

RAT

Risk Assessment Tool

Dokumentation

**Simon Wiesinger, Adam Kosík, Michael Schreiner**  
Institut für Computational Engineering

18. Januar 2023

# Abbildungsverzeichnis

2.1	Wahrscheinlichkeitsbaum nach einem Beispiel aus [HL04, p. 689] . . . . .	8
2.2	Entscheidungsbaum nach einem Beispiel aus [HL04, p. 689] . . . . .	10
4.1	Startbildschirm . . . . .	17
4.2	Tree View . . . . .	17
4.3	Schnellzugriff . . . . .	18
4.4	Widget für die allgemeine Eingabe des Projekts . . . . .	19
4.5	Widget für die Eingabe der ökonomischen Parameter . . . . .	19
4.6	Widget eines neuen Experten . . . . .	20
4.7	Ausgefülltes Widget eines Experten . . . . .	20
4.8	Widget eines technischen Parameters . . . . .	21
4.9	Widget einer Explorationsmethode . . . . .	22
4.10	Angabe der Abhängigkeit oder Unabhängigkeit von Methoden . . . . .	23
4.11	Angeben der Sensitivität und Spezifität einer Methode für einen technischen Parameter . . . . .	23
4.12	Ergebnisse Übersichts-Widget . . . . .	24
4.13	Widget mit Plot der POS der einzelnen Methoden und deren Kombinationen . . . . .	25
4.14	Widget mit Plot der Ratio der einzelnen Methoden und deren Kombinationen . . . . .	27
4.15	Entscheidungsbaum für die Methode Slim Hole . . . . .	28
4.16	Entscheidungsbaum für die Methode Slim Hole mit effektiven EMVs . . . . .	29
4.17	Widget mit Plot der effektiven EMV der einzelnen Methoden und deren Kombinationen . . . . .	30
4.18	Widget mit Plot der EMV der einzelnen Methoden und deren Kombinationen für vorteilhafte und unvorteilhafte Aussagen . . . . .	30
4.19	Entscheidungsbäume in der Tree View . . . . .	31
4.20	Ausschnitt für die Methode Slim Hole aus der Übersicht der Entscheidungsbäume im Entscheidungsbaum-Widget . . . . .	33
4.21	Ausschnitt des Entscheidungsbaums für die Methode Slim Hole . . . . .	33
4.22	Ausschnitt des Entscheidungsbaums für die Methode Slim Hole in Kombination mit einer 2D Seismik . . . . .	34

# Abkürzungsverzeichnis

<b>Abkürzung</b>	<b>Englisch</b>	<b>Deutsch</b>
ABK	Cost of Termination	Abbruchkosten
CoI	Cost of Information	Komplette Methodenkosten
EMV	Expected Monetary Value	Erwarteter Nettobarwert
NPV	Net Present Value	Nettobarwert
POS	Probability of Success	Erfolgswahrscheinlichkeit
RAT	Risk Assessment Tool	Risiko Einschätzungstool
VoI	Value of Information	Informationswert
WS-N	Probability Negative	Wahrscheinlichkeit Positiv
WS-P	Probability Positive	Wahrscheinlichkeit Negativ

# Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis . . . . .	i
Abkürzungsverzeichnis . . . . .	ii
<b>1 Einleitung</b>	<b>3</b>
1.1 Einleitung zu RAT . . . . .	3
1.2 Verwendungszweck von RAT . . . . .	4
<b>2 Mathematische Theorie hinter RAT</b>	<b>5</b>
2.1 Bedingte Wahrscheinlichkeit . . . . .	5
2.2 Entscheidungsanalyse . . . . .	6
2.2.1 Wahrscheinlichkeitsbäume . . . . .	7
2.2.2 Entscheidungsbäume . . . . .	8
<b>3 Risiko- und Methodenbeurteilung</b>	<b>11</b>
3.1 Ökonomische Parameter . . . . .	11
3.1.1 Nettobarwert . . . . .	11
3.1.2 Abbruchkosten . . . . .	11
3.1.3 Durchführbarkeitsschwelle . . . . .	12
3.2 Probability of Success . . . . .	12
3.3 Expected Monetary Value . . . . .	12
3.4 Methodenparameter . . . . .	13
3.4.1 Sensitivität und Spezifität . . . . .	13
3.4.2 Cost of Information . . . . .	13
3.5 POS und EMV nach einer Methode . . . . .	14
3.6 Value of Information . . . . .	15
<b>4 Risk Assessment Tool</b>	<b>16</b>
4.1 Installation . . . . .	16
4.2 Startbildschirm . . . . .	16
4.2.1 Tree View . . . . .	17
4.2.2 Schnellzugriff . . . . .	18
4.3 Projekt . . . . .	18
4.4 Ökonomische Parameter . . . . .	19
4.5 Experten . . . . .	20
4.6 Technische Parameter . . . . .	21
4.7 Methoden . . . . .	22

4.7.1	Methode bewerten . . . . .	23
4.8	Ergebnisse . . . . .	24
4.8.1	Übersicht . . . . .	24
4.8.2	POS . . . . .	25
4.8.3	Ratio . . . . .	26
4.8.4	EMV und EMV Vergleich . . . . .	27
4.8.5	Entscheidungsbaum . . . . .	31
4.9	Exportieren . . . . .	34
4.10	Speichern und Laden . . . . .	34
	<b>Bibliography</b>	<b>35</b>

# Kapitel 1

## Einleitung

In diesem Kapitel wird eine Einleitung zum Risk Assessment Tool (RAT) sowie dessen Aufgabe gegeben. Weiter wird der Verwendungszweck des Tools erläutert.

### 1.1 Einleitung zu RAT

Das Risk Assessment Tool (RAT) ist ein Softwaretool, welches entwickelt wurde, um Explorationsstrategien für ein Geothermieprojekt zu evaluieren und vergleichen. Dabei werden Zustände eines Projekts mittels Probability of Success (Abschnitt 3.2), Expected Monetary Value (Abschnitt 3.3) und Value of Information (Abschnitt 3.4) basierend auf [AY15] bewertet.

Somit soll das verwendete Vorgehen ein quantitatives Verfahren bieten, ein Geothermievorhaben zu bewerten und Prospektionsmethoden, sowie deren Kombinationen, auf ihre Eignung und ihren Nutzen zu untersuchen. In der Praxis gibt es verschiedenste Methoden den Untergrund zu Untersuchen. Häufig ist es jedoch unklar, welche Methode für eine geplante Explorationsstrategie den besten Beitrag liefern kann oder welche Methode ihre Kosten, im Vergleich zum zu erwartenden Informationsgewinn, rechtfertigt bzw. nicht rechtfertigt. Deshalb fehlt es oft auch an validierten Aussagen über

- die Aussagekraft der einzelnen Methoden für die Prospektion mit einer quantitativen Bewertung der Unsicherheit der Methoden im geologischen Kontext,
- den Einfluss der Messparameter auf die Aussagekraft und Unsicherheit der einzelnen Messmethoden,
- ein optimales Vorgehen für die Messungen im Hinblick auf Kosten und Nutzen für die Investoren.

Hier schafft das RAT Abhilfe und ermöglicht es die in einem Projektantrag verwendeten Prospektionsmethoden systematisch zu analysieren und weitere Methoden hinzuzufügen und diese mit den bereits verwendeten Methoden zu vergleichen, um so eine optimale Strategie zu entwickeln.

Die Veränderung eines Zustands durch eine potenzielle Prospektionsmethode wird mittels

bedingter Wahrscheinlichkeit (Abschnitt 2.1) und der Entscheidungsanalyse (Abschnitt 2.2) bewertet und analysiert. Unter Verwendung von Wahrscheinlichkeitsbäumen und Entscheidungsbäumen kann daraufhin eine geeignete und sinnvolle Prospektionsstrategie bestimmt werden.

## 1.2 Verwendungszweck von RAT

RAT wurde entwickelt, um Investoren und Geldgebern von Geothermieprojekten, genauer dem Bundesamt für Energie, BFE, und seinem Expertenpool ein Tool zur Hand zu geben, mit dem die in einem Projektantrag vorgeschlagenen Explorationsmethoden auf ihre Eignung, das Risiko des Projekts auf geeignete und angemessene Weise zu reduzieren, untersucht werden können.

