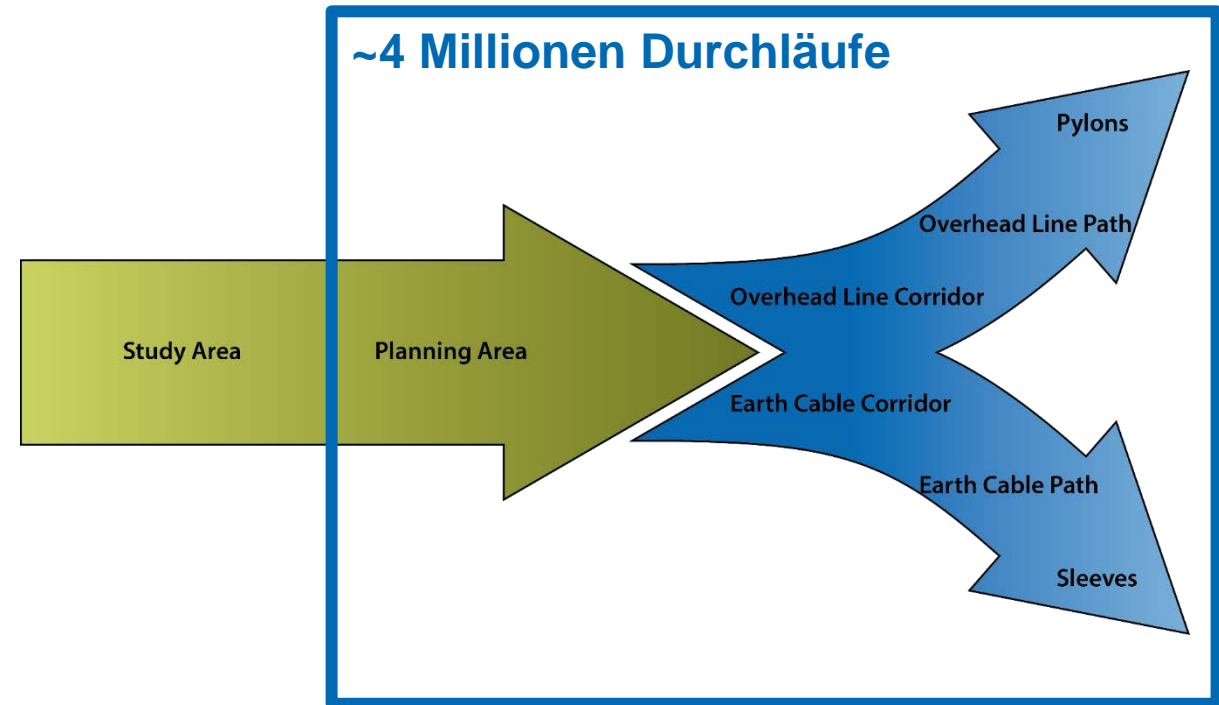


# Alle Parameterkombinationen wurden berechnet

I N P U T

O U T P U T

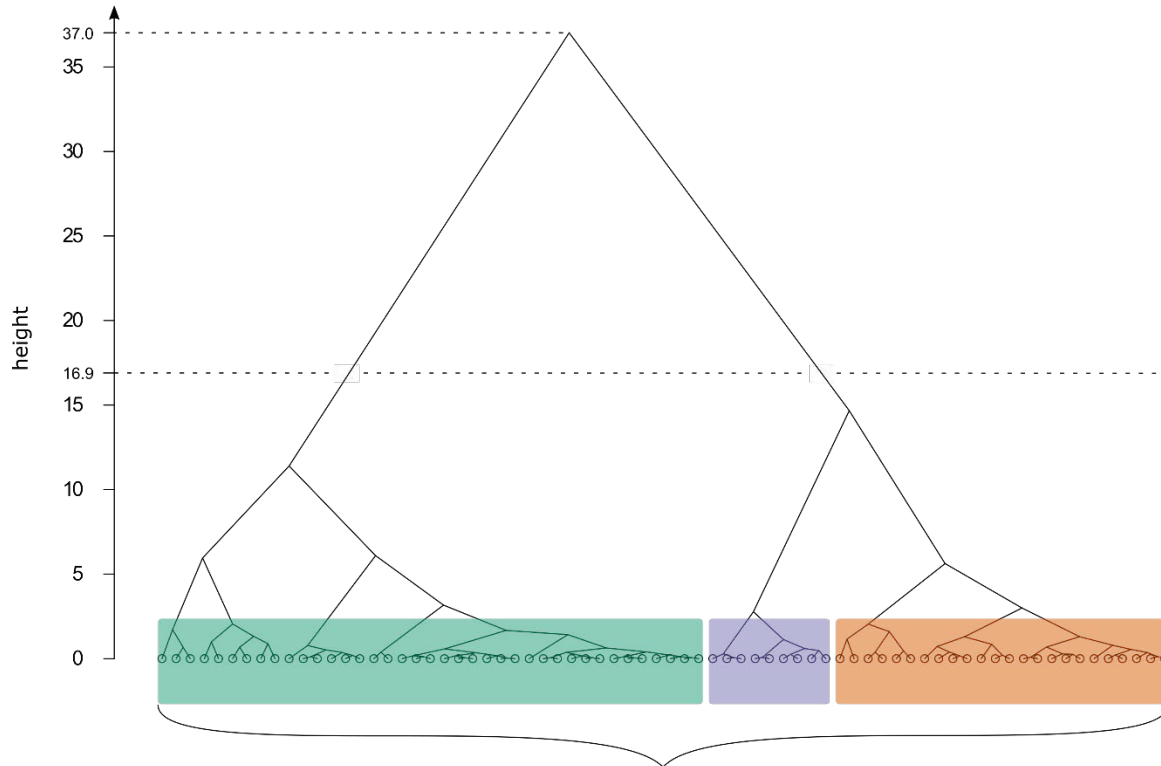
Widerstand	33 x	<b>-2</b>	...	<b>+2</b>	
Gewichtung	33 x	<b>-2</b>	...	<b>+2</b>	
Begrenzungsmodell		<b>A</b>	<b>B</b>		
MCDA-Methode		<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	
Gewichtungsmodell		<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	
Nutzenfunktion		<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>



