

# Analyse und Bewertung geothermischer Systeme unter Anwendung von Informationswert und Risikofunktionen

---

Jan Niederau, Karla Vanessa Hato Caro, Lars Pöschko, Oliver Ritzmann, Florian Wellmann

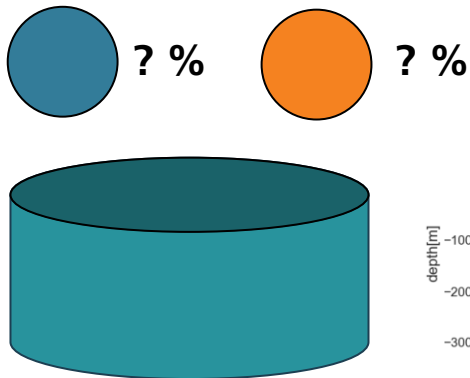
# Inhalt

## Methoden

Was ist Efficacy of Information?

Was ist Value of Information?

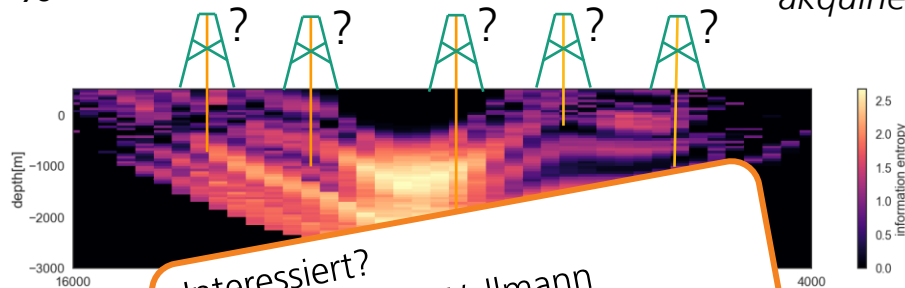
Was sind **Risikofunktionen?**



## EOI Anwendung

Greenfield Expl. Beispiel  
Weisweiler

Fragestellung:  
*Wo ein Explorationsbohrloch  
abteufen für hohen  
Informationswert?*



Interessiert?  
Vortrag Florian Wellmann  
23.10. 10:00 Kongress-Saal

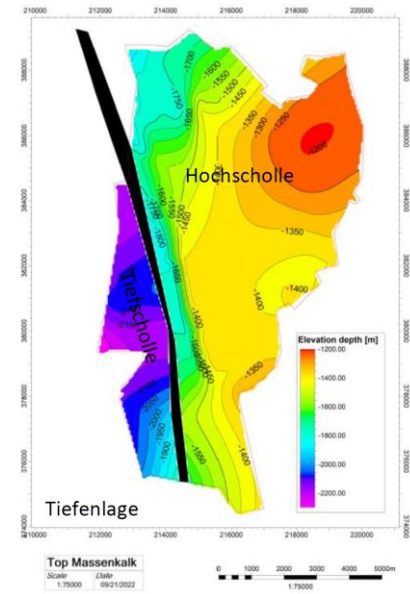
## Loss F. Anwendung

Verlustfunktionen für Schätzung  
Bohrtiefe, Beispiel Straelen

Fragestellung:  
*Wie ändert sich der zu  
erwartende Verlust bei  
Verschätzen der Bohrtiefe, wenn  
zuvor noch eine Seismik  
akquiriert wird?*

## Was nehmen wir mit?

„Wann bringen mir Loss- und  
VOI-Studien Was?“



MSc Thesis Philipp Rubach, RWTH

# Methoden

## Informationswert – Efficacy / Value of Information

### Begriffsklärung

Efficacy of Information (Eol) ~ Informationswirkung → Unsicherheitsreduktion

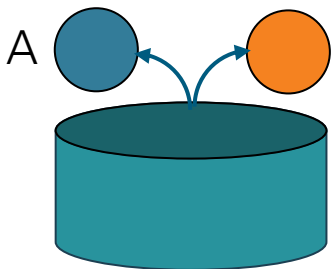
Value of Information (Vol) ~ Informationswert → Vol = Eol + 

Vol braucht ein  
ökonomisches  
Modell

Im Endeffekt der Versuch einer **unterstützenden** Abschätzung *a priori*:

- Lohnt sich eine weitere Explorationsmaßnahme?
- Wo würde eine Maßnahme einen *hohen* Informationsgehalt haben?

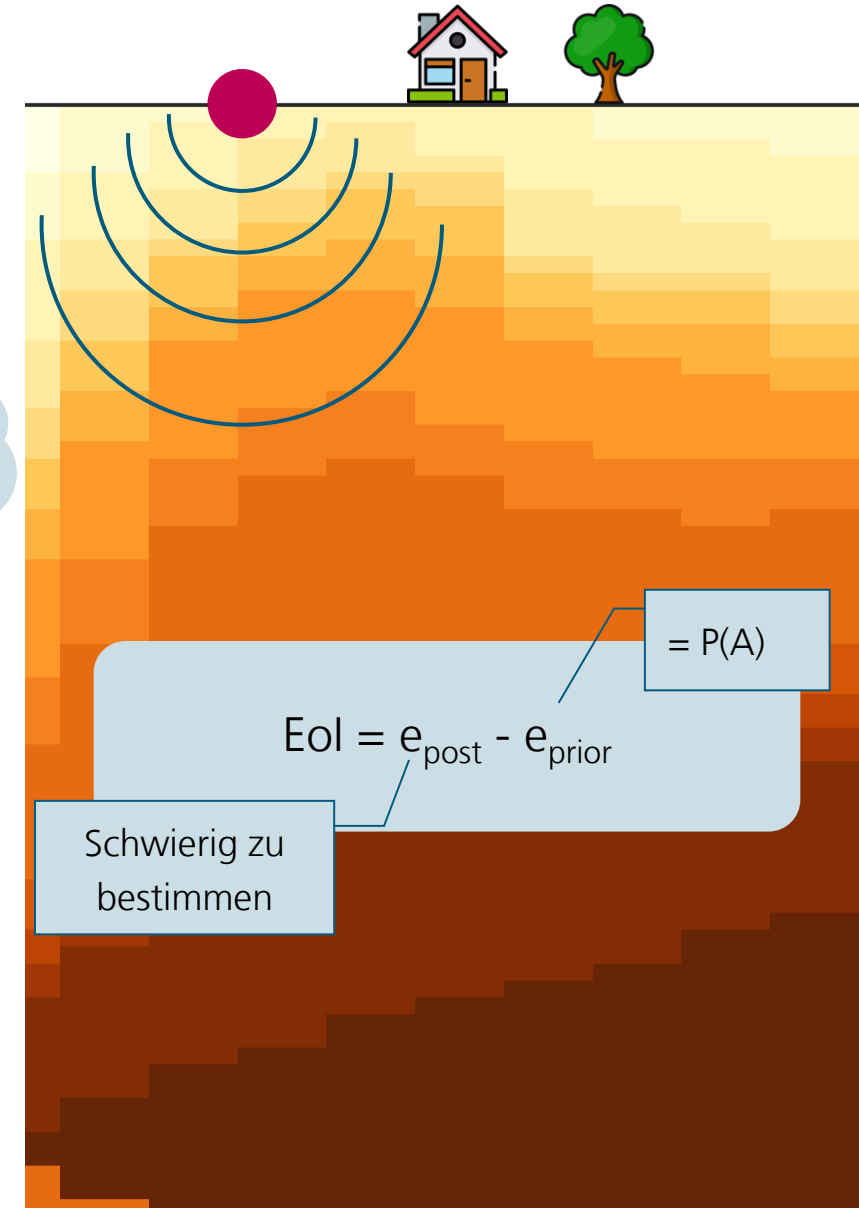
Beispiel: Wette auf ein binäres Ergebnis: **Blau** oder **Orange**  $P(A=0)$



Alternative: Mache nicht das Spiel A, sondern ein anderes mit gleicher Wahrscheinlichkeit. → Entscheidung ist egal. Eine Information **B** kann die Entscheidung aber ändern.

$$P(A = 0 | B = 0) = \frac{P(A = 0)P(B = 0 | A = 0)}{P(B = 0)}$$

$$P(B = 0) = P(B = 0 | A = 0)P(A = 0) + P(B = 0 | A = 1)P(A = 1)$$

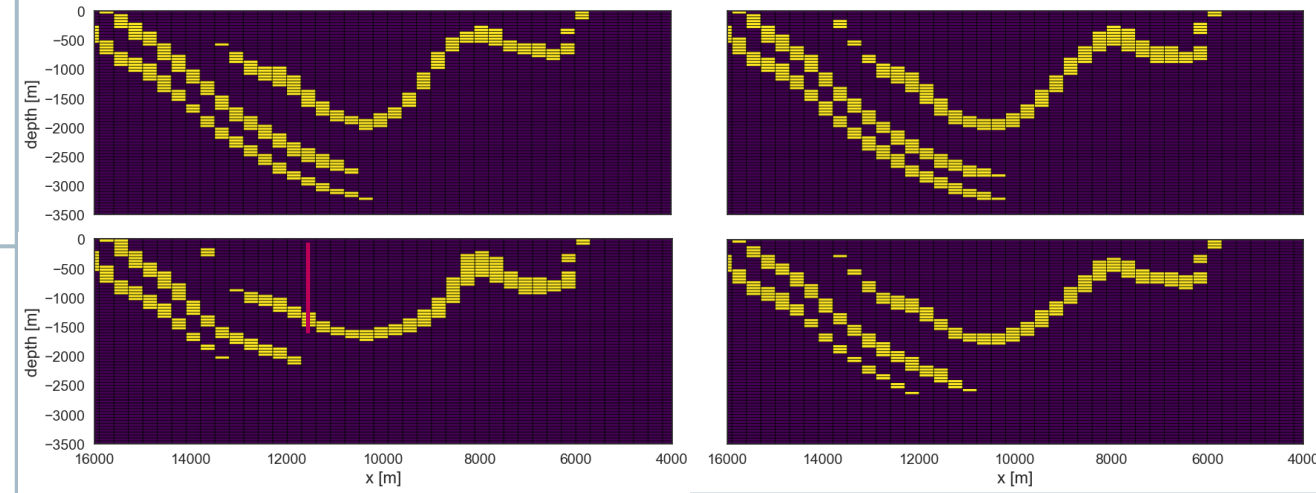


# EOI Berechnung

Sehr vereinfacht nach Caers et al. 2022

Was wir annähern wollen:

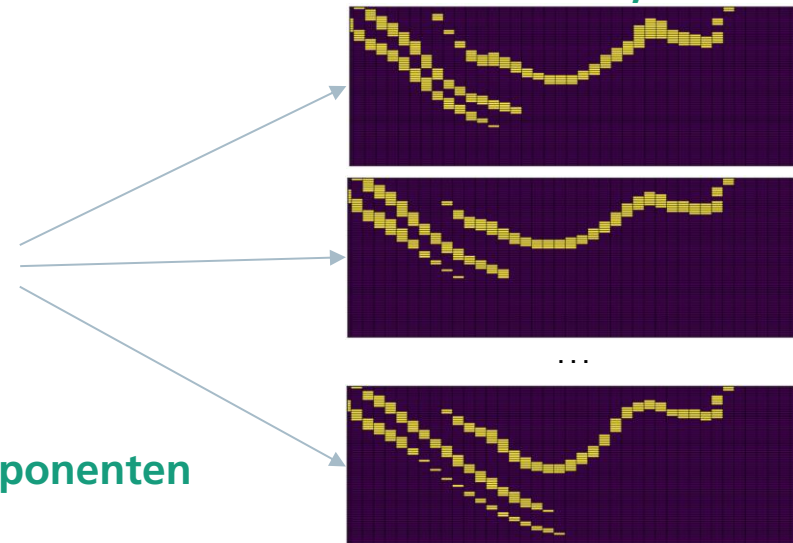
$$P(B = 0 | A = 0)$$



1. Mit Hilfe von PCA von den Prior Realisationen Eigenvektoren und Eigenwerte bestimmen

2. Daraus wird die Kovarianz der Prior Verteilung abgeschätzt, um neue Realisationen zu erstellen, die aber...

3. Mit „simulierten Bohrungen“ konditioniert sind



4. Berechnung von Posterior Mittel und Kovarianz  
& updaten der Realisationen durch Zurückmappen mit PCA Komponenten

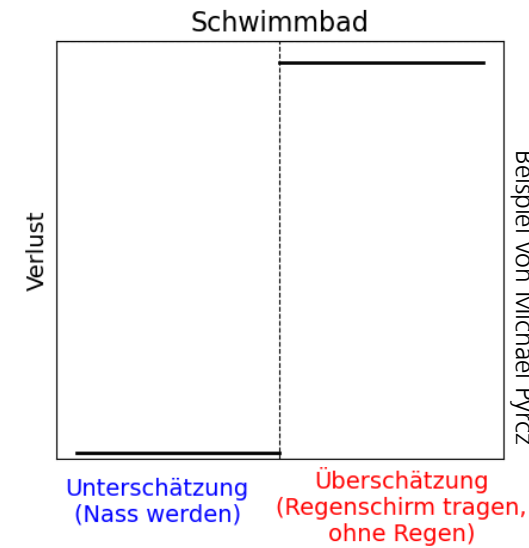
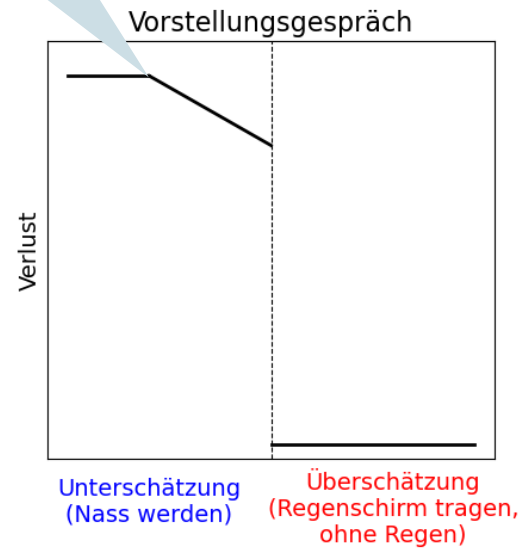
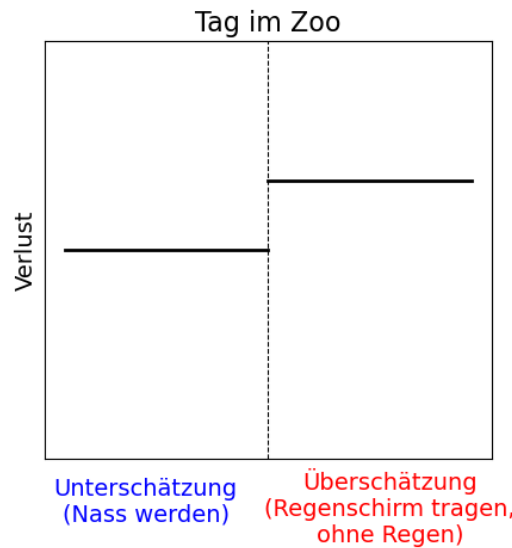
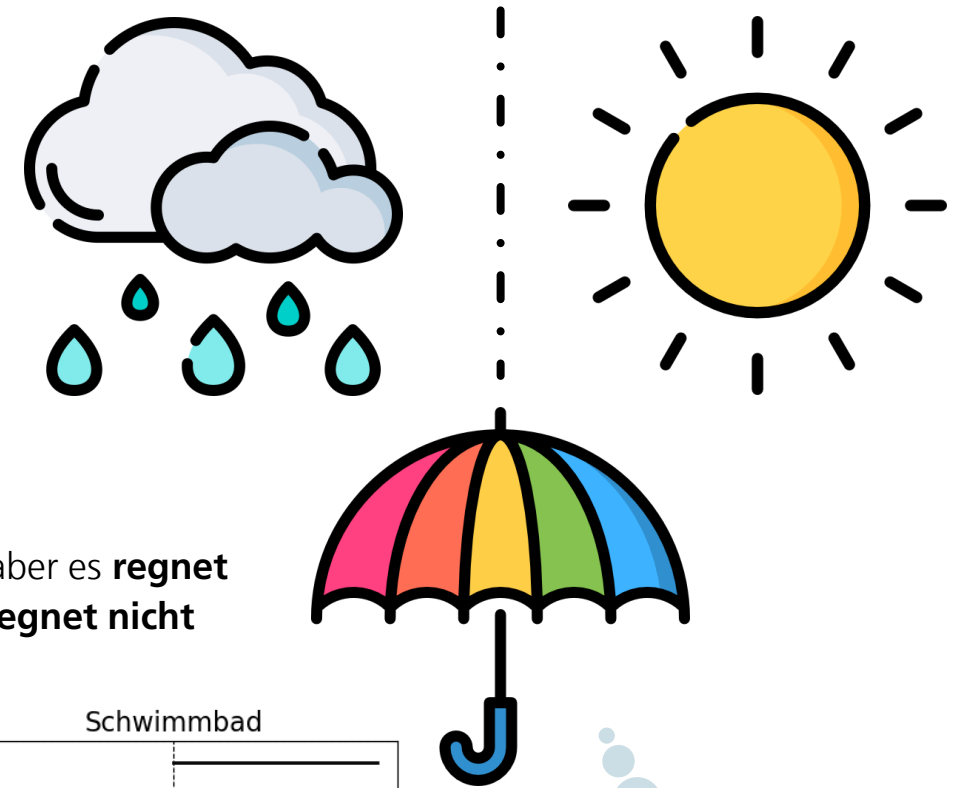
5. EOI Berechnung als Differenz von Posterior und Prior Wahrscheinlichkeiten pro Zelle

# Methoden

## Risikofunktionen – Loss functions

### Beispiel – Regenwahrscheinlichkeit

- Entscheidungsfindung bei ungenauem Ereignis: Wird es heute regnen?
  - Entscheidung ist: Nehme ich einen Regenschirm mit?
- Unterschätzung: Wir schätzen es **wahrscheinlich** zu regnen, nehmen **keinen** Regenschirm mit, aber es **regnet**
- Überschätzung: Wir schätzen es **wahrscheinlich** nicht zu regnen, nehmen **einen** Regenschirm mit, aber es **regnet nicht**