Weiter soll das Tool zu einer Standardisierung der Projektanträge in Bezug auf ihre Bewertung der Explorationsstrategie führen und Organisationen, die solche Anträge stellen, dazu animieren, ihre Explorationsstrategien objektiv zu bewerten und entwickeln.

# Kapitel 2

## Mathematische Theorie hinter RAT

Nachfolgend wird die dem Risk Assessment Tool (RAT) zu Grunde liegende mathematische Theorie aufbereitet und präsentiert.

Zu Beginn wird die bedingte Wahrscheinlichkeitsrechnung erläutert und danach darauf aufbauend, die Entscheidungsanalyse mit Wahrscheinlichkeits- und Entscheidungsbäumen.

### 2.1 Bedingte Wahrscheinlichkeit

Die bedingte Wahrscheinlichkeit ermöglicht eine Aussage darüber, mit welcher Wahrscheinlichkeit ein Ereignis  $A$  eintritt gegeben, dass das Ereignis  $B$  eintritt.

#### Definition 1: Bedingte Wahrscheinlichkeit

Sind die Ereignisse  $A$  und  $B$  zwei zufällige Ereignisse und ist die Wahrscheinlichkeit des Ereignisses  $B$  nicht Null,  $P(B) \neq 0$ , so wird die bedingte Wahrscheinlichkeit von  $A$  unter der Bedingung  $B$  definiert als

$$P(A|B) = \frac{P(A \cap B)}{P(B)}, \quad (2.1)$$

wobei  $P(A \cap B)$  die Wahrscheinlichkeit ist, dass  $A$  und  $B$  auftreten [Are+22, p. 1411].

Aus Gleichung 2.1 lässt sich durch Umformen und Vertauschen der Buchstaben der Zusammenhang

$$P(A|B)P(B) = P(A \cap B) = P(B|A)P(A) \quad (2.2)$$

ableiten [Are+22, p. 1411].

Eine Folgerung von Gleichung 2.2 ist durch Betrachtung der beiden äusseren Elemente der Satz von Bayes in seiner elementarsten Form.

**Definition 2: Die Bayes-Formel**

Sind  $A$  und  $B$  zwei zufällige Ereignisse und ist  $P(B) \neq 0$ , so ist

$$P(A|B) = \frac{P(B|A)}{P(B)} P(A) \quad (2.3)$$

[Are+22, p. 1411]

Sind die Ereignisse  $A$  und  $B$  Befunde eines Tests oder einer Methode und haben sie jeweils zum Beispiel eine vorteilhafte  $X^+$  und eine unvorteilhafte  $X^-$  Aussage so bezeichnet man die Wahrscheinlichkeit  $P(B^+|A^+)$  als die **Sensitivität** und die Wahrscheinlichkeit  $P(B^-|A^-)$  als die **Spezifität**.

Wörtlich ausgedrückt beschreibt die Sensitivität die Wahrscheinlichkeit, mit der ein Test eine vorteilhafte Aussage als solche erkennen kann und die Spezifität beschreibt die Wahrscheinlichkeit, mit der ein Test eine unvorteilhafte Aussage als solche erkennen kann. Dies lässt schlussfolgern, dass ein Test auch eine Falschaussage liefern kann!

## 2.2 Entscheidungsanalyse

Die Entscheidungsanalyse eignet sich, um Entscheidungen mit grosser Unsicherheit zu analysieren. Sie bietet ein Gerüst und Methoden, um eine rationale Entscheidung zu treffen bei Pfaden und Ereignissen mit grosser Unsicherheit. Dabei wird zwischen zwei Entscheidungsprozessen unterschieden, dem Entscheiden ohne zusätzliche Experimente und dem Entscheiden mit zusätzlichen Experimenten [HL04, p. 680, 682]. In der Folge wird nur auf den Fall mit zusätzlichen Experimenten eingegangen, da im Risk Assessment Tool die Verwendung von zusätzlichen Methoden, also 'Experimenten', analysiert wird.

Das Durchführen von zusätzlichen Experimenten kann die vorgängige Wahrscheinlichkeit erheblich verbessern. Hier kommen die in Abschnitt 2.1 erwähnten Begriffe Sensitivität und Spezifität ins Spiel. Nachfolgend wird der Sachverhalt mit einem aus [HL04, p. 688, 689] adaptierten Beispiels erläutert.

**Beispiel 1**

Auf einem potenziellen Gebiet mit Heisswasser haben wir die Wahrscheinlichkeit  $P(\text{Heiss}) = 0.25$  und dementsprechend  $P(\text{Trocken}) = 1 - P(\text{Heiss}) = 0.75$ . Die Wahrscheinlichkeit, Heisswasser zu finden ist zu niedrig. Deshalb wollen wir eine Untersuchungsmethode anwenden, deren Sensitivität und Spezifität als

$$\begin{aligned} P(X^+|\text{Heiss}) &= 0.6 \\ P(X^-|\text{Trocken}) &= 0.8 \end{aligned}$$

angegeben sind, wobei  $X^-$  für die unvorteilhafte Aussage 'es hat kein Heisswasser' und umgekehrt  $X^+$  für die vorteilhafte Aussage 'es hat Heisswasser' steht. Daraus lassen sich

$$\begin{aligned} P(X^-|\text{Heiss}) &= 1 - P(X^+|\text{Heiss}) = 0.4 \\ P(X^+|\text{Trocken}) &= 1 - P(X^-|\text{Trocken}) = 0.2 \end{aligned}$$

berechnen. Mit dem in Gleichung 2.3 eingeführten Satz von Bayes können nun die Wahrscheinlichkeiten des Vorhandenseins von Heisswasser, bzw. des Nicht-Vorhandenseins von Heisswasser, gegeben das unsere Methode die Aussage 'es hat Heisswasser' ( $X^+$ ) oder 'es hat kein Heisswasser' ( $X^-$ ) liefert hat, berechnet werden.

$$\begin{aligned} P(\text{Heiss}|X^-) &= \frac{P(X^-|\text{Heiss})P(\text{Heiss})}{P(X^-|\text{Heiss})P(\text{Heiss}) + P(X^-|\text{Trocken})P(\text{Trocken})} = \frac{1}{7} \\ P(\text{Trocken}|X^-) &= 1 - \frac{P(X^-|\text{Heiss})P(\text{Heiss})}{P(X^-|\text{Heiss})P(\text{Heiss}) + P(X^-|\text{Trocken})P(\text{Trocken})} = 1 - \frac{1}{7} = \frac{6}{7} \\ P(\text{Heiss}|X^+) &= \frac{P(X^+|\text{Heiss})P(\text{Heiss})}{P(X^+|\text{Heiss})P(\text{Heiss}) + P(X^+|\text{Trocken})P(\text{Trocken})} = \frac{1}{2} \\ P(\text{Trocken}|X^+) &= 1 - \frac{P(X^+|\text{Heiss})P(\text{Heiss})}{P(X^+|\text{Heiss})P(\text{Heiss}) + P(X^+|\text{Trocken})P(\text{Trocken})} = 1 - \frac{1}{2} = \frac{1}{2} \end{aligned}$$

Eine geeignete Methode solche Berechnungen darzustellen bietet ein Wahrscheinlichkeitsbaum, der im nachfolgenden Abschnitt erläutert und in Abbildung 2.1 gezeigt wird.

### 2.2.1 Wahrscheinlichkeitsbäume

Berechnungen, wie sie im vorherigen Beispiel gezeigt wurden, können mit einem Wahrscheinlichkeitsbaum geeignet dargestellt werden. Beispielhaft soll erneut die Berechnung aus Abschnitt 2.2 verwendet werden.

Der Baum beginnt mit dem Anfangszustand, woraus zwei Möglichkeiten ausgehen, 'Heiss' und 'Trocken'. Es soll nun eine Methode durchgeführt werden, welche die bereits aufgezeigte Sensitivität und Spezifität hat. Liefert uns die Methode eine Aussage  $X^+$ , 'es hat Heisswasser', oder  $X^-$ , 'es hat kein Heisswasser', so können wir gemäss dem Satz von Bayes die einzelnen Endpunkte der Pfade wie im vorherigen Abschnitt berechnen. Abbildung 2.1 zeigt

den dadurch entstehenden Wahrscheinlichkeitsbaum.

