

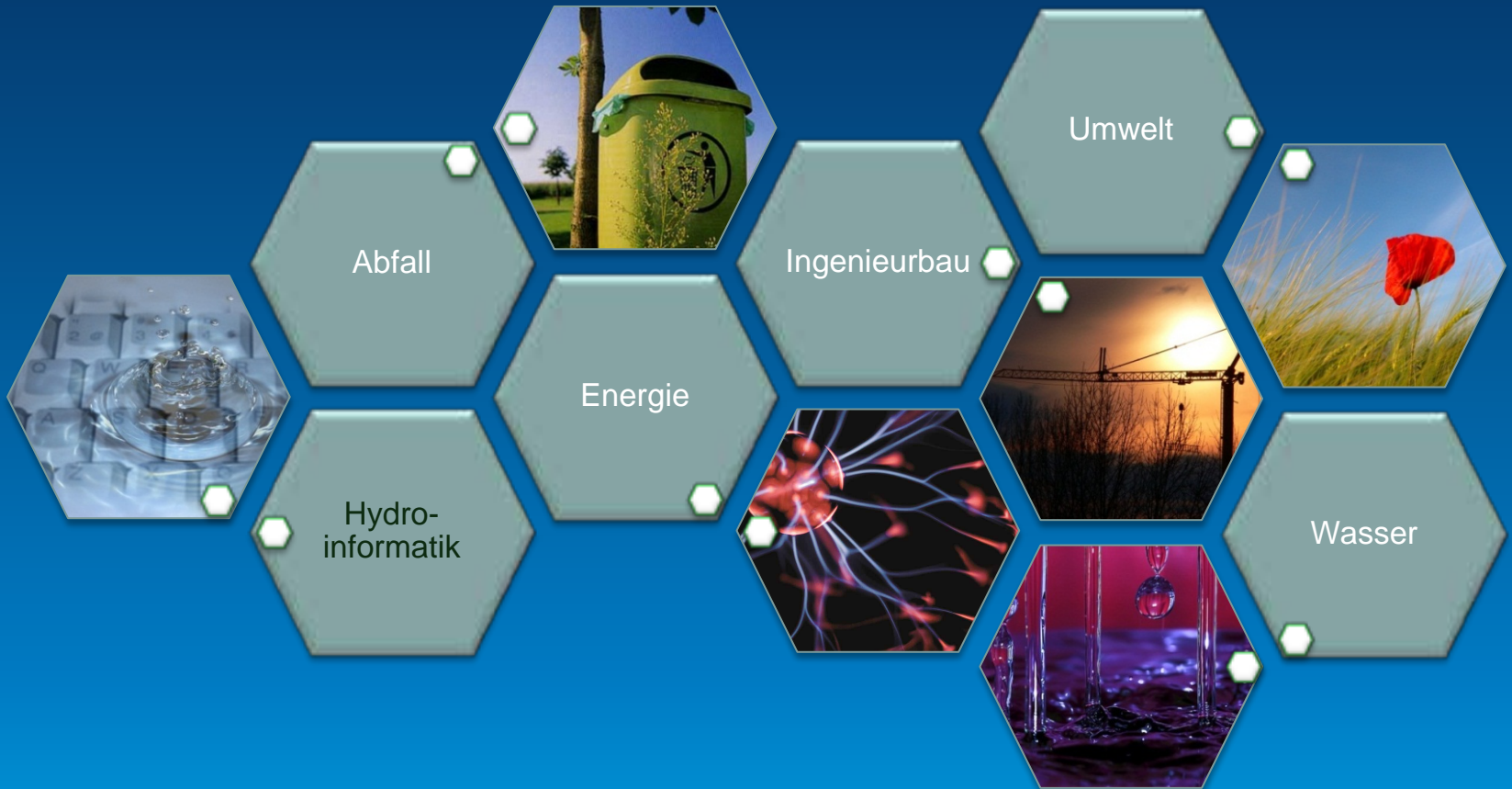
**2013 Esri Europe, Middle East and Africa  
User Conference**