Beispiel von Michael Pycz

(Schirm | Regen)  
(Kein Schirm | Sonne)  
Haben keinen Loss

Icons created by Freepik - Flaticon

# Methoden

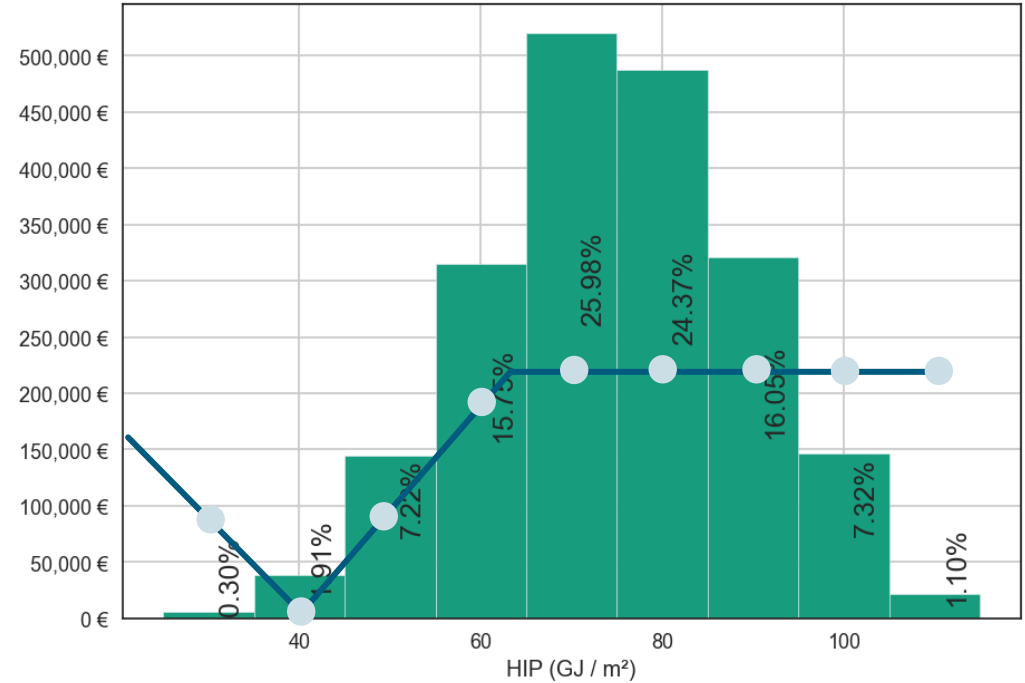
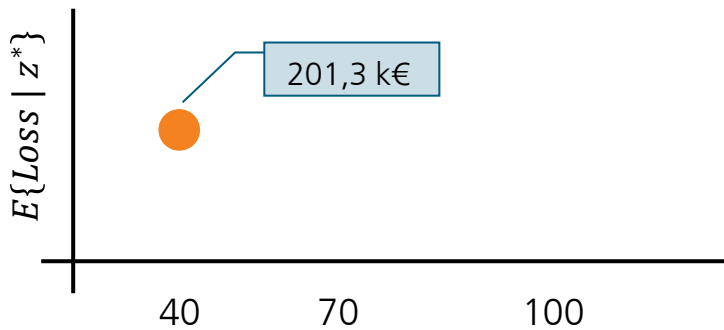
## Risikofunktionen – Loss functions - Beispielanwendung

### Berechnung „Erwartete Kosten / Verlust“

- Erwarteter Verlust / Erwartete Kosten sind ein Mittel, gewichtet nach der Wahrscheinlichkeit

$$E\{Loss | z^*\} = \int_{-\infty}^{\infty} L(z - z^*) f_z(z) dz = \sum L(z - z^*) P(z)$$

Diskrete Annäherung



$$E\{Loss | z^*\} = \sum \begin{matrix} 0,3 \% * 90 \text{ k€} \\ 1,91 \% * 0 \text{ k€} \\ 7,22 \% * 90 \text{ k€} \\ 15,75 \% * 190 \text{ k€} \\ 25,98 \% * 220 \text{ k€} \\ 24,37 \% * 220 \text{ k€} \\ 16,05 \% * 220 \text{ k€} \\ 7,32 \% * 220 \text{ k€} \\ 1,10 \% * 220 \text{ k€} \end{matrix} = 201,3 \text{ k€}$$

# Methoden

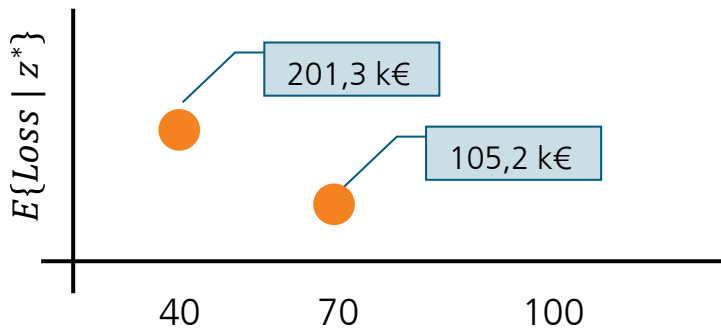
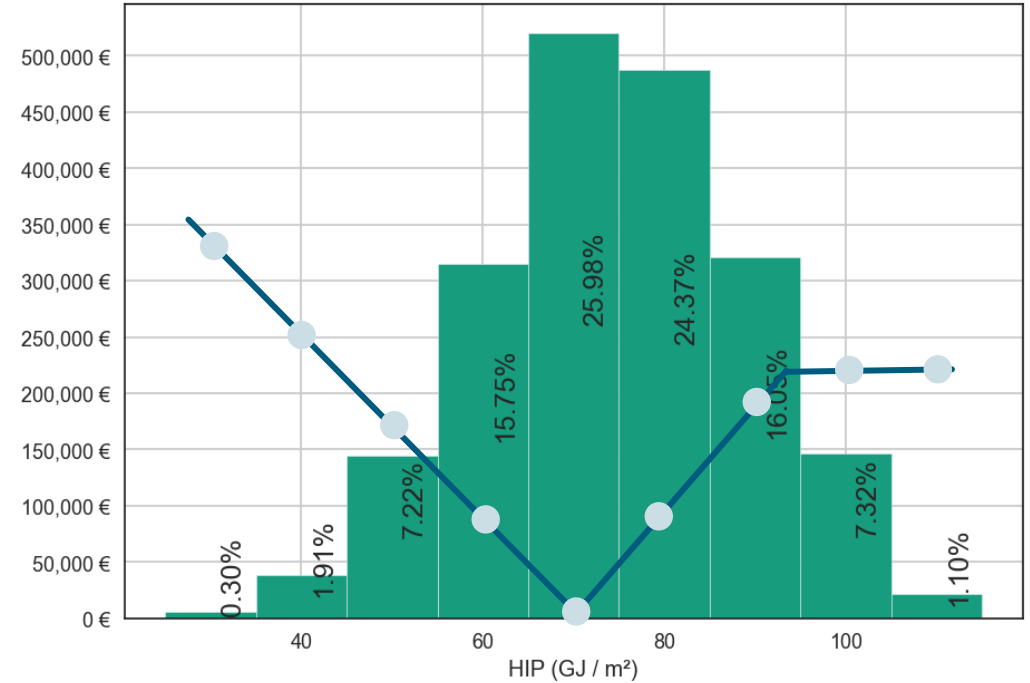
## Risikofunktionen – Loss functions - Beispielanwendung

### Berechnung „Erwartete Kosten / Verlust“

- Erwarteter Verlust / Erwartete Kosten sind ein Mittel, gewichtet nach der Wahrscheinlichkeit

$$E\{Loss | z^*\} = \int_{-\infty}^{\infty} L(z - z^*) f_z(z) dz = \sum L(z - z^*) P(z)$$

Diskrete Annäherung



$$E\{Loss | z^*\} = \sum \begin{matrix} 0,3 \% * 340 \text{ k€} \\ 1,91 \% * 250 \text{ k€} \\ 7,22 \% * 175 \text{ k€} \\ 15,75 \% * 90 \text{ k€} \\ 25,98 \% * 0 \text{ k€} \\ 24,37 \% * 90 \text{ k€} \\ 16,05 \% * 200 \text{ k€} \\ 7,32 \% * 220 \text{ k€} \\ 1,10 \% * 220 \text{ k€} \end{matrix} = 105,2 \text{ k€}$$

# Methoden

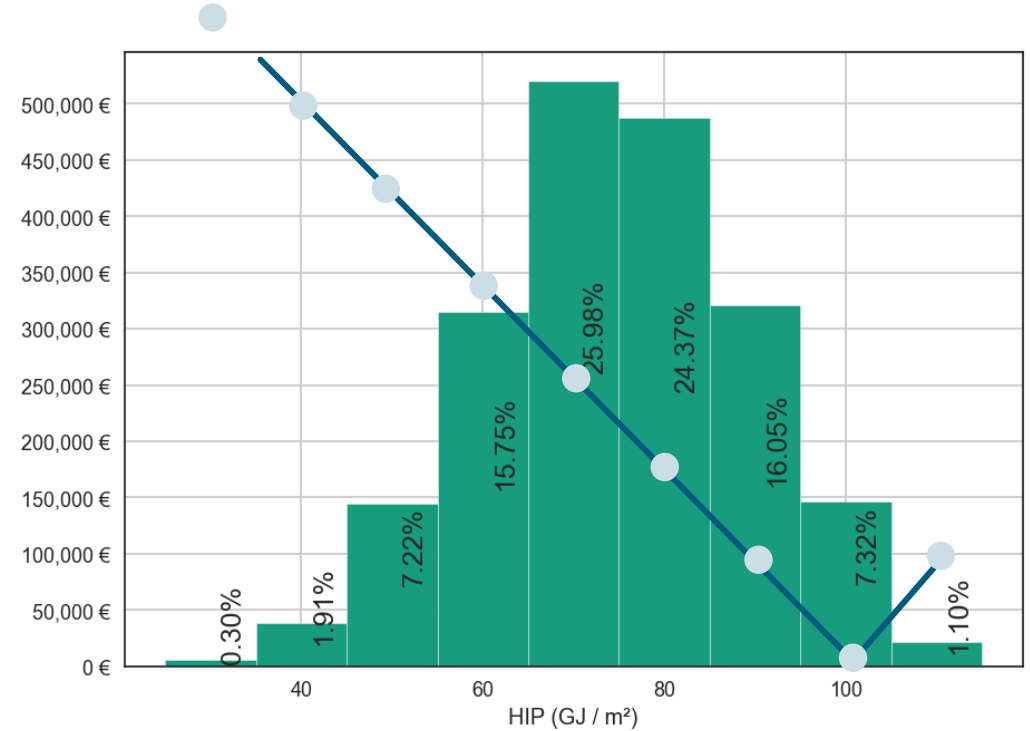
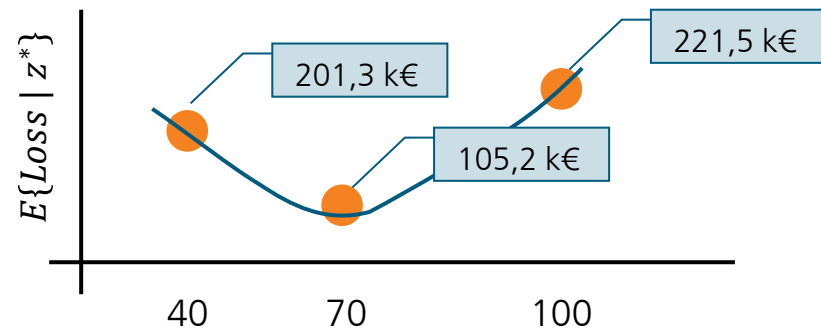
## Risikofunktionen – Loss functions - Beispielanwendung