# Durch eine statistische Methode lassen sich Korridore nach ihrer Ähnlichkeit clustern

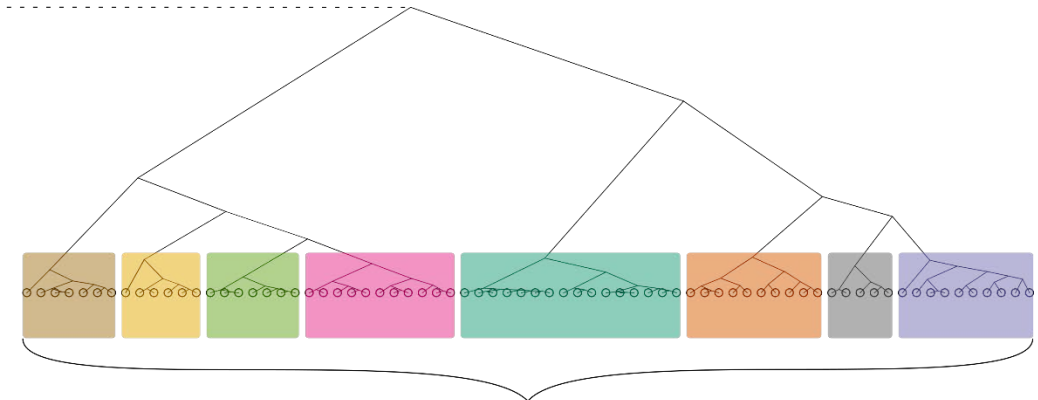
Schito et al. (2018)