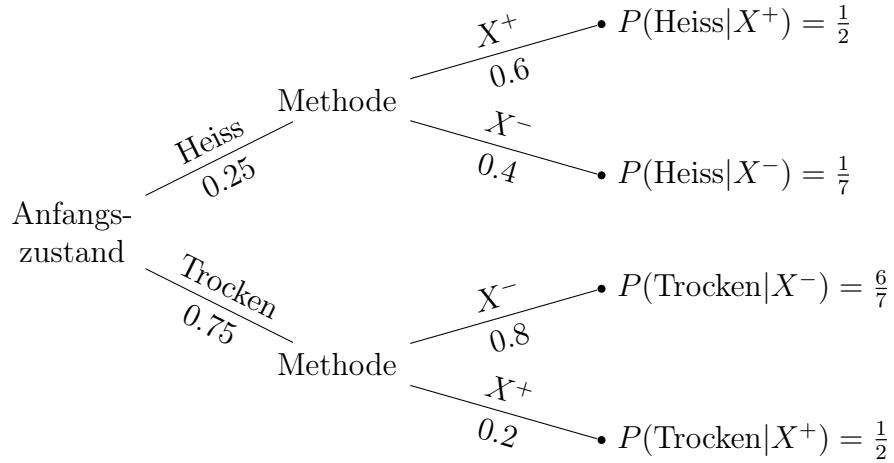


Abbildung 2.1: Wahrscheinlichkeitsbaum nach einem Beispiel aus [HL04, p. 689]

## 2.2.2 Entscheidungsbäume

Um nun das beste Vorgehen zu identifizieren, können Entscheidungsbäume herangezogen werden. Dabei wird der Baum vom Anfangszustand aus aufgebaut und danach in umgekehrter Reihenfolge analysiert, um den besten Pfad zu finden. Diese Methode bietet einen nützlichen Weg das zu betrachtende Problem visuell darzustellen und die benötigten Berechnungen, die in den beiden vorangegangenen Abschnitten präsentiert wurden, zu organisieren. Entscheidungsbäume sind besonders hilfreich, wenn mehrere Entscheidungen hintereinander getroffen werden müssen [HL04, p. 691].

Es soll erneut das Beispiel aus [HL04] herangezogen werden. Wie bereits aufgezeigt, handelt es sich bei diesem Beispiel um ein Heissfeld auf dem eine Methode für weiteren Informationsgewinn angewendet werden soll. Es stellen sich nun zwei Fragen:

- Soll diese Methode durchgeführt werden bevor weiter vorgegangen wird?
- Welche Aktion (Bohren oder Verkaufen) soll schlussendlich durchgeführt werden?

Abbildung 2.2 zeigt den für das Beispiel aufbaubaren Entscheidungsbäume. Die Buchstaben a, d, e und f stellen sogenannte Entscheidungsknoten dar, an denen eine Entscheidung getroffen werden soll. Die Buchstaben b, g, i und k sind Ereignisknoten, an denen der nächste Pfad von einem, mit einer Wahrscheinlichkeit behafteten, Ereignis abhängt. Die einzelnen Pfade die vom Knoten a ausgehen sind deshalb alle unterschiedlich [HL04, p. 694].

Nach dem Aufbau der einzelnen Pfade im Entscheidungsbäum müssen die einzelnen Knoten und Verbindungen mit den entsprechenden Zahlen versehen werden. Um Pfade in einem Entscheidungsbäum miteinander vergleichen zu können, werden Geldwerte benötigt. In diesem Beispiel sind dies Ausgaben für die Methode und Einnahmen durch den Heissfund oder das Verkaufen des Landes. Folgende Werte sind in Abbildung 2.2 dargestellt:

- Zahlen in Klammern stellen Wahrscheinlichkeiten für diese Verbindung dar und können dem in Abbildung 2.1 dargestellten Wahrscheinlichkeitsbaum entnommen werden oder

mittels der in Abschnitt 2.1 und 2.2 dargestellten Zusammenhänge berechnet werden.

- Zahlen unter dem Strich einer Verbindung stellen den beispielhaften Geldfluss dieser Verbindung dar.
- Zahlenwerte am Ende eines Pfades stellen den summierten Geldfluss des gesamten Pfades dar.
- Zahlen an Knoten stellen erwartete Geldwerte an entsprechenden Knoten dar.

Die erwarteten Geldwerte an den Knoten werden während der Analyse des Entscheidungsbaums berechnet. Dabei wird vom rechten Rand des Baumes ausgegangen und nach links vorangegangen.

Für jeden Knoten wird dabei der erwartete Geldwert berechnet. Für einen Ereignisknoten addiert man dazu die beiden vorangegangenen (nach rechts), mit ihren Wahrscheinlichkeiten multiplizierten, erwarteten Geldwerte. An einem Entscheidungsknoten setzt man den maximalen Wert der vorangegangenen (nach rechts) Knoten ein.

Führt man dieses Vorgehen fort bis zum Anfangsknoten a, so erhält man für diesen die beste Entscheidung, den nächsten Knoten mit dem höchsten erwarteten Geldwert. Im Beispiel wäre dies der Knoten b, also eine Methode durchführen.

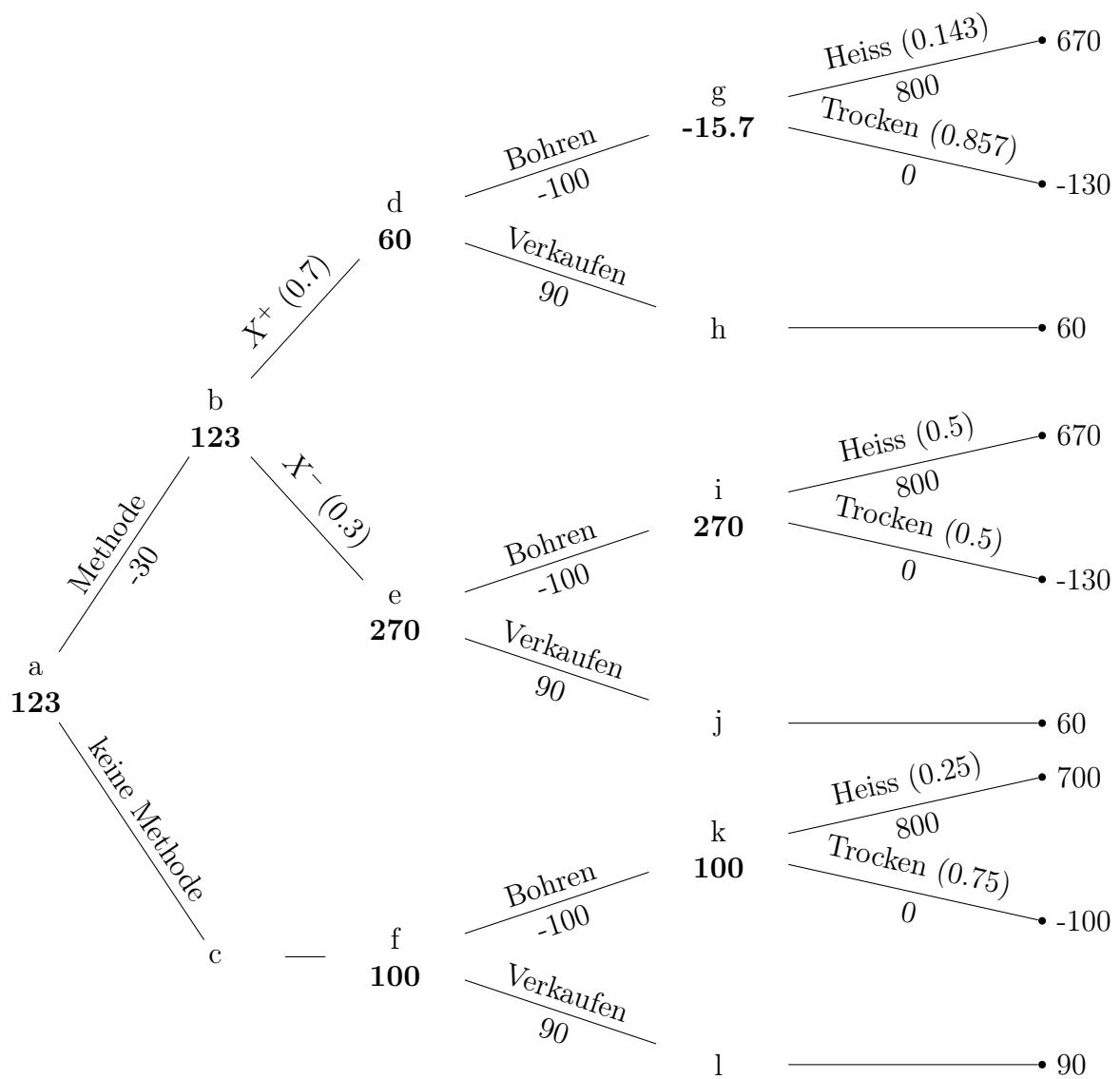


Abbildung 2.2: Entscheidungsbaum nach einem Beispiel aus [HL04, p. 689]

# Kapitel 3

## Risiko- und Methodenbeurteilung

In diesem Kapitel wird die Theorie der Risiko- und Methodenbeurteilung mittels 'Probability of Success', 'Expected Monetary Value' und 'Value of Information' betrachtet. Dabei wird die von Akar und Young in [AY15] präsentierte Methodik erläutert und mit Beispielen hinterlegt sowie weitere in RAT für die Analyse verwendete Parameter vorgestellt.