### Berechnung „Erwartete Kosten / Verlust“

- Erwarteter Verlust / Erwartete Kosten sind ein Mittel, gewichtet nach der Wahrscheinlichkeit

$$E\{Loss | z^*\} = \int_{-\infty}^{\infty} L(z - z^*) f_z(z) dz = \sum L(z - z^*) P(z)$$

Diskrete Annäherung



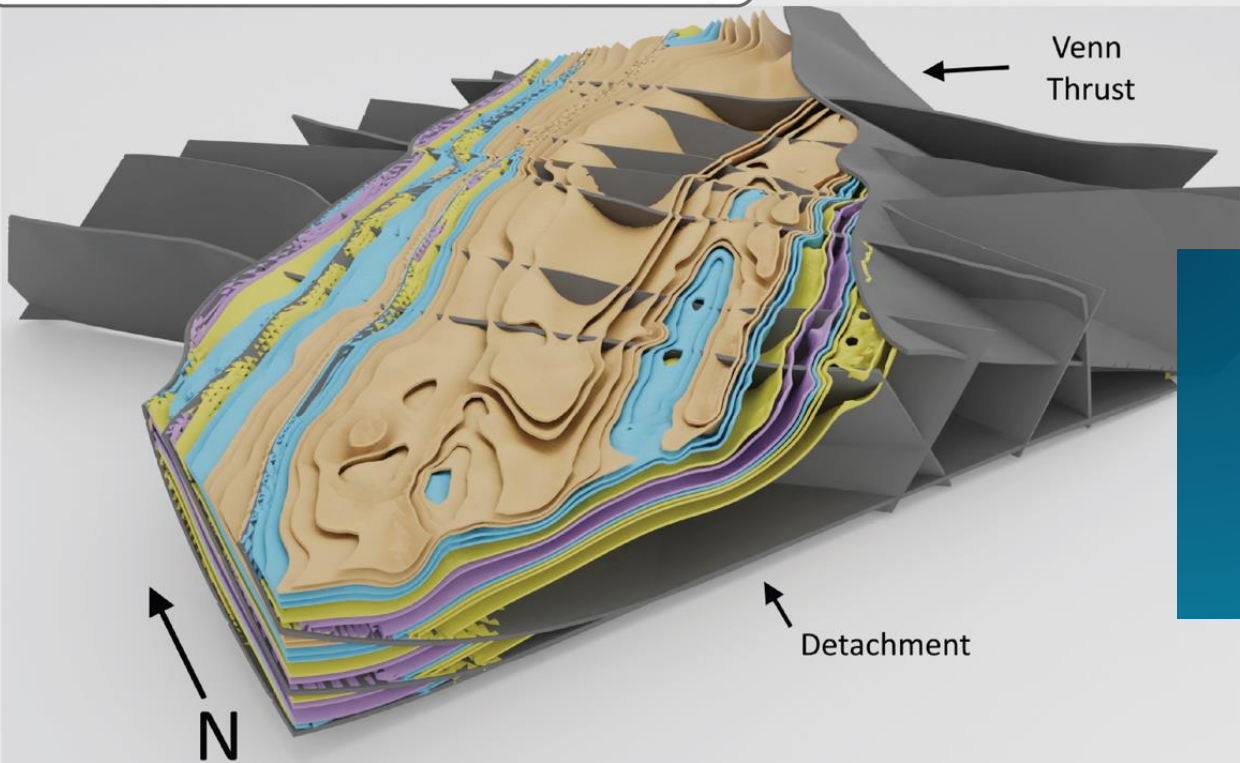
$$E\{Loss | z^*\} = \sum$$

0,3 % * 575 k€
1,91 % * 500 k€
7,22 % * 425 k€
15,75 % * 340 k€
25,98 % * 250 k€
24,37 % * 180 k€
16,05 % * 100 k€
7,32 % * 0 k€
1,10 % * 100 k€