October 23-25, 2013 | Munich, Germany

**Deutschlandweite  
Standortbestimmung für  
Wasserspeicherkraftwerke mit  
Methoden der Reliefanalyse**

Thorsten Hens, Denise Heinisch, Jörg  
Grohmann

# Unsere Geschäftsfelder



# Gliederung

Grundlagen der Energiewirtschaft

Wasserspeicherkraftwerke – Technik und Wirtschaft

Methodik der Standortbestimmung

Ergebnisse

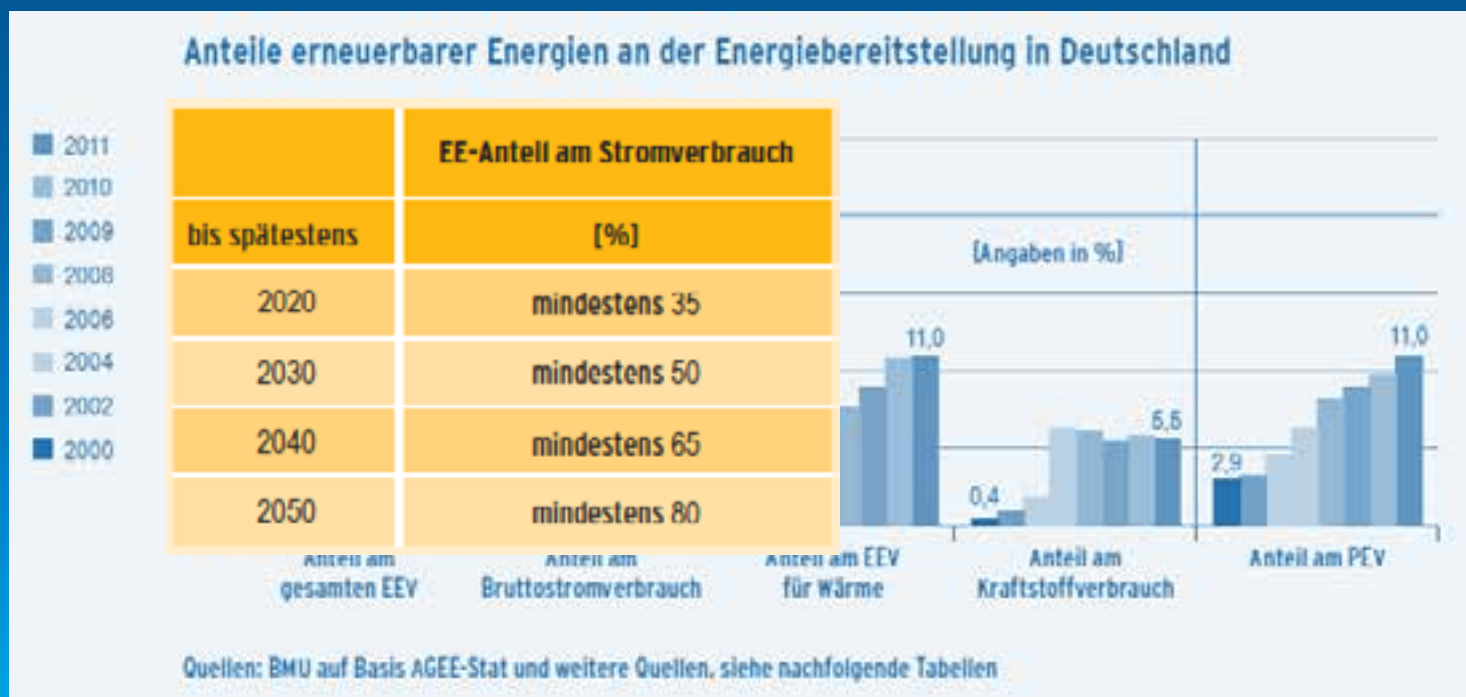
Fazit und Ausblick

# Grundlagen der Energiewirtschaft

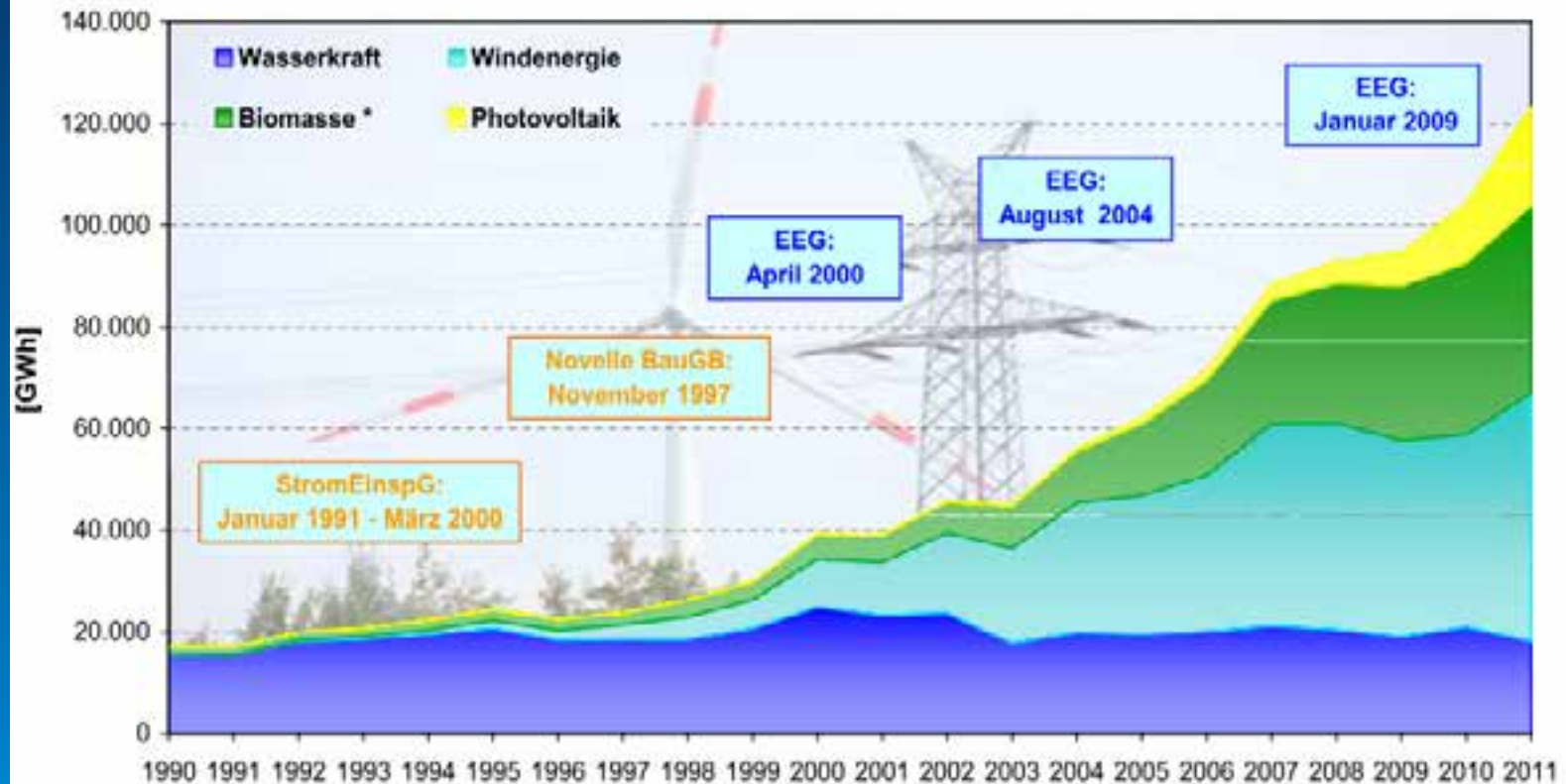
T. Hens



- Förderung des Ausbaus von Strom- und Wärmeerzeugung aus erneuerbaren Energien ist in Deutschland im Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien (EEG) verankert.