### 3.1 Ökonomische Parameter

Für die Risiko- und Methodenbeurteilung nach Akar und Young werden zwei ökonomische Parameter benötigt, der Nettobarwert (NPV) und die Abbruchkosten (ABK). In RAT wird ein weiterer ökonomischer Parameter in die Beurteilung eingeführt, die Durchführbarkeitschwelle (DS). Nachfolgend werden die einzelnen Parameter erläutert.

#### 3.1.1 Nettobarwert

Der Nettobarwert (Net Present Value NPV) ist der aktuelle Wert eines Projektes, also die Summe der diskontierten Geldflüsse aus der Zukunft, bezogen auf den jetzigen Zeitpunkt [AY15, p. 3].

$$NPV = \sum_{i=0}^n \frac{CF_i}{(1 + dr_i)^i} \quad (3.1)$$

wobei  $i$  der Zeitpunkt der Geldflussperiode,  $CF_i$  der Geldfluss in dieser Periode  $i$  und  $dr_i$  der Abzinsungssatz in der Periode  $i$  ist [AY15, p. 3].

#### 3.1.2 Abbruchkosten

Die Abbruchkosten sind alle Kosten, die bis zum Projektabbruch anfallen würden. Dies beinhaltet, unter anderem, alle Kosten, die aufgewendet werden müssten, um das Projekt zu planen.

### 3.1.3 Durchführbarkeitsschwelle

Die Durchführbarkeitsschwelle wurde eingeführt, um die Förderung eines auf den ersten Blick nicht rentablen Projekts in die Betrachtungen einzubeziehen. Sollte der Expected Monetary Value (EMV, Abschnitt 3.3) bei den Berechnungen negativ sein, so würde dies eine negative Auswirkung auf die Beurteilung des Projektes haben. Mit der Durchführbarkeitsschwelle wird es ermöglicht, einen Spielraum im negativen Bereich zu definieren, bis zu dem das Projekt noch als positiv einzustufen ist. In Zukunft möchten wir das Konzept der Machbarkeit um Nutzenfunktionen erweitern. So soll beispielsweise nicht nur der EMV für die Entscheidungen ausschlaggebend sein, sondern auch die Probability of Success (POS, Abschnitt 3.2) an sich.

## 3.2 Probability of Success

Um eine Aussage über den Zustand eines Projektes zu ermöglichen, muss die Probability of Success (POS) dieses Zustands berechnet werden. Dafür wird der POS, der für das Projekt relevanten technischen Parameter, zum Beispiel Temperatur, angegeben.

Die Multiplikation der einzelnen POS der relevanten technischen Parameter ergibt dann den POS des Zustands. Der POS eines technischen Parameters berechnet sich als der Mittelwert der Angaben der Experten.

#### Definition 3: Die Probability of Success (POS)

Der POS berechnet sich aus dem Produkt der einzelnen POS der technischen Parameter. Deren POS wiederum berechnet sich aus dem Mittelwert der Expertenmeinungen.

$$\text{POS}_{\text{Parameter } 1} = \text{mean}(\text{POS}_{\text{Parameter } 1, \text{Experte } 1}; \text{POS}_{\text{Parameter } 1, \text{Experte } 2}; \dots) \quad (3.2)$$

$$\text{POS}_{\text{Ist}} = \text{POS}_{\text{Parameter } 1} \cdot \text{POS}_{\text{Parameter } 2} \cdot \dots \quad (3.3)$$

Ein Beispiel für eine POS Bewertung eines technischen Parameters durch einen Experten wäre wie folgt: Experte 1 bewertet die Temperatur mit 60%, das heisst, er/sie schätzt die Möglichkeit einer genügend hohen Temperatur auf 60% ein. Dazu bewertet nun Experte 2 die Temperatur mit 70%. Der POS des Parameters wäre dann der Mittelwert, also 65%.

## 3.3 Expected Monetary Value

Für jeden Projektzustand lässt sich mit den zuvor berechneten Parametern nun die Expected Monetary Value (EMV) berechnen. Der EMV dient als hauptsächlicher Bewertungsparameter des Projekts und berechnet sich als

$$\text{EMV} = \text{POS} \cdot \text{NPV} - (1 - \text{POS}) \cdot \text{ABK} \quad (3.4)$$

aus der Net Present Value (NPV), den Abbruchkosten (ABK) und der Probability of Success (POS) [AY15, p. 3]. Generell gilt, sollte der EMV negativ sein, so ist das Projekt aus der Sicht der EMV Berechnung nicht rentabel, da die potentiellen Kosten den potentiellen Gewinn übersteigen. Mit der zuvor eingeführten Durchführbarkeitsschwelle hätte man hier jedoch

noch Spielraum. Anzumerken ist, dass die Bewertung eines Projektes durch den EMV eine rein ökonomische Betrachtung ist und andere Entscheidungsfaktoren wie Nachhaltigkeit oder Strategie vernachlässigt.

## 3.4 Methodenparameter

Um den EMV eines Projektzustand zu erhöhen können verschiedene Explorationsmethoden angewendet werden, wie zum Beispiel Gravimetrie, Seismik oder Slim Hole Bohrungen. Mit diesen Methoden kann jedoch nicht direkt der EMV verändert werden, jedoch der POS eines technischen Parameters. Dabei hat jede Methode drei für RAT relevante Parameter, die in der Folge näher erläutert werden.

### 3.4.1 Sensitivität und Spezifität

Für eine Methode werden durch Experten die Sensitivität und Spezifität angegeben. Dabei berechnen sich die Parameter aus dem Mittelwert der einzelnen Expertenmeinungen. Eine Methode wird dabei wie ein in Abschnitt 2.1 beschriebener Test behandelt, der eine bestimmte Wahrscheinlichkeit hat eine vorteilhafte Aussage als vorteilhaft zu erkennen und umgekehrt.

- **WS-P**

WS-P bezeichnet die Wahrscheinlichkeit, mit der eine Methode eine vorteilhafte Situation als vorteilhafte Situation erkennen kann. Dies bezeichnet man als die 'Sensitivität'.

Ein Beispiel: Könnte die Methode eine genügend hohe Temperatur mit einer 60% Wahrscheinlichkeit erkennen, so kann für die Methode beim Parameter 'Temperatur' bei WS-P 60% angegeben werden.

- **WS-N**

WS-N bezeichnet die Wahrscheinlichkeit, mit der eine Methode eine unvorteilhafte Situation als solche erkennen kann. Dies bezeichnet man als die 'Spezifität'.

Ein Beispiel: Könnte die Methode eine ungenügend hohe Temperatur mit einer 80% Wahrscheinlichkeit erkennen, so kann für die Methode beim Parameter 'Temperatur' bei WS-N 80% angegeben werden.

Die Bestimmung von Sensitivität und Spezifität kann auch auf der Modellierung von Prospektionsmethoden basieren. Auf die Sensitivitätsanalyse der Prospektionsmethoden wird im zweiten Teil dieses Projekts näher eingegangen. Es ist möglich, diese Analyse in Kombination mit Expertenmeinungen zu verwenden.

### 3.4.2 Cost of Information

Jede Methode muss mit einer Cost of Information (CoI) versehen werden. Dies sind die kompletten Methodenkosten, die bei der Durchführung dieser Explorationsmethode entstehen.