= 221,5 k€



(a) Geological model of Weisweiler, Germany

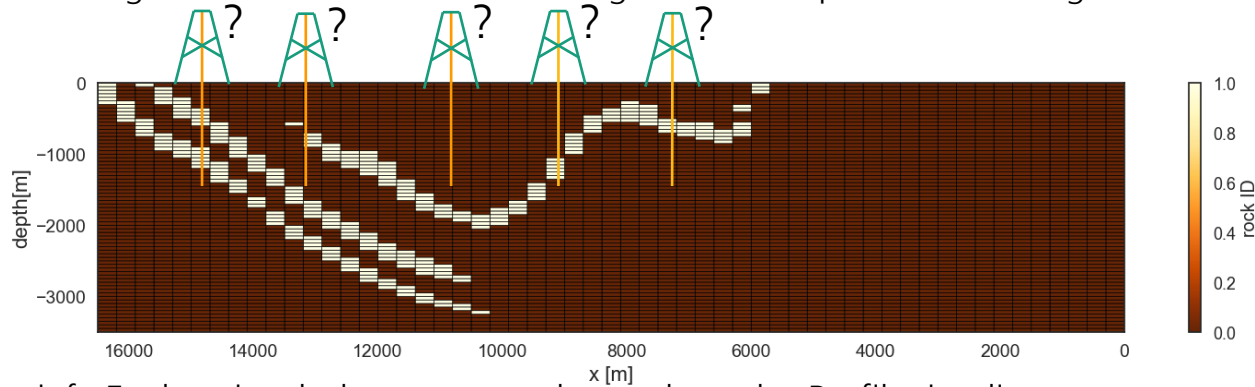


## Efficacy of Information Beispiel Weisweiler

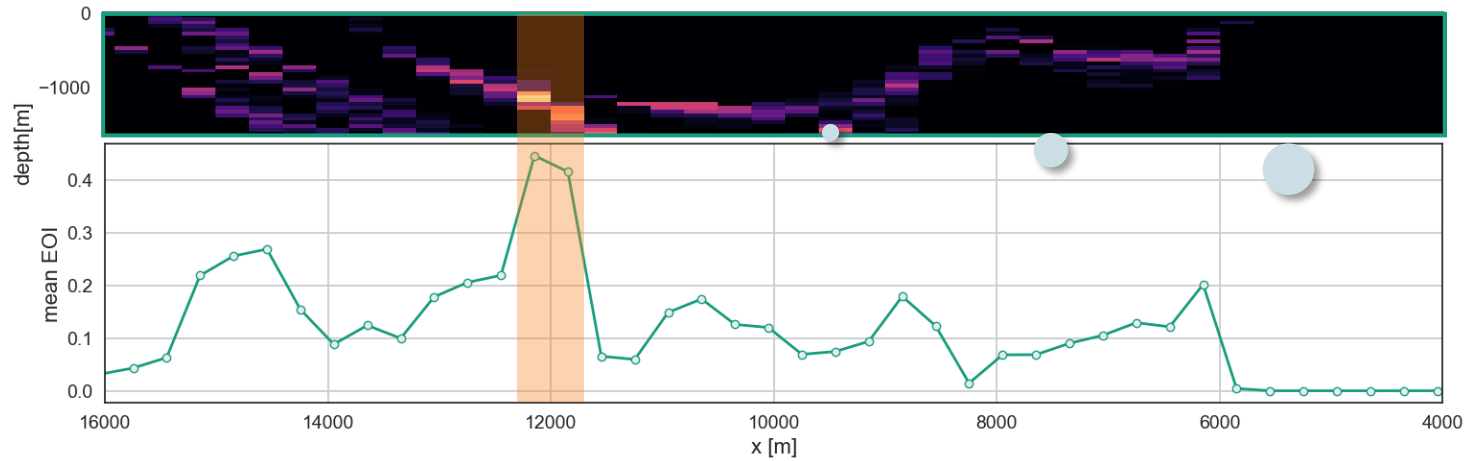
# Efficacy of Information

## Beispiel Weisweiler – **Work in Progress**

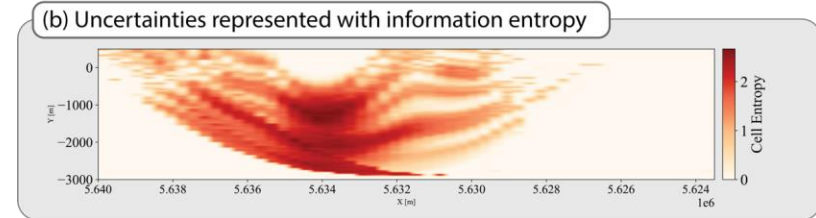
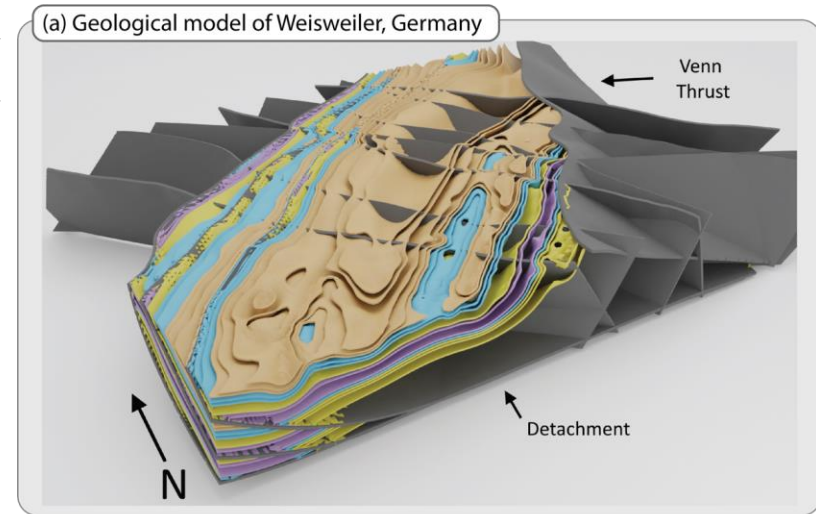
- Ausgangsmodell: Probabilistisches Modell von Jüstel et al. (*in review*) (100 Prior Realisationen)
- EOI Berechnung an NW-SE Profilschnitt orthogonal zu Hauptüberschiebungen **nur** für Kohlenkalk



- 1500 m tiefe Explorationsbohrungen werden entlang des Profils simuliert



Wellmann et al. (2024)

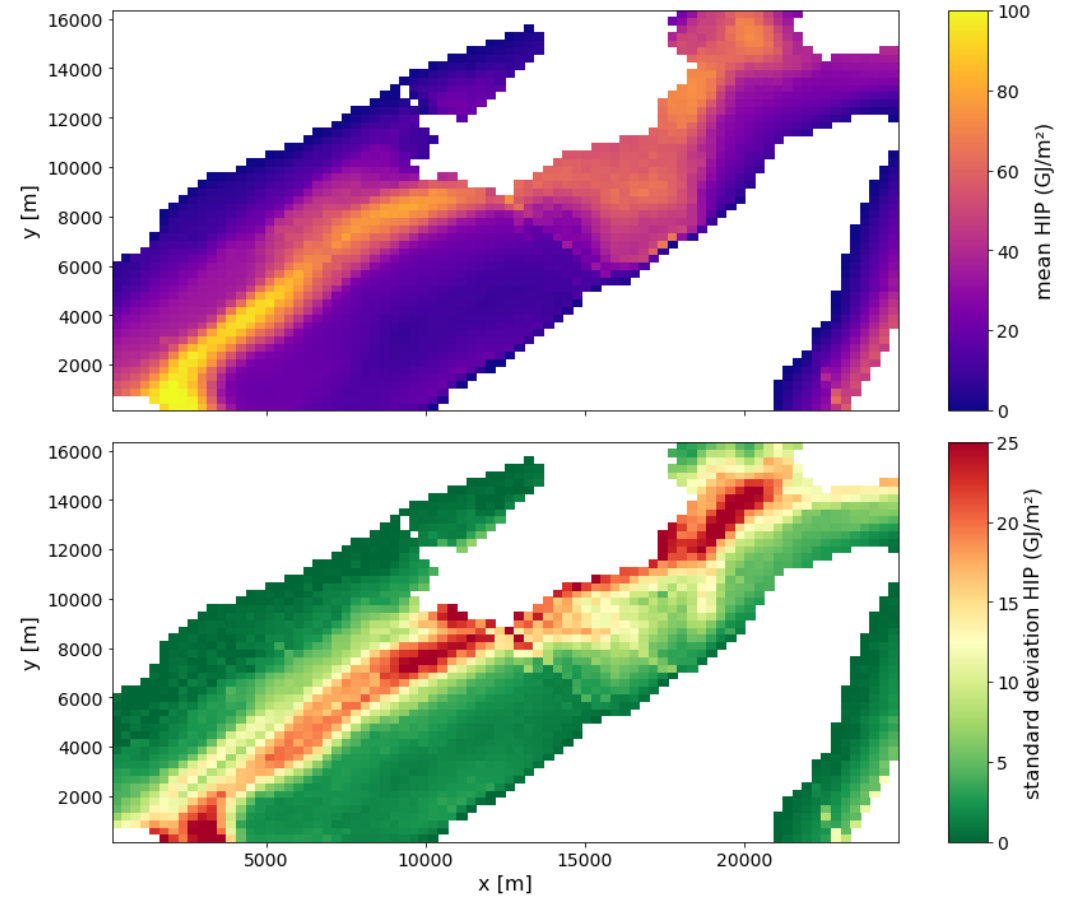
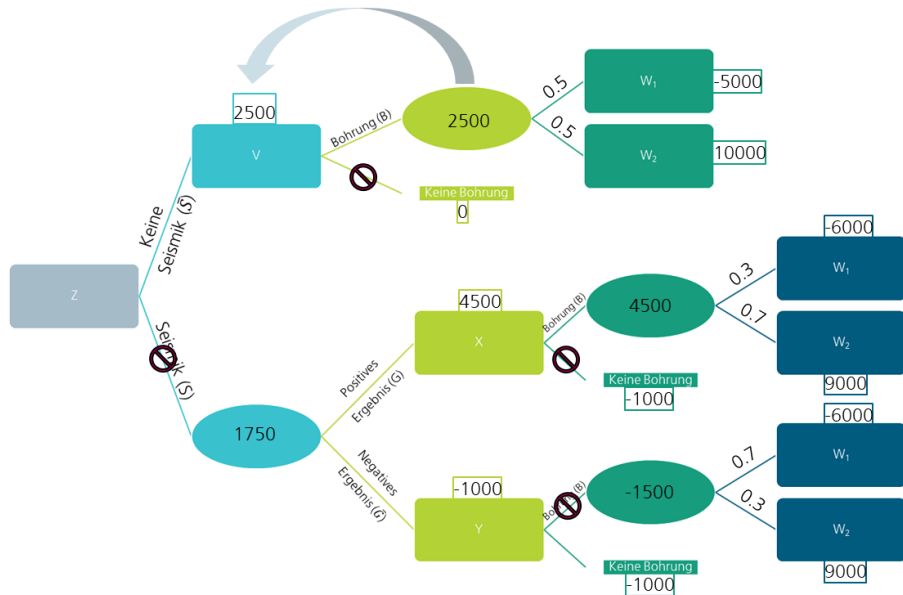


Hauptstrukturelemente werden auch in EOI noch dargestellt  
 → großer Einfluss der Tektonik