# Beitrag der erneuerbaren Energien zur Strombereitstellung in Deutschland

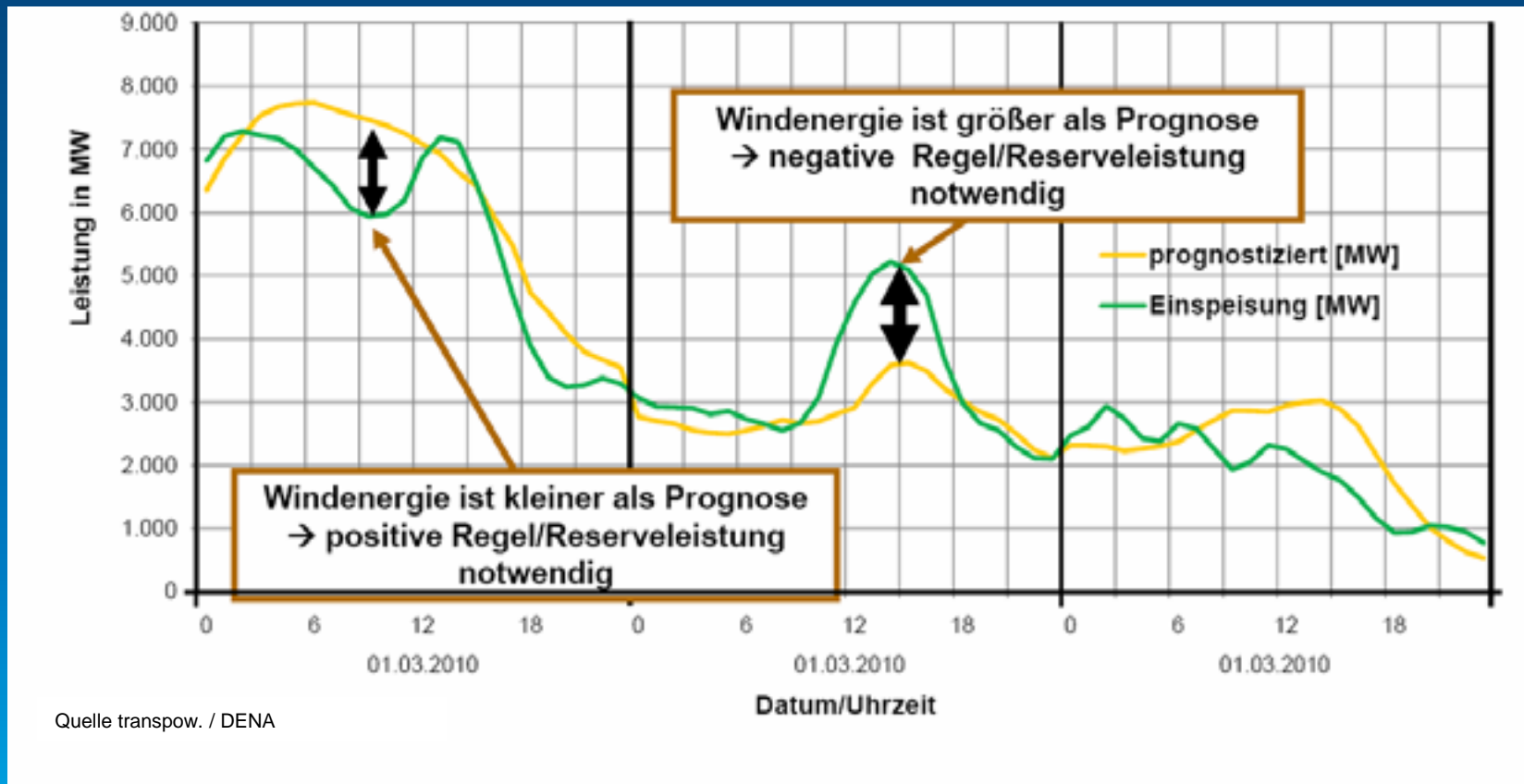


\* Feste und flüssige Biomasse, Biogas, Deponie- und Klärgas, biogener Anteil des Abfalls; 1 GWh = 1 Mio. kWh;

Aufgrund geringer Strommengen ist die Tiefengeothermie nicht dargestellt; StromEinspG: Stromeinspeisungsgesetz; BauGB: Baugesetzbuch; EEG: Erneuerbare-Energien-Gesetz;

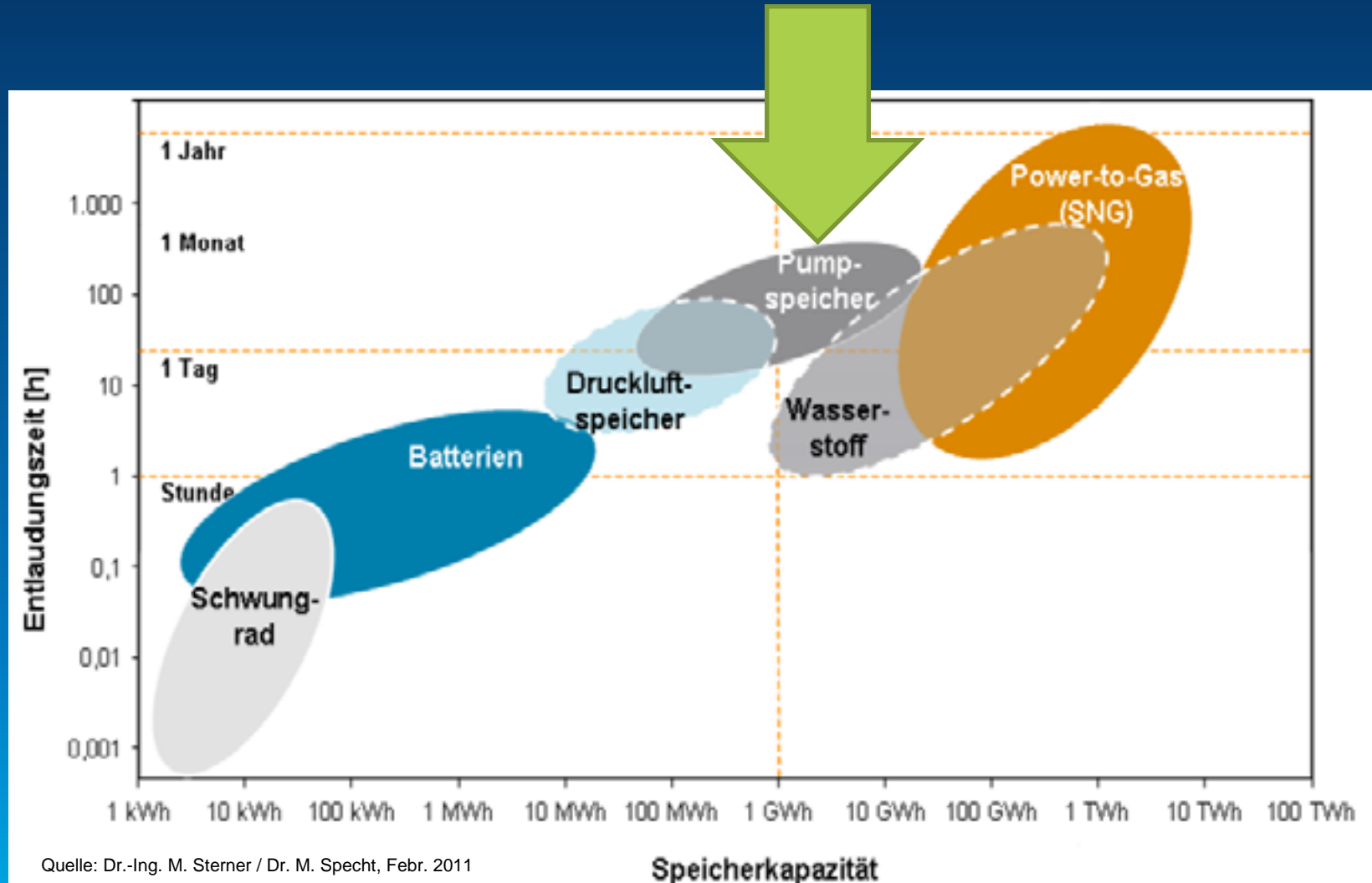
Quelle: BMU-KI III 1 nach Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat); Hintergrundbild: BMU / Christoph Edelhoff; Stand: Juli 2012; Angaben vorläufig

# Energieangebot vs. Energieprognose



Quelle transpow. / DENA

# Energiespeichertechnologien



Quelle: Dr.-Ing. M. Sterner / Dr. M. Specht, Febr. 2011

Speicherkapazität



# Wasserspeicher- kraftwerke – Technik und Wirtschaft

T. Hens



# Standortbestimmung für Wasserspeicherkraftwerke

Wasserkraftspeicher stellen derzeit eine wirtschaftlich verfügbare Speichertechnologie zur Speicherung elektrischer Energie dar.