## 3.5 POS und EMV nach einer Methode

### • Neuer POS Technische Parameter

Es kann nun die Frage beantwortet werden, wie sich die POS bei einem Ergebnis, vorteilhaft oder unvorteilhaft, ändert, wenn eine Methode durchgeführt wird. Liefert eine Methode ein vorteilhaftes Ergebnis, dann gilt mit dem Satz von Bayes

$$POS_{\text{neu,vorteilhaft}} = P(\text{ist} = + | M = +) = \lambda \cdot POS \quad (3.5)$$

mit dem Faktor

$$\lambda = \frac{P(M = + | \text{ist} = +)}{P(M = + | \text{ist} = +)POS + (1 - P(M = - | \text{ist} = -))(1 - POS)}, \quad (3.6)$$

wobei 'M' für Methode, 'ist' für den alten Zustand und 'neu' für den neuen Zustand steht.

Gleiches kann für die Frage der neuen POS bei einem unvorteilhaften Ergebnis der Methode durchgeführt werden. Es gilt dann

$$POS_{\text{neu,unvorteilhaft}} = P(\text{ist} = - | M = -) = \lambda \cdot POS \quad (3.7)$$

mit dem Faktor

$$\lambda = \frac{P(M = - | \text{ist} = -)}{P(M = - | \text{ist} = -)POS + (1 - P(M = + | \text{ist} = +))(1 - POS)}. \quad (3.8)$$

Wobei  $P(M = + | \text{ist} = +)$  die 'Sensitivität' und  $P(M = - | \text{ist} = -)$  die 'Spezifität' der Methode sind.

### • Neuer POS Zustand

Die neue POS kann nun, wie in Abschnitt 3.2 gezeigt, berechnet werden. Durch die Möglichkeit, dass eine Methode eine unvorteilhafte oder vorteilhafte Aussage ergeben kann, müssen für jede Methode zwei neue POS berechnet werden.

### • Neuer EMV

Für die Berechnung des neuen EMV müssen nun die durch die Anwendung einer Methode entstehenden Kosten mit einbezogen werden. Die Abbruchkosten (ABK) erhöhen sich um die Cost of Information (CoI). Es müssen zwei neue EMV berechnet werden, einer für den Fall einer vorteilhaften Aussage und einer für den Fall einer unvorteilhaften Aussage. Der neue EMV berechnet sich aus

$$EMV_{\text{neu,x}} = POS_{\text{neu,x}} \cdot NPV - (1 - POS_{\text{neu,x}}) \cdot (ABK + COI) \quad (3.9)$$

wobei x jeweils vorteilhaft oder unvorteilhaft ist.

### • Effektiver EMV und EMV

Im Verlauf dieser Dokumentation des RAT Tools wird das Thema EMV erneut angeschnitten. Dabei wird sich auch die Unterscheidung zwischen 'EMV' und dem von uns so benannten 'effektiven EMV' als wichtig erweisen. Der EMV ist dabei der Parameter, welcher betrachtet wird, wenn zwei Pfade miteinander verglichen werden. Der daraus resultierende EMV, der in den Entscheidungsknoten eingeht (gemäss Abschnitt 2.2.2) wird dann als effektiver EMV bezeichnet.

## 3.6 Value of Information

Die Value of Information (VoI) wird als die Differenz des neuen und des alten EMV berechnet

$$\text{VOI} = \text{EMV}_{\text{neu}} - \text{EMV}_{\text{alt}} \quad (3.10)$$

und zeigt so die Veränderung des EMV durch eine Methode [AY15, p. 3-4].

# Kapitel 4

## Risk Assessment Tool

Dieses Kapitel soll als genereller und umfassender Überblick zur Bedienung des Risk Assessment Tool (RAT) dienen und als Manual verwendet werden können. Zu Beginn wird der Installationsprozess kurz erklärt (Abschnitt 4.1), danach werden in Abschnitt 4.2 und dessen Unterabschnitten der Startbildschirm und die wichtigsten Elemente des GUI aufgezeigt. Die Abschnitte 4.3 bis 4.10 erläutern anschliessend die einzelnen Widgets des RAT und zeigen auf, wie das Tool zu bedienen ist. Das gesamte Kapitel bezieht sich auf dasselbe Beispiel, welches in den nachfolgenden Abschnitten Schritt für Schritt aufgebaut wird, und zeigt zum Schluss auch die daraus entstehenden Ergebnisse.

### 4.1 Installation

Das Risk Assessment Tool kann mit dem Windows Installer Executable RAT installiert werden. Nach dem Starten des Installations-Widgets kann den Anweisungen auf dem Display gefolgt werden.

Nach der erfolgreichen Installation kann das Tool durch das erstellte Icon im Startmenü oder auf dem Desktop gestartet werden.

### 4.2 Startbildschirm

Nach dem Aufstarten des Risk Assessment Tools erhält man den in Abbildung 4.1 dargestellten Zustand des Tools. Dieser Zustand ist der Default Zustand und wird nach dem Starten von RAT angezeigt oder kann durch die Kombination Datei/Neu ebenfalls hergestellt werden.

Links oben sieht man das Dateimenü, direkt darunter den Schnellzugriff (Abschnitt 4.2.2). Auf der Linken Seite wird in einer Tree View der Aufbau des Tools gezeigt (Abschnitt 4.2.1), darin kann mit einem Linksklick zwischen den einzelnen Widgets gewechselt werden. Zentral wird das jeweilige Widget angezeigt. Rechts kann man die, mit dem Hilfe-Icon ein- und ausklappbare, Hilfeleiste sehen.

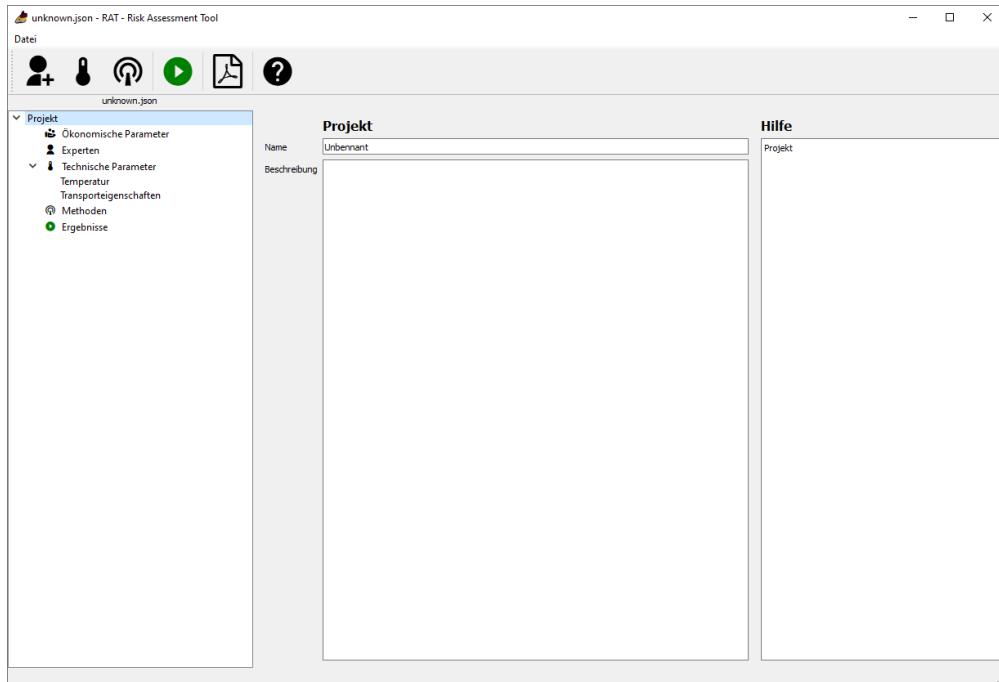


Abbildung 4.1: Startbildschirm

### 4.2.1 Tree View

Am linken Rand des Risk Assessment Tools wird der Aufbau des Tools mit einer Tree View dargestellt. Abbildung 4.2 zeigt die Tree View für ein bereits erstelltes und evaluiertes Projekt.



Abbildung 4.2: Tree View

Bestimmte Elemente der Ansicht haben ein Rechtsklick-Kontextmenü, mit welchem bei einzelnen Punkten neue Unterpunkte hinzugefügt oder auch Elemente gelöscht werden können. Mit einem Linksklick kann jeweils das dem Punkt entsprechende Widget geöffnet werden. Die Abschnitte 4.3 bis 4.8 zeigen die einzelnen Punkte der Tree View und deren Widgets im Detail.