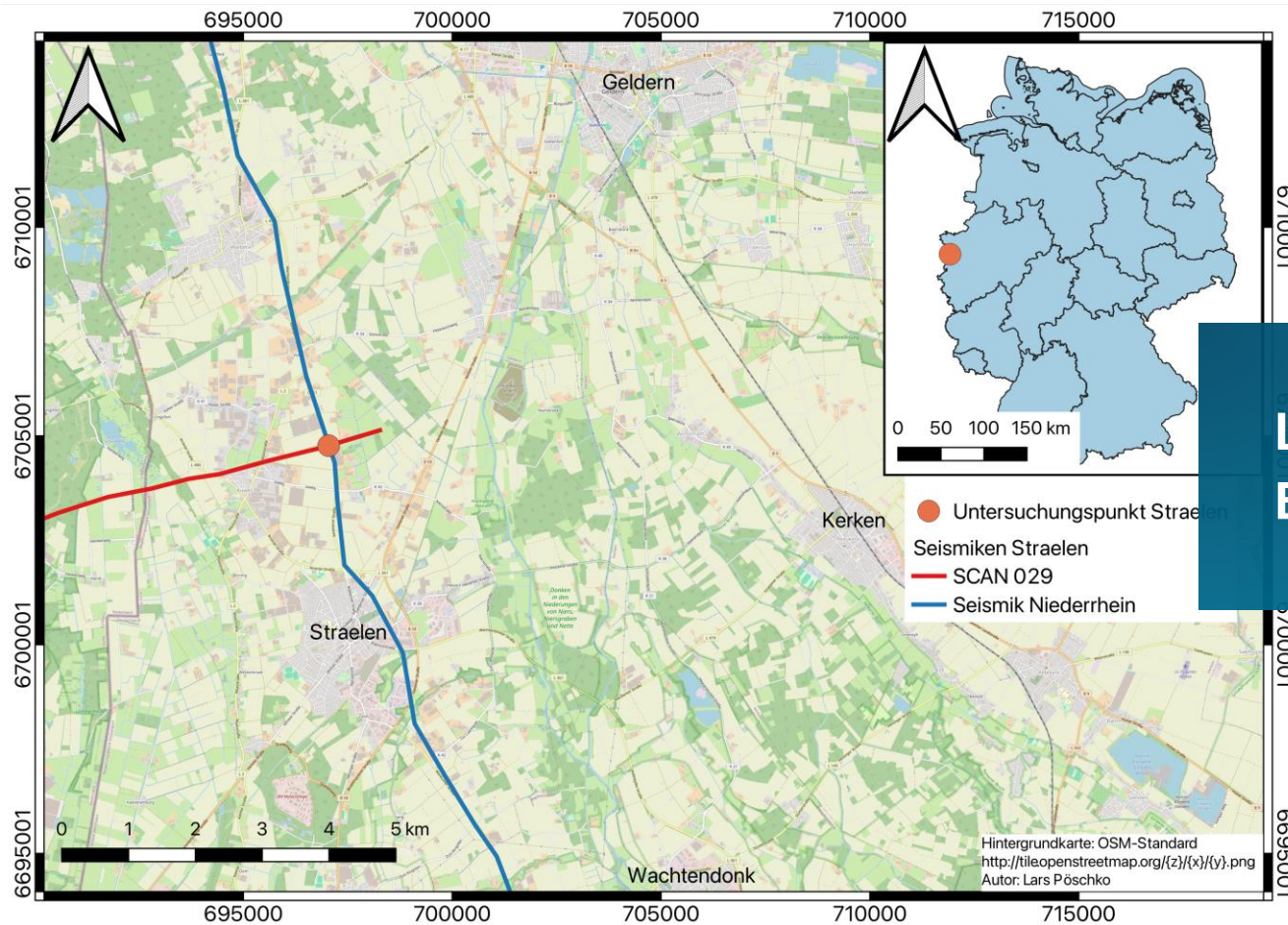
# Fortführung zu Value of Information

## Work in Progress

- Option ist: Abschätzung des HIP  $\rightarrow$  wirtschaftliches HIP
- Abschätzung der zu erwartenden Energiemenge, die entnommen werden kann  $\rightarrow$  Verrechnung mit Investitionen für EMV
- Sind die Kosten der Explorationsmaßnahme und der EMV bekannt bzw. abgeschätzt, können EOI und ökonomisches Modell VOI ergeben, und so in Entscheidungsbäume münden



„Generally speaking one would spend \$M on gathering information provided that the difference in the expected monetary value of the optimal decision with the \$M spent exceeds the expected monetary value of the optimal decision without spending the \$M, by more than \$M.“ Moore & Thomas *The Anatomy of Decisions*



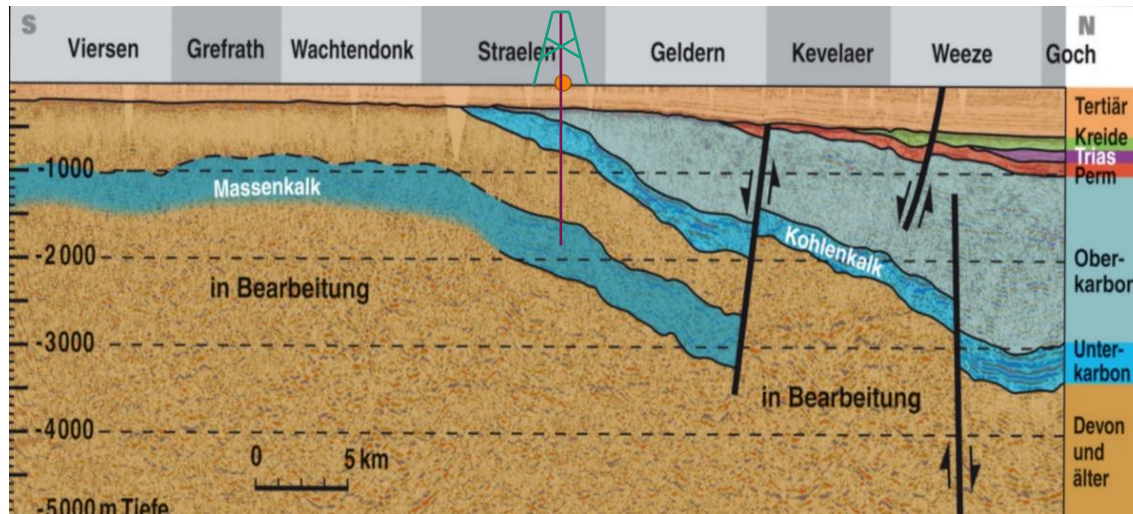
## Loss functions Beispiel Straelen

# Loss functions

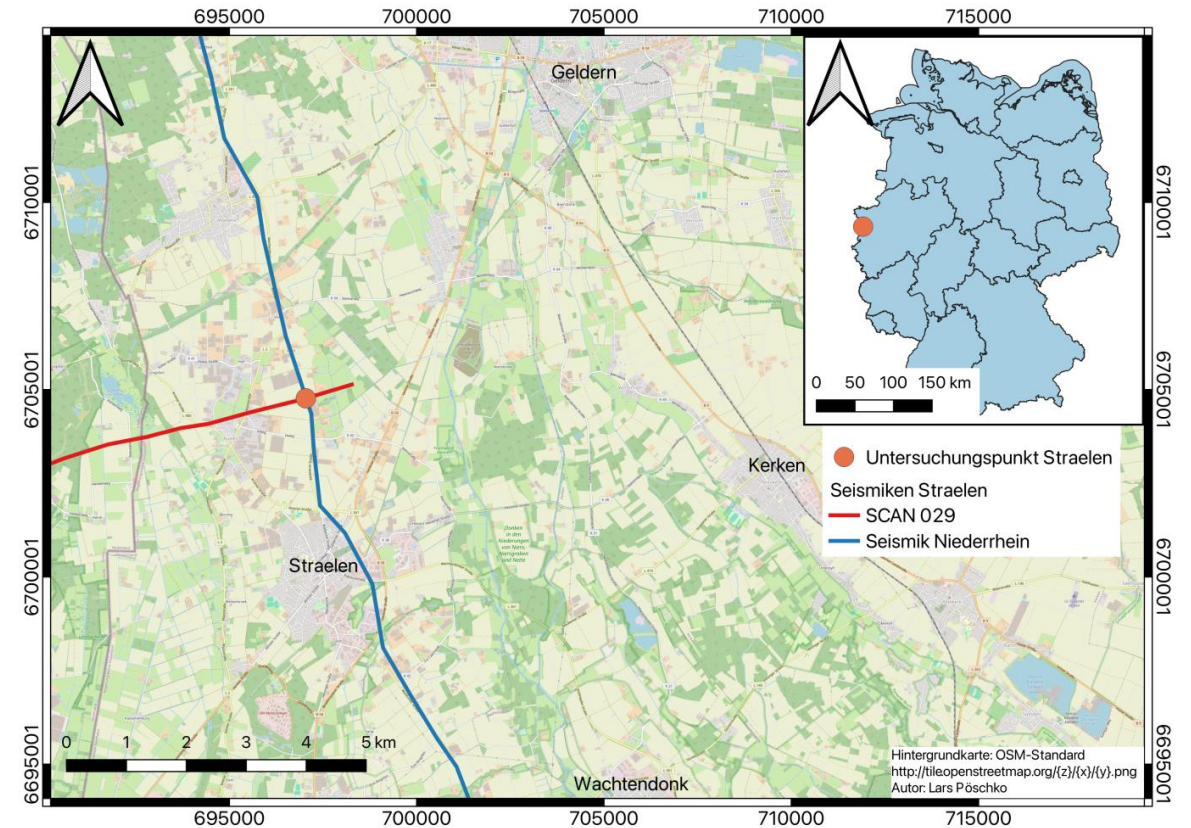
## Anwendung Straelen

Basierend auf den Ergebnissen des Landeswettbewerb Projektes „DEEP-Geothermie-Straelen“ wurden:

- Verlustfunktionen für mögliche, unsichere Bohrtiefen und Fließraten erstellt
- Zur Konditionierung der Tiefenunsicherheiten wurde die erste Interpretation der Landeseseismik durch den GD-NRW herangezogen



Originalquelle: Geologischer Dienst NRW (<https://geowaerme.nrw.de/seismik-niederrhein>), angepasst.