Die verfügbaren Standortpotenziale wurden im Auftrag der Trianel Energy Trading GmbH mit einer deutschlandweiten Standortsuche ermittelt.

# Standortbestimmung für Wasserspeicherkraftwerke

## Vorgehensweise

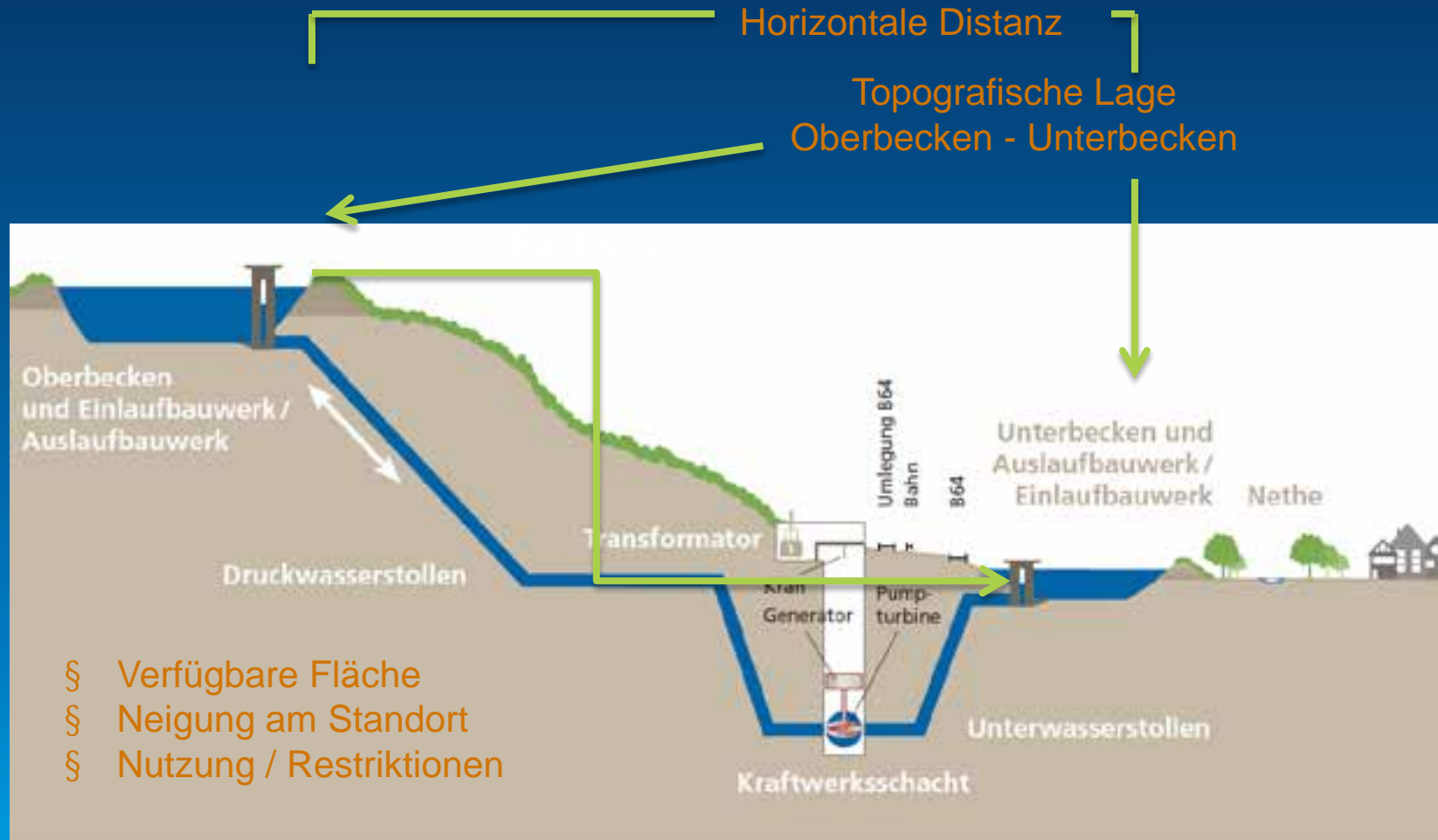
- Bestimmung der Standortfaktoren
- „Übersetzung“ der Standortfaktoren in GIS-Analysemethoden
- Auswahl geeigneter Geodaten für eine deutschlandweite Suche
- Prozessieren der Geodaten
- Analyse der Ergebnisse