## 4.2.2 Schnellzugriff

Das Risk Assessment Tool verfügt am oberen, linken Rand über eine Schnellzugriffsleiste. Darin sind sechs Funktionen durch entsprechende Icons schnell und einfach aufzurufen. Abbildung 4.3 zeigt die Leiste mit den sechs Icons.



Abbildung 4.3: Schnellzugriff

Darin enthalten sind von links nach rechts:

- **Hinzufügen Experte:** Der Schnellzugriff für das Hinzufügen eines Experten erweitert die Liste der Experten um eine weitere Person. Abschnitt 4.5 geht weiter auf das Experten-Widget und dessen Interface ein.
- **Hinzufügen technischer Parameter:** Mit dem Parameter-Icon kann ein weiterer, für das spezifische Projekt relevanter, technischer Parameter hinzugefügt werden. Standardmäßig sind jedoch die beiden, für ein Geothermieprojekt ausschlaggebenden Parameter, bereits hinzugefügt. Abschnitt 4.6 zeigt das Parameter-Interface im Detail.
- **Hinzufügen Methode:** Mittels dem Methoden-Icon können neue Methoden zu dem Projekt hinzugefügt werden, sodass sie in den Evaluationsprozess miteinbezogen werden. In Abschnitt 4.7 wird das Methoden-Widget im Detail erläutert.
- **Evaluieren:** Mit dem Betätigen des Evaluieren-Icons wird aus den angegebenen Projektparametern und anderen Angaben die Ausgabe berechnet. Es werden die im Abschnitt 4.8 dargestellten Widgets produziert.
- **Exportieren:** Durch Exportieren wird von den aktuellen Ergebnissen ein PDF erstellt. Nach Angabe eines Dokumentnamens und Bestätigung der erneuten Berechnung wird das PDF erstellt, am angegebenen Ort gespeichert und in einem temporären PDF-Viewer in RAT geöffnet.
- **Hilfe:** Mittels dem Hilfe-Icon lässt sich am rechten Rand ein Hilfebereich ein- und ausklappen, in welchem zusätzliche Informationen zum aktuell geöffneten Fenster dargestellt werden.

## 4.3 Projekt

Die Eingabe eines neuen Projektes startet auf der obersten Ebene der Tree View. Hier wird im Reiter 'Projekt' der Projektname angegeben. Des Weiteren können in einer Beschreibung allgemeine Informationen zum Projekt festgehalten werden. Abbildung 4.4 zeigt den Reiter für die Eingabe des Beispiel-Projektes. In der Abbildung ist weiter ersichtlich, dass der zurzeit ausgewählte Reiter in der Tree View grau hinterlegt wird, dies soll die Orientierung, besonders bei umfangreichen Projekten, erleichtern.

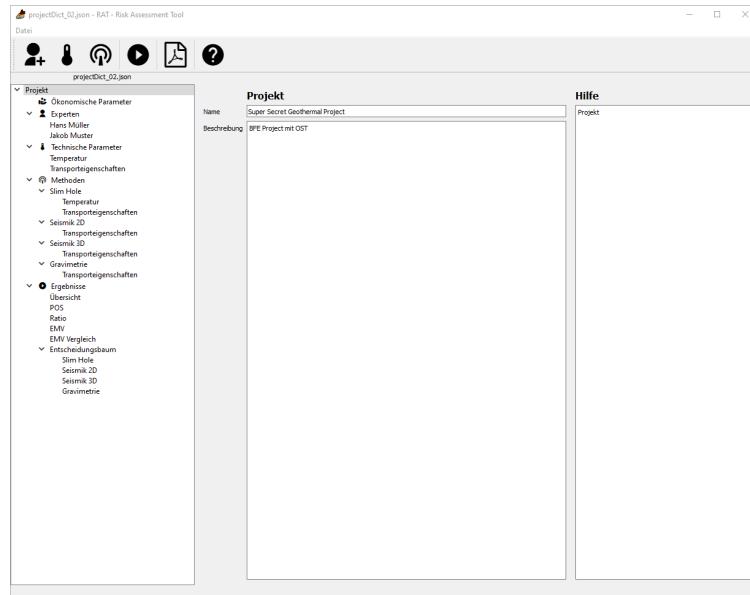


Abbildung 4.4: Widget für die allgemeine Eingabe des Projekts

## 4.4 Ökonomische Parameter

Nachfolgend auf die Eingabe des Projektes werden im Reiter 'Ökonomische Parameter' einige der in Kapitel 3 erläuterten Kennzahlen eingetragen. In Abbildung 4.5 sind die Eingabemöglichkeiten ersichtlich.

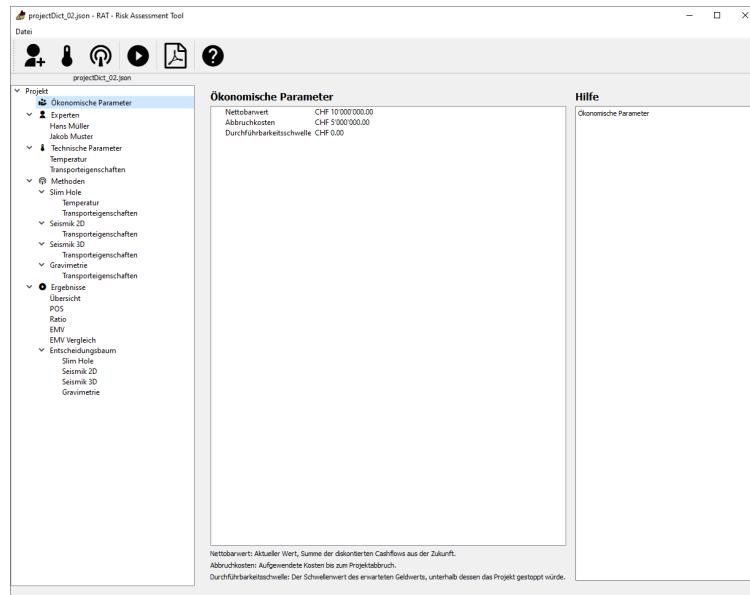


Abbildung 4.5: Widget für die Eingabe der ökonomischen Parameter

Es werden die Parameter 'Nettoarbeitswert' (NPV), 'Abbruchkosten' (ABK) und die Durchführbarkeitsschwelle in CHF angegeben. Abschnitt 3.1 erläutert diese drei Parameter im Detail.

## 4.5 Experten

Es muss nun dem Projekt mindestens ein Experte hinzugefügt werden, dies mittels dem Icon im Schnellzugriff oder einem Rechtsklick auf dem Reiter Experten. Es wird das in Abbildung 4.6 dargestellte Widget hinzugefügt.

Abbildung 4.6: Widget eines neuen Experten

Im oberen Bereich des Widgets können nun Angaben, wie Name und E-Mail-Adresse, zum entsprechenden Experten oder der entsprechenden Expertin eingegeben werden. Der untere Bereich des Widgets dient zur gesammelten Betrachtung aller Eingaben die dieser Experte/ diese Expertin in den nachfolgenden Widgets zu den technischen Parametern und Methoden getätigkt hat. Abbildung 4.7 zeigt beispielhaft einen ausgefüllten oberen Bereich für einen Muster-Experten.

Abbildung 4.7: Ausgefülltes Widget eines Experten

## 4.6 Technische Parameter

In einem nächsten Schritt werden die für das Projekt relevanten technischen Parameter hinzugefügt. Standardmäßig sind die für ein Geothermieprojekt verwendeten technischen Parameter 'Temperatur' und 'Transporteigenschaften' bereits beim Default Zustand hinzugefügt. Sollte der User jedoch trotzdem einen weiteren Parameter hinzufügen wollen, so kann dies mittels dem Icon im Schnellzugriff oder Rechtsklick auf den Reiter 'Technische Parameter' getan werden.

In Abbildung 4.8 ist ein ausgefülltes Widget für den technischen Parameter 'Temperatur' ersichtlich. Die Eingabe erfolgt durch die jeweiligen, im zentralen Feld ersichtlichen Experten, die im vorangegangenen Experten-Widget eingegeben wurden.