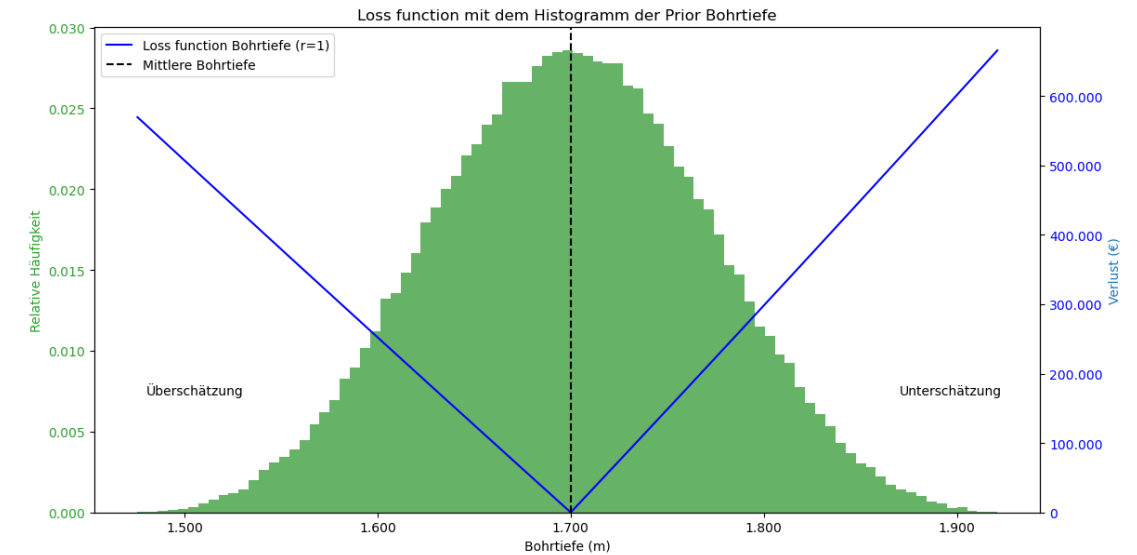
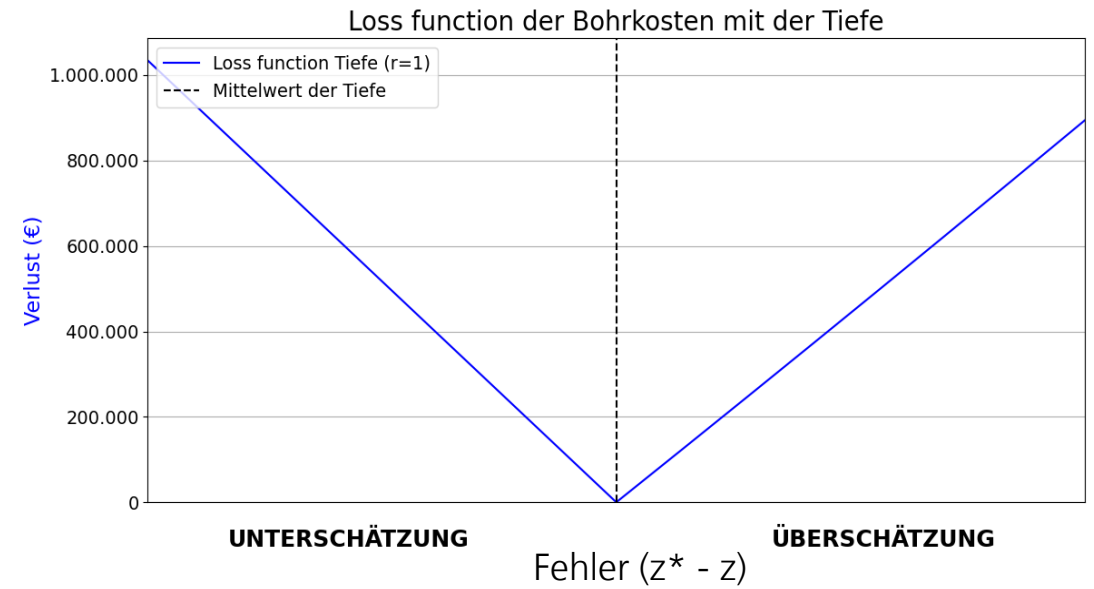
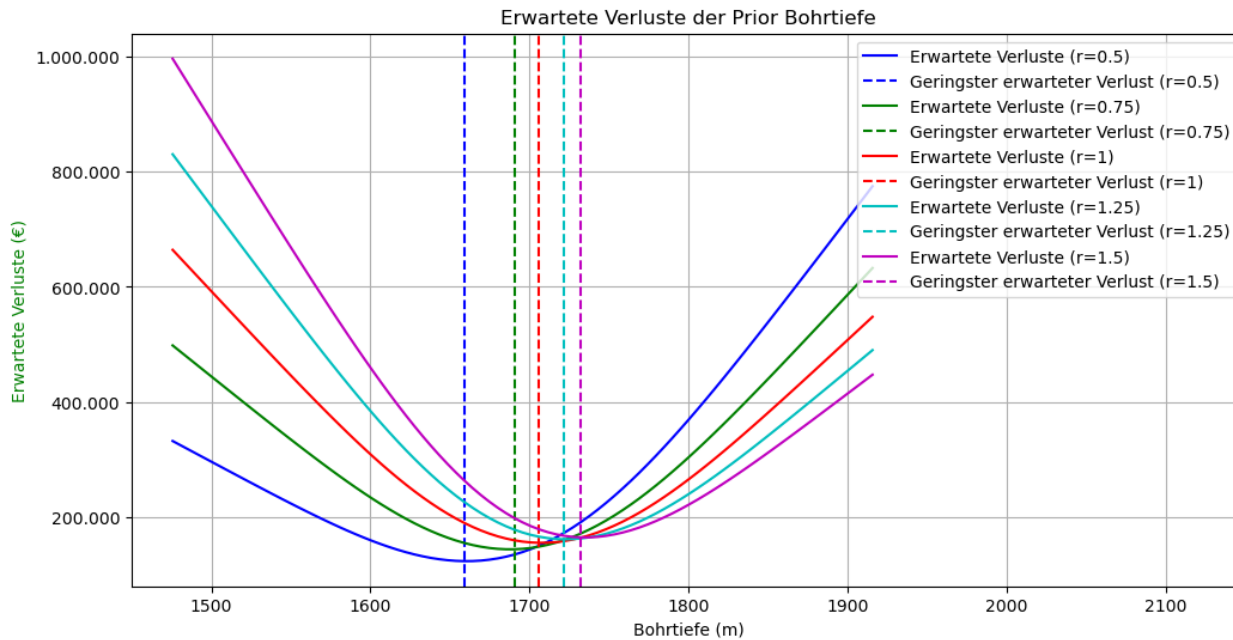


# Loss functions

## Anwendung Straelen

### A Priori Modell

- Bohrtiefe = Base Massenkalk Wahrscheinlichkeitsverteilung
- Asymmetrische Loss function, Unterschätzung teurer als Überschätzung

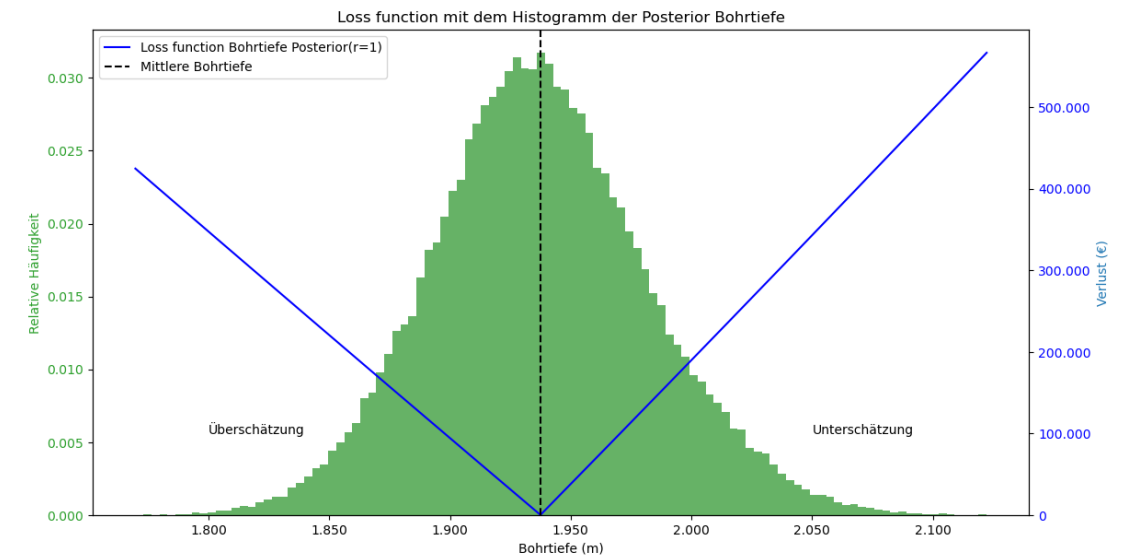
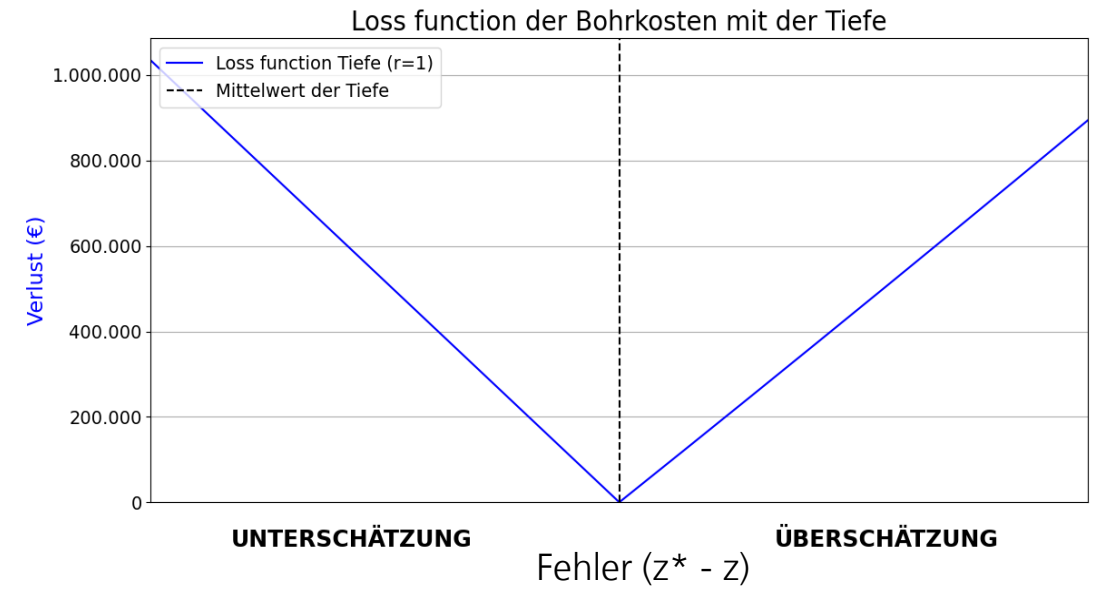
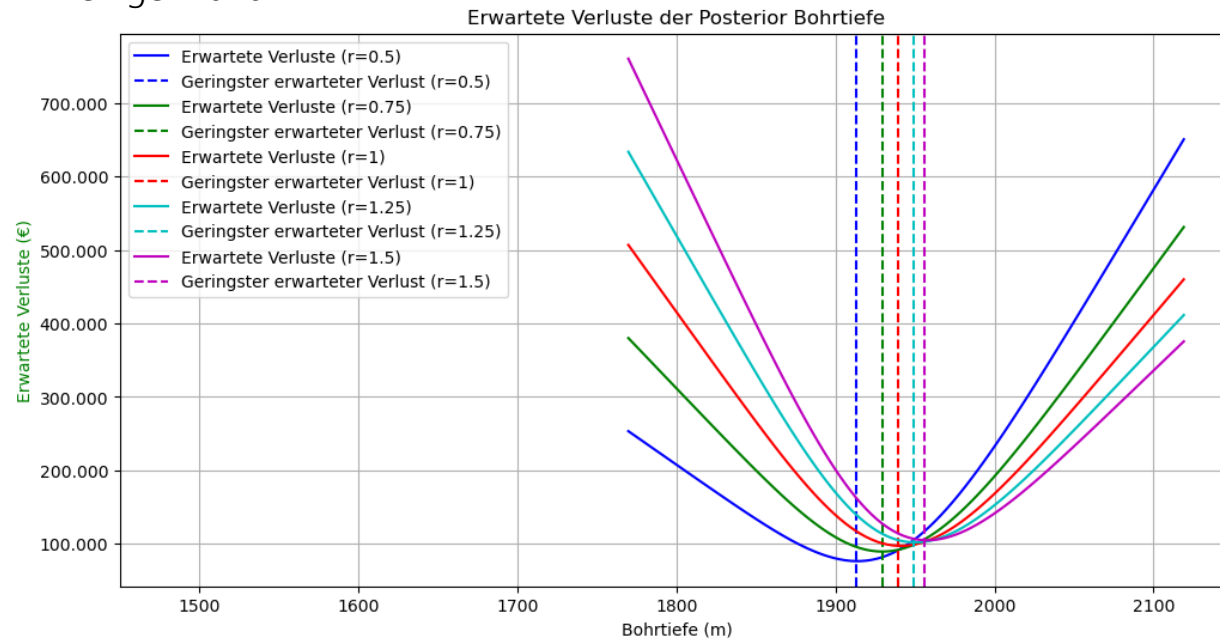