# Technische Grundlage – Funktionsprinzip



Quelle: Trianel Energy Trading GmbH / Björnsen Beratende Ingenieure GmbH

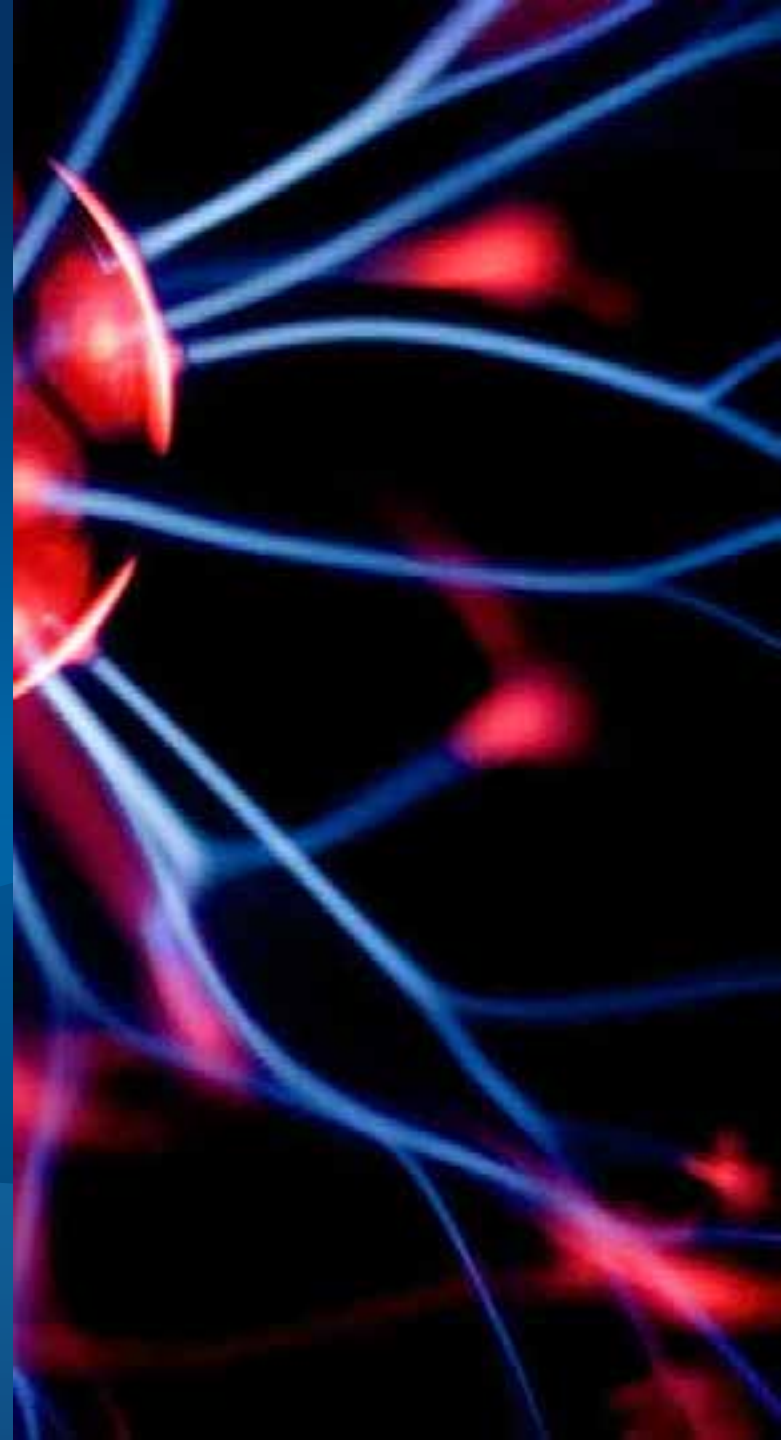
# Technische Grundlage – Funktionsprinzip



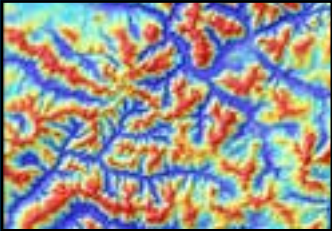
Quelle: Trianel Energy Trading GmbH / Björnsen Beratende Ingenieure GmbH

# Methodik der Standortbestimmung

T. Hens

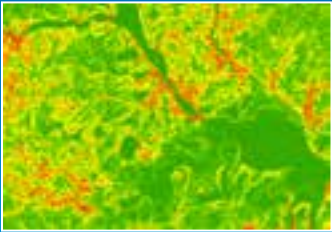
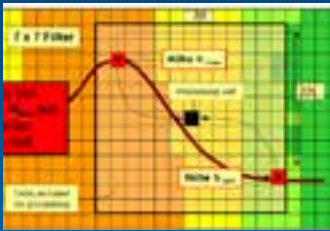


# Standortfaktoren und GIS-Analysemethoden



- Topografische Lage

- Horizontale Distanz
- Fallhöhe



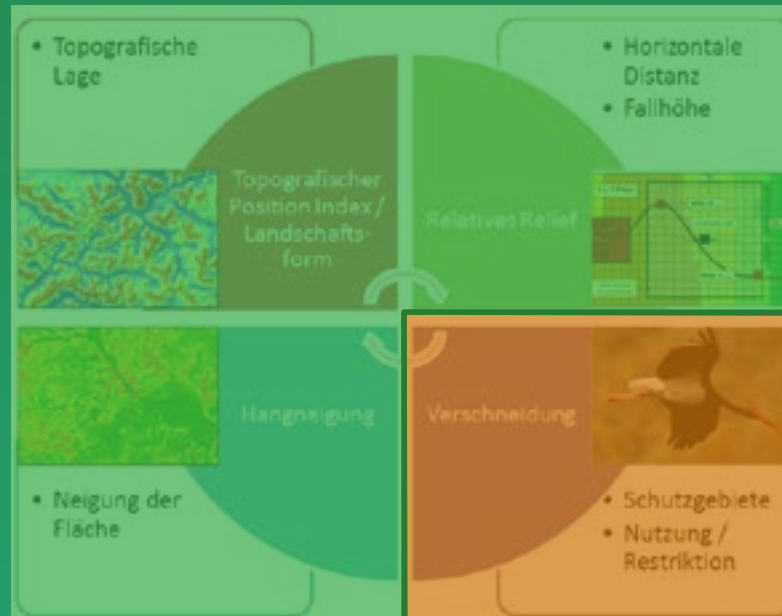
- Neigung der Fläche

- Schutzgebiete
- Nutzung / Restriktion



# Datengrundlage

## DHM STRM (2000)



Schutzgebiete BfN  
DLM 250



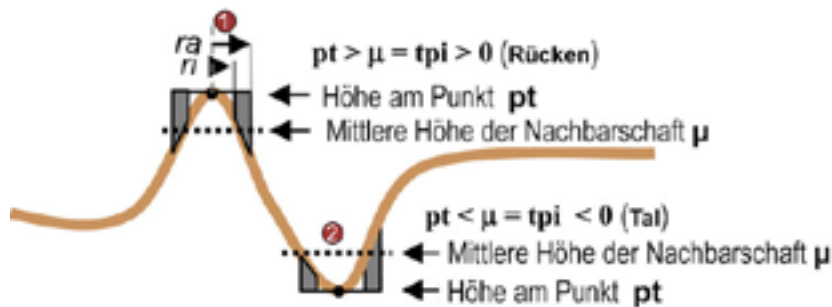
# Index der topografischen Position

$$TPI_M = \text{int} \left( \left( DHM - \text{focalmean}(DHM, ANNULUS, ri, ra) \right) + 0,5 \right) \quad (1)$$