Technischer Parameter	
Name	Temperatur
Ist POS Mittelwert	72 %
Ist POS	Hans Müller 70 % Jakob Muster 75 %

Die POS (Probability of Success) schätzt die Eignung des Gebietes für den technischen Parameter ein.  
Ein Beispiel:  
Experte 1 bewertet die Temperatur mit 60 %, das heisst, er schätzt die Möglichkeit einer genügend hohen Temperatur auf 60 % ein.

Die gesamte POS des Ist-Zustandes berechnet sich nun aus dem Produkt der einzelnen POS der technischen Parameter. Deren POS wiederum werden aus dem Mittelwert der Expertenmeinungen berechnet.

Abbildung 4.8: Widget eines technischen Parameters

Wie in Abbildung 4.8 ersichtlich, können im Hauptfenster des Parameter-Widgets die Experten ihre Einschätzung der Ist-POS des jeweiligen technischen Parameters eingeben, also die POS bevor eine einzige der zu betrachtenden Explorationsmethoden angewendet wurde. Dabei kann eine Zahl zwischen 0 und 100 eingegeben werden. Wie in Abschnitt 3.2 erläutert, wird dann für jeden Parameter die Ist-POS als der Mittelwert aller Expertenmeinungen gebildet. Dieser Wert ist direkt über dem Eingabebereich ersichtlich.

## 4.7 Methoden

Das Ziel von RAT ist es, wie in der Einleitung festgehalten, Prospektionsmethoden auf ihre Eignung für eine Explorationskampagne hin zu untersuchen. Um diese Methoden in einem RAT-Projekt zu untersuchen, müssen sie nun hinzugefügt werden. Dies kann mit dem Icon im Schnellzugriff oder erneut mittels Rechtsklick auf den Reiter 'Methoden' geschehen. Es wird ein leeres Methoden-Widget hinzugefügt, in welchem man nun den Namen der Methode eingeben kann, sowie die Cost of Information (CoI), bzw. die kompletten Methodenkosten, also die gesamten Kosten, welche bei der Anwendung dieser einen Methode entstehen würden.

Im zentralen Bereich des Widgets sind die für das Projekt angegebenen technischen Parameter ersichtlich. Da nicht jede Methode jeden der technischen Parameter betrifft, können hier durch das Setzen von Kreuzen den Methoden ihre entsprechenden Parameter zugeordnet werden. Weiter kann, falls gewünscht, noch eine Beschreibung der Methode hinzugefügt werden. In Abbildung 4.9 ist ein ausgefülltes Methoden-Widget für die Explorationsmethode Slim Hole ersichtlich.

Methoden	
Name	Slim Hole
Beschreibung	
Technische Parameter	<input checked="" type="checkbox"/> Temperatur <input checked="" type="checkbox"/> Transporteigenschaften
Komplette Methodenkosten	Cost of Information CHF 2'000'000.00

Abbildung 4.9: Widget einer Explorationsmethode

Auf dem Reiter 'Methoden' kann nun noch die Abhängigkeit der einzelnen Methoden zueinander festgelegt werden. Genauer heisst dies, dass zum Beispiel die Ergebnisse einer 2D Seismik und einer 3D Seismik sich gegenseitig beeinflussen würden, weshalb man nur eine der beiden Methoden durchführen würde, aber nie beide in der gleichen Messkampagne. Deshalb wären die beiden Methoden auf 'Abhängig' zusetzten. Eine Slim Hole Bohrung und eine Gravimetrie würden sich aber wenig bis gar nicht beeinflussen, könne deshalb auf 'Unabhängig'

gesetzt werden. Wenn wir die Möglichkeit einbeziehen wollen, zwei (oder mehr) Methoden zu kombinieren, die 'Abhängig' sind, führen wir sie als neue Methode auf, z.B. 'Seismik 2D und Seismik 3D'. Abbildung 4.10 zeigt die Abhängigkeitstafel für das verwendete Beispiel. Änderungen können durch klicken auf die rechte Spalte vorgenommen werden.

Methoden		
Abhängigkeiten		
	Slim Hole * Seismik 2D	Unabhängig
	Slim Hole * Seismik 3D	Unabhängig
	Slim Hole * Gravimetrie	Unabhängig
	Seismik 2D * Seismik 3D	Abhängig
	Seismik 2D * Gravimetrie	Unabhängig
	Seismik 3D * Gravimetrie	Unabhängig

Abbildung 4.10: Angabe der Abhängigkeit oder Unabhängigkeit von Methoden

#### 4.7.1 Methode bewerten

Das Setzen der Kreuze für die durch die Methode beurteilbaren technischen Parameter hat in der Tree View bei der Methode jeweils ein neues Widget für jeden der ausgewählten Parameter hinzugefügt.

In diesem neuen Widget kann nun die Methode auf ihre Sensitivität und Spezifität für den jeweiligen technischen Parameter bewertet werden. Abbildung 4.11 zeigt ein leeres Widget für den Parameter Temperatur unter der Methode Slim Hole. Für eine Erläuterung der Begriffe Sensitivität und Spezifität wird hier auf Abschnitt 2.1 verwiesen.

**Slim Hole - Temperatur**

Wahrscheinlichkeit Methode Positiv	Hans Müller - Jakob Muster -
<p>Wahrscheinlichkeit Methode Positiv (WS-P) bezeichnet die Wahrscheinlichkeit, mit der eine Methode eine positive Eigenschaft als positive Eigenschaft erkennen kann. Dies bezeichnet man als die 'Sensitivität'. Ein Beispiel: Könnte die Methode eine genügend hohe Temperatur mit einer 60 % Wahrscheinlichkeit erkennen, so kann für die Methode beim Parameter 'Temperatur' bei WS-P 60 % angegeben werden.</p>	
Wahrscheinlichkeit Methode Negativ	Hans Müller - Jakob Muster -
<p>Wahrscheinlichkeit Methode Negativ (WS-N) bezeichnet die Wahrscheinlichkeit, mit der eine Methode eine negative Eigenschaft als negative Eigenschaft erkennen kann. Dies bezeichnet man als die 'Spezifität'. Ein Beispiel: Könnte die Methode eine ungenügend hohe Temperatur mit einer 80 % Wahrscheinlichkeit erkennen, so kann für die Methode beim Parameter 'Temperatur' bei WS-N 80 % angegeben werden.</p>	

Abbildung 4.11: Angeben der Sensitivität und Spezifität einer Methode für einen technischen Parameter

Die Eingabe der Experten erfolgt erneut in Zahlen zwischen 0 und 100. Sollte ein Experte keine Meinung zu diesem Parameter bei dieser Methode haben, so kann er auch keine Angabe tätigen, es sollte dann ein Strich bei seiner Eingabe stehen. Die Eingabe des Striches kann durch herunterscrollen auf der Eingabe wieder hergestellt werden.

## 4.8 Ergebnisse

Sind alle benötigten Angaben getätigt worden, kann mit dem grünen Icon in der Schnellzugriffsleiste die Evaluation des Projektes durchgeführt werden. Vor der Evaluation sollten jedoch folgende Eingaben kontrolliert werden:

- Der Net Present Value und die Abbruchkosten sind angegeben. Die Durchführbarkeitschwelle ist entweder auf null gesetzt oder auf einen anderen Wert.
- Alle angegebenen Prospektionsmethoden sind mit einer Cost of Information versehen.
- Mindestens ein Experte wurde dem Projekt hinzugefügt und hat Aussagen zu der Ist-POS getätigt.
- Bei jeder der Methoden wurde mindestens durch einen Experten eine Aussage zur Sensitivität und Spezifität getätigt.

Das Betätigen des Evaluations-Icons führt zur Generierung von verschiedenen Ergebnis-Widgets, die nachfolgend im Detail erläutert werden.

Wird nach dem Evaluieren eine Eingabe geändert, so werden die in der Tree View angezeigten Widgets rot hinterlegt, um den Benutzer darauf aufmerksam zu machen, dass die Widgets nicht aktuell sind und reevaluiert werden sollten.

### 4.8.1 Übersicht

Das oberste der Ergebnis-Widgets bietet eine Übersicht über einige der berechneten Parameter. Für die Theorie hinter den Berechnungen verweisen wir an dieser Stelle auf Kapitel 2 und 3. In Abbildung 4.12 ist das Übersichts-Widget für das bereits in den vorangegangenen Abschnitten verwendete Beispiel zu sehen.