# Loss functions

## Anwendung Straelen

### A posteriori Modell

- Neue Informationen aus der 2D Landeseseismik → Änderung der Verteilung
- Erwartete Kosten / Losses bei Fehlschätzung insgesamt niedriger und mit weniger Varianz



# Abbildung unterschiedlicher Risikoaffinitäten

## Prior

r-Wert	Risikoaffinität	Minimaler erwarteter Verlust (€)	Bohrtiefe (m)
0.5	Sehr risikoavers	123432.61 €	1659.00 m
0.75	Risikoavers	144063.50 €	1690.43 m
1	Risikoneutral	155286.55 €	1706.15 m
1.25	Risikoaffin	161420.83 €	1721.86 m
1.5	Sehr risikoaffin	164703.77 €	1732.34 m



## Posterior

r-Wert	Risikoaffinität	Minimaler erwarteter Verlust (€)	Bohrtiefe (m)
0.5	Sehr risikoavers	76570.94 €	1912.75 m
0.75	Risikoavers	89584.32 €	1929.38 m
1	Risikoneutral	97397.71 €	1939.36 m
1.25	Risikoaffin	102097.93 €	1949.34 m
1.5	Sehr risikoaffin	105057.62 €	1956.00 m

**Verminderung des Minimal erwarteten Losses um 45 k€ bis 60 k€ (je nach Risikoaffinität)**



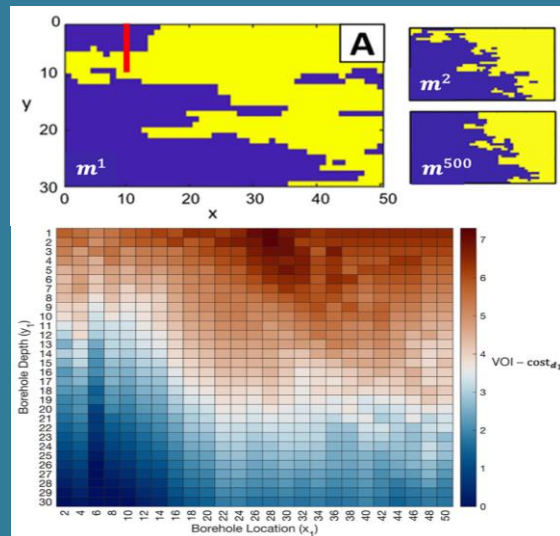


Bild von Virginia\_Druckzentrum auf Pixabay

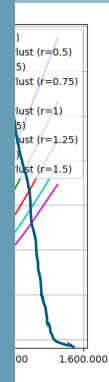
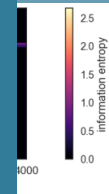
## Wozu können die Methoden nützlich sein? Take (it) home Messages

# Was nehmen wir mit?

In der Analyse probabilistischer Modelle helfen Efficacy und Value of Information, nützliche Maßnahmen für weitere Exploration zu identifizieren

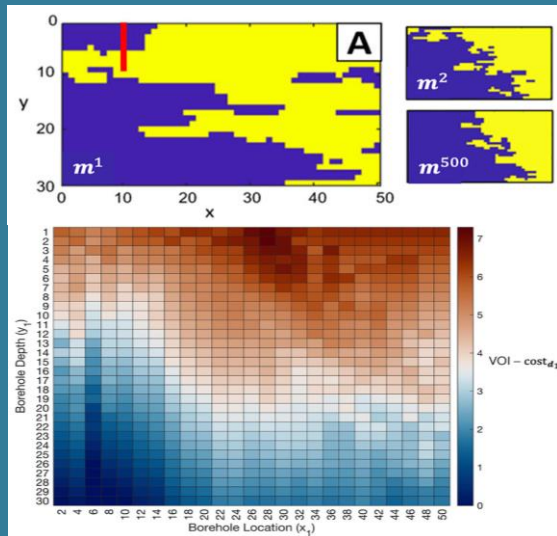


Hall et al. (2022) *Natural Resources Research*



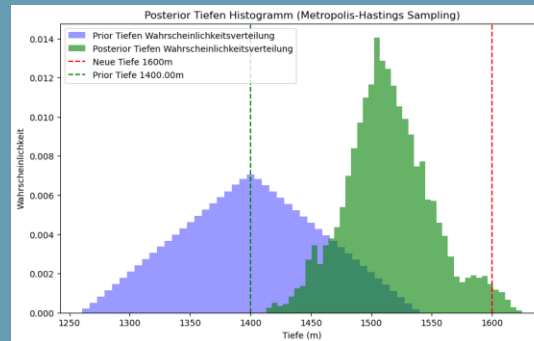
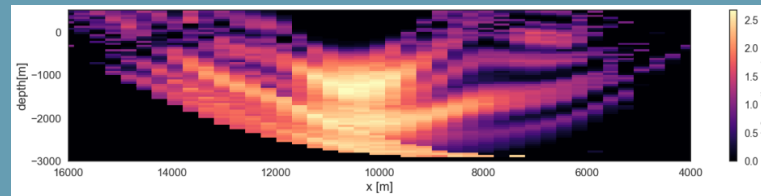
# Was nehmen wir mit?

In der Analyse probabilistischer Modelle helfen Efficacy und Value of Information, nützliche Maßnahmen für weitere Exploration zu identifizieren

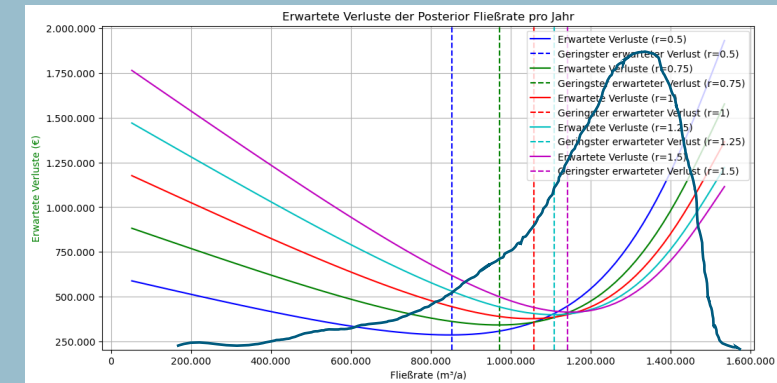


Hall et al. (2022) *Natural Resources Research*

Probabilistische Geomodellierung ist ein wertvolles Werkzeug zur Entscheidungsunterstützung in der Exploration



Eine Schätzung aus einer Unsicherheitsverteilung für eine Entscheidung hängt immer von den Kosten von Über- und Unterschätzung ab



# Kontakt

---

**Dr. Jan Niederau**  
**Geschäftsbereich Georessourcen – Exploration & Reservoir Simulation**

**[jan.niederau@ieg.fraunhofer.de](mailto:jan.niederau@ieg.fraunhofer.de)**

Fraunhofer IEG  
Kockerellstraße 17  
52062 Aachen  
[www.ieg.fraunhofer.de](http://www.ieg.fraunhofer.de)