## Switzerland



3 clusters, high dendrogram

## Austria



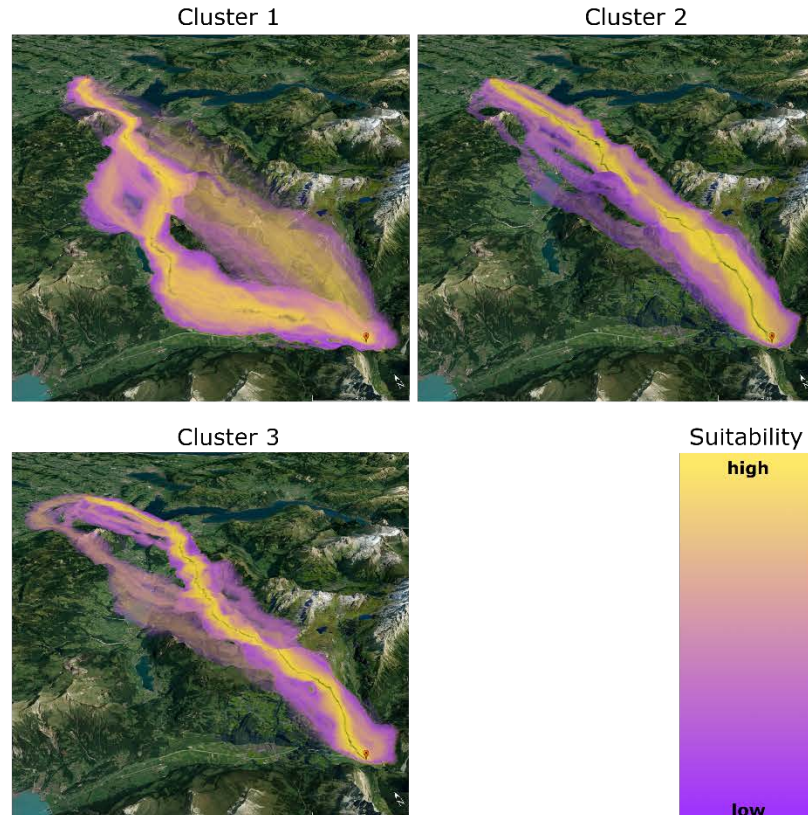
8 clusters, low dendrogram



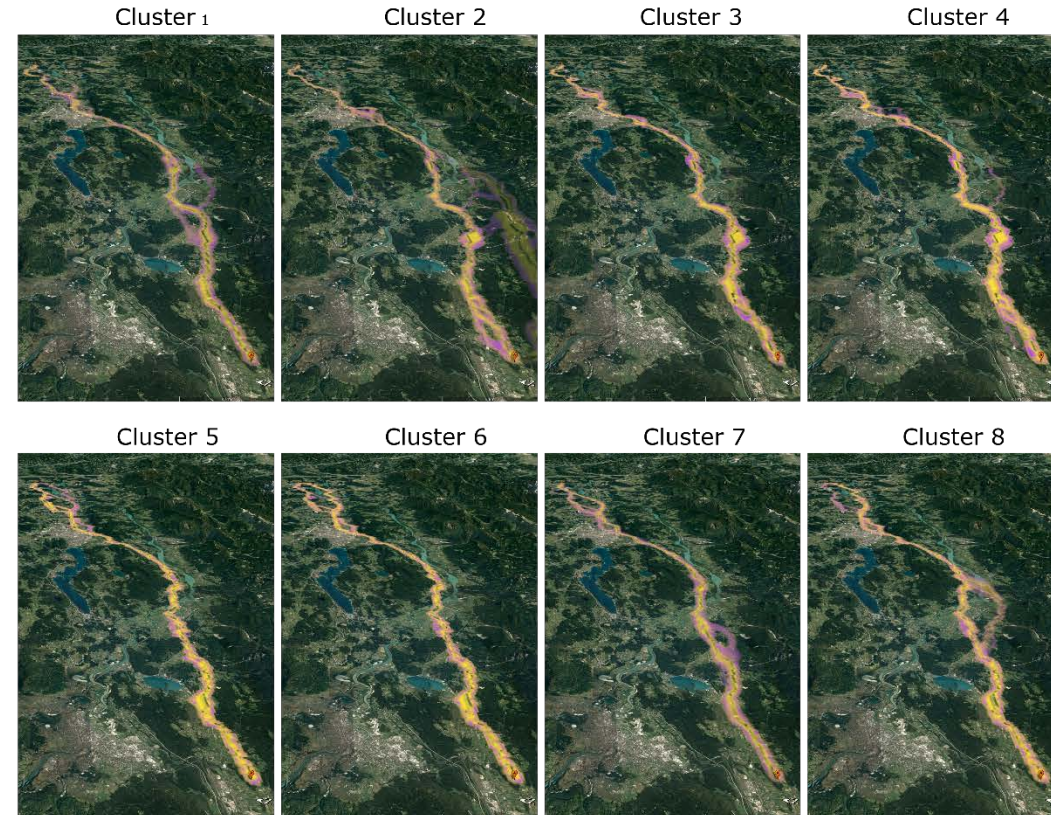
# Durch eine statistische Methode lassen sich Korridore nach ihrer Ähnlichkeit clustern

Schito et al. (2018)

## Switzerland



## Austria



# Welche Parameter spielen eine entscheidende Rolle?

Ängste = lösbare Probleme!!!

Begrenzungsmodell	★	★	★	★
MCDA-Methode	★	★	★	
Gewichtungsmodell	★	★		
Nutzenfunktion	★			



# Wie kann der Ansatz genutzt werden, um ein Entscheidungsmodell zu verbessern?

- Komplexität reduzieren
- Hilft, die wesentlichen Parameter und Faktoren zu bestimmen, sodass bei Verhandlungen darauf fokussiert werden kann
- Weniger ist manchmal mehr! Die konservative MCDA-Methode Simple Additive Weighting erzielte die besten Resultate.



## Schlussfolgerungen und Zukunftsaussichten

## Zukünftige Arbeiten

- 🕒 Ansatz implementieren, der Erdkabel modelliert.
- 🕒 Einfluss des Entscheidungsmodells in flachen Regionen untersuchen.
- 🕒 Untersuchen, ob Methoden der Game Theory oder linearer Optimierung zu realistischeren Resultaten führt.
- 🕒 ...viele weitere! ;-)

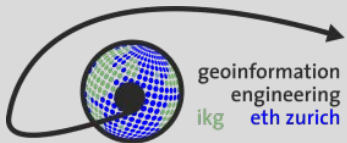


# Danksagung



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

**Bundesamt für Energie BFE**  
**Swiss Federal Office of Energy SFOE**



[www.gis.ethz.ch](http://www.gis.ethz.ch)



[www.plus.ethz.ch](http://www.plus.ethz.ch)



[3ddss.ethz.ch](http://3ddss.ethz.ch)

**2017–2020:**



**2014–2017:**