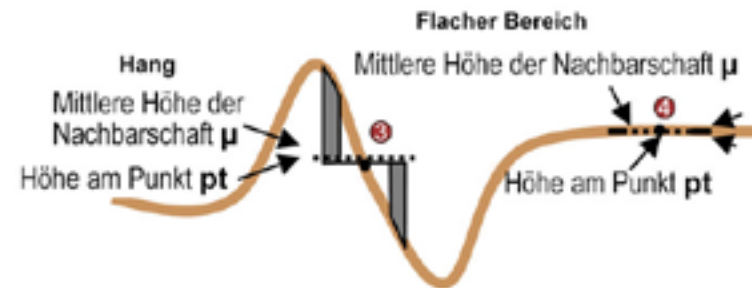
*M:* Maßstabsfaktor, entspricht *ra* in Meter

*ra:* Äußerer Radius der betrachteten Nachbarschaft (Anzahl Zellen)

*ri:* Innerer Radius der betrachteten Nachbarschaft (Anzahl Zellen)



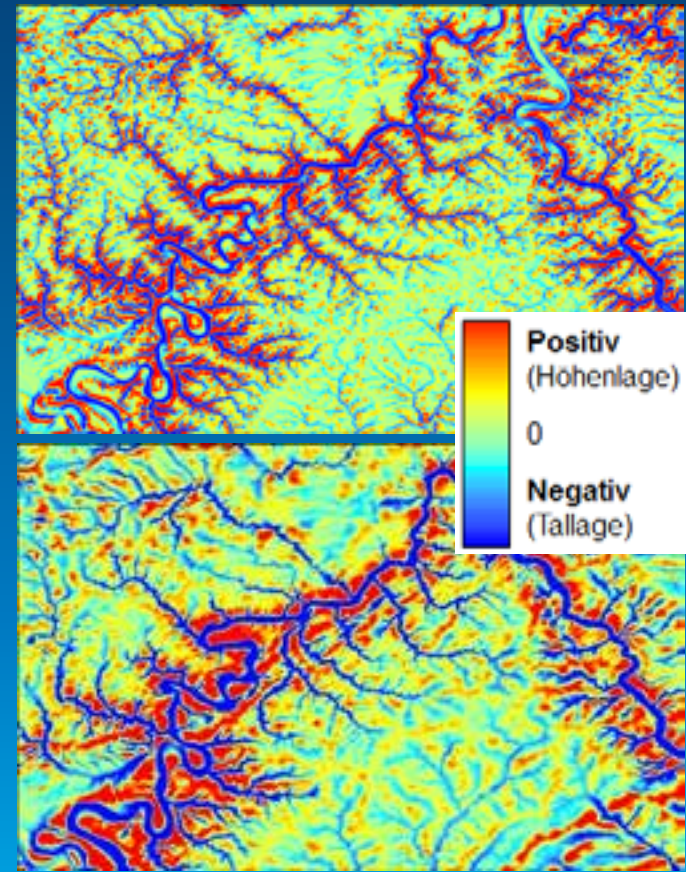
$pt - \mu = tpi \sim 0$  (Konstante Neigung, flacher Bereich, Sattel)



# TPI und Maßstabsabhängigkeit

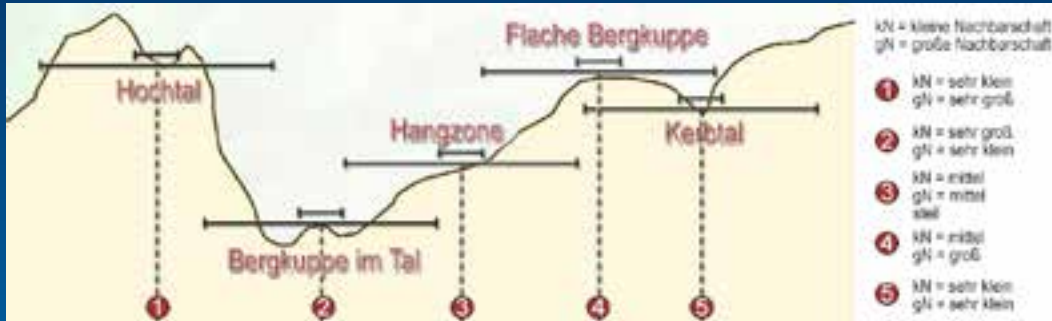
TPI-Berechnung  
Nachbarschaftsgröße 500m  
„großer Maßstab“  
Abbildung von Klein- und  
Kleinstformen des Reliefs

TPI-Berechnung  
Nachbarschaftsgröße 1500m  
„kleiner Maßstab“  
Abbildung von Hauptform des  
Reliefs

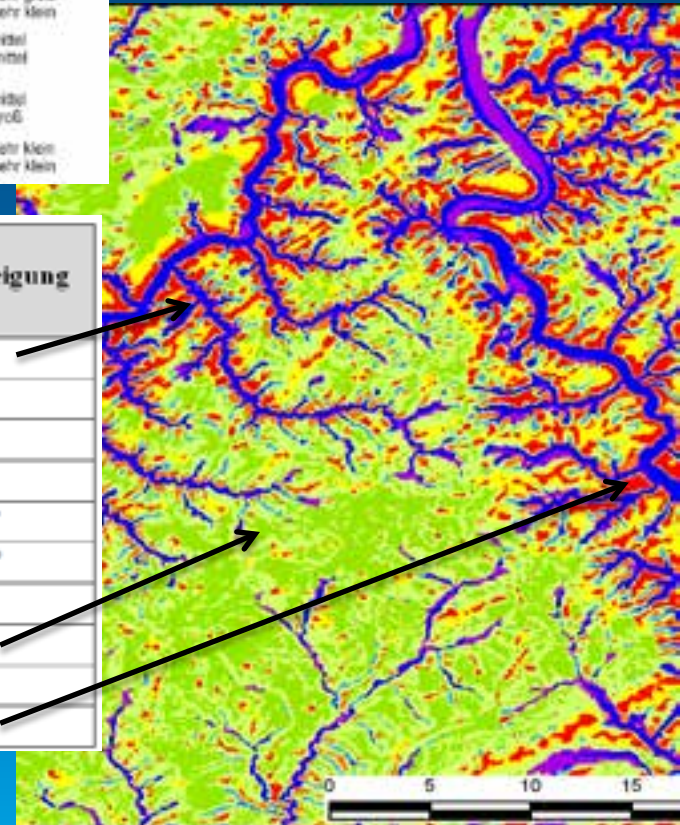


# Kombination von TPI-Rastern

unterschiedlicher Maßstäbe zur Landschaftsklassifikation

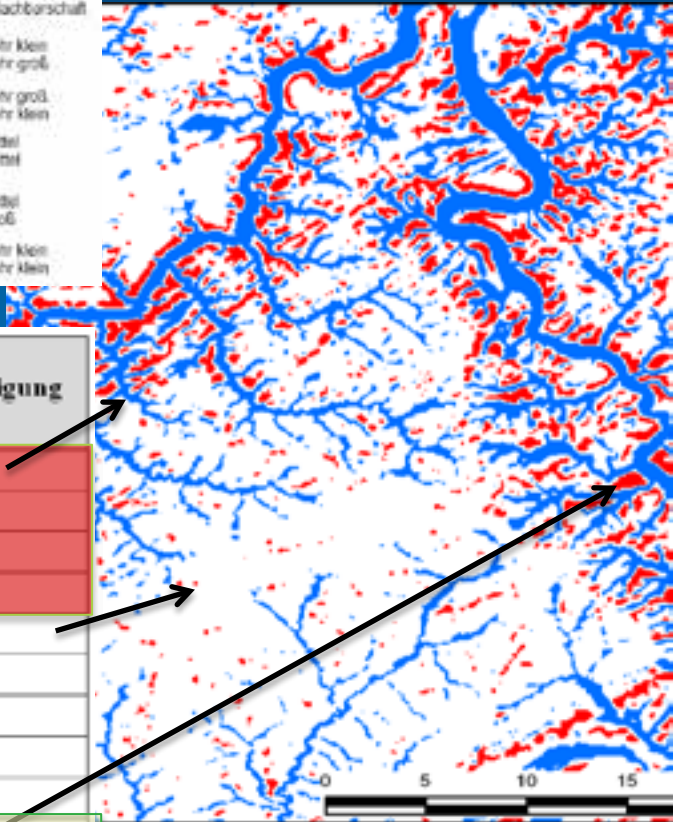


Nr.	Landschaftsform	Nachbarschaft		Neigung
		Klein	Groß	
1	Taler, Kerbtäler	TPI ≤ -1	TPI ≤ -1	
2	Flachtäler	TPI ≤ -1	-1 < TPI < 1	
3	Hochtäler, Quellgebiete	TPI ≤ -1	TPI ≥ 1	
4	U-Täler	-1 < TPI < 1	TPI ≤ -1	
5	Ebenen	-1 < TPI < 1	-1 < TPI < 1	≤ 5°
6	Hangzonen	-1 < TPI < 1	-1 < TPI < 1	> 5°
7	Oberhangzonen, Tafelberge	-1 < TPI < 1	TPI ≥ 1	
8	Lokale Rücken, Bergkuppen im Tal	TPI ≥ 1	TPI ≤ -1	
9	Hangrücken	TPI ≥ 1	-1 < TPI < 1	
10	Bergkuppen, Gipfel	TPI ≥ 1	TPI ≥ 1	



# Selektion der Top- und Tallagen

als Ober- und Unterbeckenstandorte



Nr.	Landschaftsform	Nachbarschaft		Neigung
		Klein	Groß	
1	Täler, Kerbtäler	$TPI \leq -1$	$TPI \leq -1$	
2	Flachtäler	$TPI \leq -1$	$-1 < TPI < 1$	
3	Hochtäler, Quellgebiete	$TPI \leq -1$	$TPI \geq 1$	
4	U-Täler	$-1 < TPI < 1$	$TPI \leq -1$	
5	Ebenen	$-1 < TPI < 1$	$-1 < TPI < 1$	$\leq 5^\circ$
6	Hangzonen	$-1 < TPI < 1$	$-1 < TPI < 1$	$> 5^\circ$
7	Oberhangzonen, Tafelberge	$-1 < TPI < 1$	$TPI \geq 1$	
8	Lokale Rücken, Bergkuppen im Tal	$TPI \geq 1$	$TPI \leq -1$	
9	Hangrücken	$TPI \geq 1$	$-1 < TPI < 1$	
10	Bergkuppen, Gipfel	$TPI \geq 1$	$TPI \geq 1$	

# Relatives Relief

- Relatives Relief – Reliefenergie
- Höhenunterschied zwischen dem höchsten und dem tiefsten Punkt in einem bestimmten Gebiet
- Qualitäts- und Wirtschaftlichkeitsparameter
- Auswahl von Standorten oberhalb eines Grenzwertes von z.B.  $100 \text{ m/km}^2$

# Relatives Relief

Höhendifferenz [dH in m]	Größe der untersuchten Nachbarschaften [A in km <sup>2</sup> ]			
	0.25 [500x500m]	1 [1000x1000m]	2.25 [1500x1500m]	4 [2000x2000m]
0	0	0	0	0
50	200	50	22	13
100	400	100	44	25
150	600	150	67	38
200	800	200	89	50
250	1000	250	111	63
300	1200	300	133	75
350	1400	350	156	88
400	1600	400	178	100
450	1800	450	200	113
500	2000	500	222	125
550	2200	550	244	138
600	2400	600	267	150
650	2600	650	289	163
700	2800	700	311	175
750	3000	750	333	188

# Verschneidung mit Ausschlussflächen

Kriterien	Typ	Pufferzone	Quelle
Schutzgebiete	Nationalpark Naturschutzgebiet FFH-Gebiet Vogelschutzgebiet Biosphärenreservat Naturpark	keine	Bundesamt für Naturschutz
Siedlungsflächen	Städte kleinere Städte	1000m 500m	Digitales Landschaftsmodell (DLM 250)
Verkehrsflächen	Autobahnen Bundesstraßen	100m 100m	Digitales Landschaftsmodell (DLM 250)
Stark geneigte Talflächen	Neigung $\geq 3^\circ$	keine	

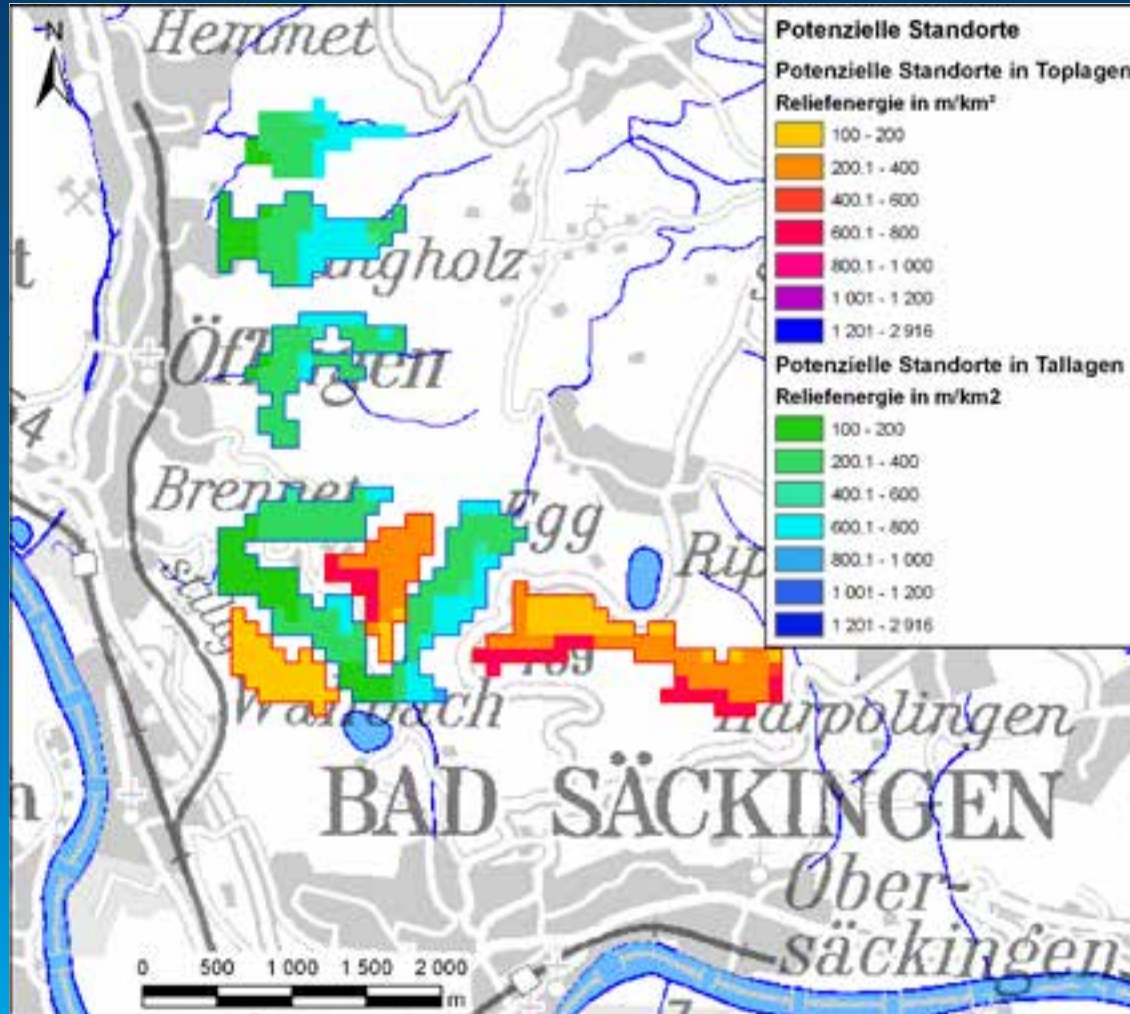
# Ergebnisse

T. Hens





# Ergebnisse



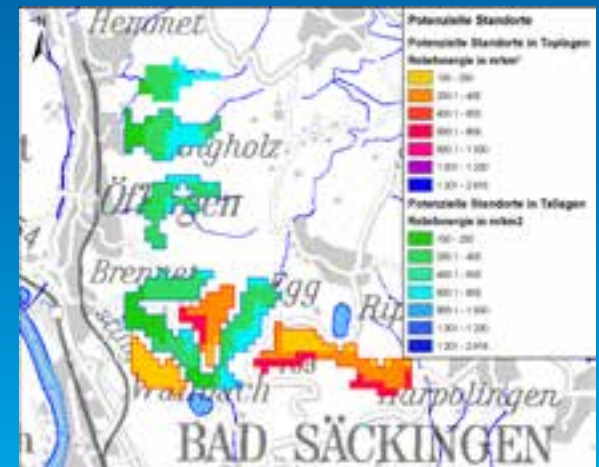
# Ergebnisse

- 44 Hauptstandorte nach automatisiertem Suchverfahren

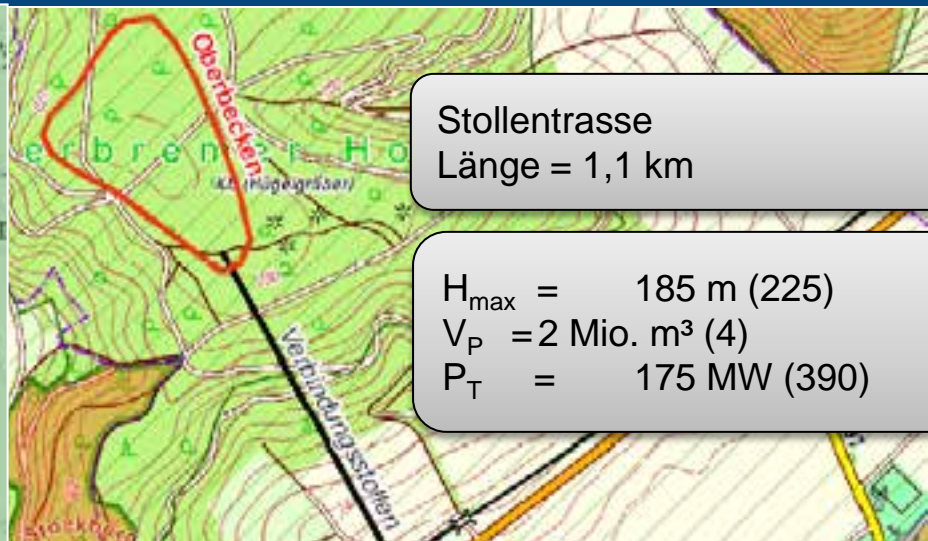
Möglichkeiten zur Variation ergeben sich dabei durch unterschiedliche Kombinationen aus Ober- und Unterbecken.

- 14 Standorte nach individueller Prüfung

Detaillierte Topografie, Erweiterte Nutzungsanalyse (Tourismus, Verkehr, Energie), vorhandene Bauwerke



# Beispiel PSW Nethe-Ottbergen



Stollentrasse  
Länge = 1,1 km

$H_{\max} = 185 \text{ m (225)}$   
 $V_P = 2 \text{ Mio. m}^3 \text{ (4)}$   
 $P_T = 175 \text{ MW (390)}$



# Raumordnungsverfahren PSW Nethe



# Landschaftsbildanalyse



Quelle: Trianel Energy Trading GmbH / Björnson Beratende Ingenieure GmbH

# Fazit und Ausblick

- Durch die Kombination von Methoden der Reliefanalyse mit klassischen Standortanalyseverfahren konnten potenzielle Standorte für Wasserspeicherkraftwerke berechnet werden.
- In individuellen Untersuchungen wurden Standorte aufgrund weiterer Kriterien verworfen, andere wurden bestätigt und bis zum Raumordnungsverfahren weiter verfolgt.
- Aufgrund der Automatisierung der Verarbeitungsprozesse konnten die Standortbestimmung immer wieder mit optimierten Parameter neu berechnet werden.