Ist-Zustand			
Tech. Parameter	POS		
Temperatur	72 %		
Transporteigenschaften	66 %		
Gesamt POS	44 %	EPV	CHF 2177500.00

Entscheidungsumfang			
Tech. Parameter	POS		
Temperatur	72 %		
Transporteigenschaften	66 %		
Wahrscheinlichkeit	Gesamt POS	EPV Befrem	Entscheidung
100 %	45 %	CHF 2177500.00	Review

Vergleich Methoden			
Methode	Expected Cost of Info.	Value of Info.	Vergleich Val/VCat
Sim. Hölz	CHF 2300700.00	CHF 347275.37-	-17.16 %
Seam. 2D	CHF 280200.00	CHF 224025.00	11.21 %
Seam. 3D	CHF 380100.00	CHF 361050.00	56.21 %
Granulat	CHF 105000.00	CHF 205000.00	-50.00 %
SH+3D	CHF 2300700.00	CHF 431329.75-	-27.39 %
SH+3D	CHF 2300700.00	CHF 632068.34-	-38.08 %
SH+G	CHF 2300700.00	CHF 440275.37-	-21.11 %
SD+H	CHF 3050100.00	CHF 336518.75	11.17 %
SD+H	CHF 6050100.00	CHF 391017.50	21.04 %
SH+SD+H	CHF 2300700.00	CHF 950726.40-	-2.99 %
SH+SD+H	CHF 280200.00	CHF 752000.00-	-20.93 %

EPV neu absteigend	
Methode	EPV neu
SD+H	CHF 2149108.75
Seam. 3D	CHF 2482550.00
Seam. 2D	CHF 2402125.00

Abbildung 4.12: Ergebnisse Übersichts-Widget

Das Widget ist in vier Blöcke gegliedert, welche auch mit Überschriften markiert sind. Als Erstes wird die Evaluation des Ist-Zustandes aufgezeigt. Die aus den Expertenmeinungen

berechneten POS der technischen Parameter zum Ist-Zustand werden noch einmal dargestellt und der daraus berechnete EMV wird ebenfalls angegeben.

Darunter wird für den Ist-Zustand ein in Tabellenform dargestellter Entscheidungsbaum aufgezeigt. Er enthält erneut den EMV des Zustands und die daraus resultierende Einschätzung des Zustands. Der Begriff 'Bohren' steht hier allgemein für die Empfehlung der Fortsetzung des Projekts aufgrund des berechneten EMV.

Der dritte Abschnitt zeigt einen zusammenfassenden Vergleich der Methoden, einzeln oder auch kombiniert. Dabei werden die kumulierten Kosten der Methoden, die VoI der einzelnen Methoden und Kombinationen sowie die Ratio als Verhältnis der Value of Information (VoI) zur CoI dargestellt (Abschnitt 4.8.3).

Der letzte Abschnitt listet die Methoden und deren Kombinationen in absteigender Reihenfolge des EMV auf, was die Bestimmung des besten EMV erleichtert.

## 4.8.2 POS

Das POS-Widget zeigt in einem Plot den Vergleich der gesamten POS nach einer Methode oder auch der Kombination mehrerer Methoden. In Abbildung 4.13 ist der Plot für das verwendete Beispiel ersichtlich. Die rote Linie repräsentiert dabei den alten POS des Ist-Zustands vor allen Methoden.

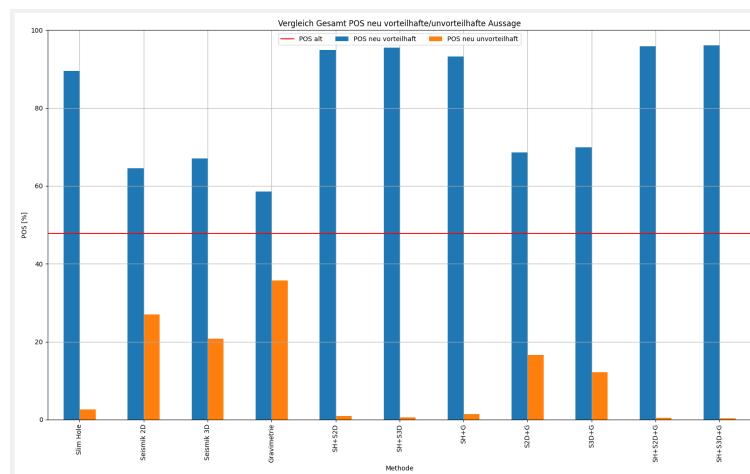


Abbildung 4.13: Widget mit Plot der POS der einzelnen Methoden und deren Kombinationen

Nachfolgend werden zwei Beispiele aus dem Plot genauer betrachtet, die auch in den daraufliegenden Abschnitten als Beispiele dienen sollen.

### Beispiel 2: Slim Hole

Die ersten beiden Balken in Abbildung 4.13 sind für die Explorationsmethode Slim Hole, wenn sie als einzelne Methode, also nicht in Kombination mit anderen Methoden, durchgeführt wird. Blau steht für die POS, wenn die Methode eine vorteilhafte Aussage über das Gebiet getroffen hat, Orange für eine unvorteilhafte Aussage.

Mit anderen Worten, würde man die Methode Slim Hole anwenden und diese würde eine unvorteilhafte Aussage über das Gebiet liefern, so kann man den neuen POS auf ca. 5% berechnen, was dafür spricht, dass die Methode sehr genau erkennen kann, ob ein Gebiet ungeeignet ist.

### Beispiel 3: Slim Hole mit 2D Seismik

Das fünfte Balkenpaar von links steht für die Kombination der Explorationsmethoden Slim Hole und 2D Seismik, also wenn man die beiden Methoden hintereinander ausführt. Gut zu erkennen ist, wie die 2D Seismik die POS für den Fall einer unvorteilhaften Aussage noch weiter nach unten bringt und für den Fall einer vorteilhaften Aussage noch weiter nach oben.

Dies würde heissen, dass die Kombination der beiden Methoden in beiden Fällen eine sehr genaue Aussage treffen kann. Anzumerken ist, dass diese POS jeweils die Extrema der Aussagen darstellen, also zweimal eine unvorteilhafte Aussage hintereinander oder zweimal eine vorteilhafte Aussage nacheinander. Für alle Fälle dazwischen kann das entsprechende Widget im Reiter 'Entscheidungsbaum' (Abschnitt 4.8.5) konsultiert werden.

### 4.8.3 Ratio

Das Ratio-Widget zeigt für die einzelnen Methoden, bzw. deren Kombinationen, den Ratio, welcher als

$$\text{Ratio} = \frac{\text{VoI}}{\text{CoI}}, \quad (4.1)$$

aus der Value of Information und der Cost of Information berechnet wird. Mit der Ratio kann der Informationsgewinn in Verhältnis zu den Kosten der Information dargestellt werden. Daraus lassen sich allgemein folgende Erkenntnisse ableiten:

- Ratio > 100%,    VoI ist grösser als die CoI
- Ratio < 100%,    VoI ist kleiner als die CoI
- Ratio < 0%,       VoI ist negativ

In Abbildung 4.14 ist für das verwendete Beispiel der Ratio-Plot dargestellt.

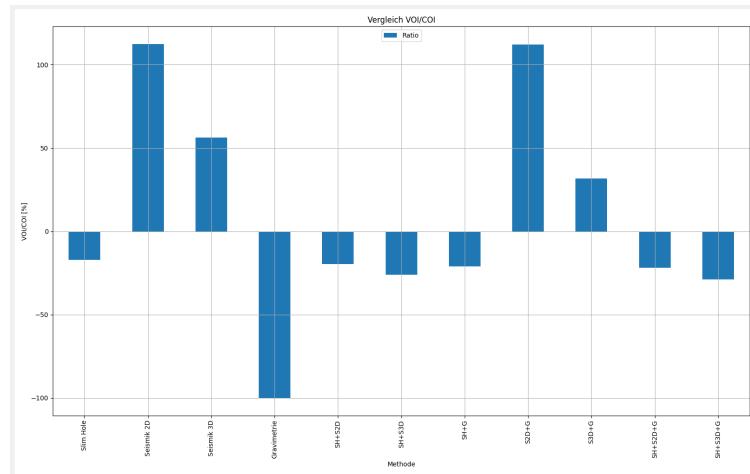


Abbildung 4.14: Widget mit Plot der Ratio der einzelnen Methoden und deren Kombinationen

#### 4.8.4 EMV und EMV Vergleich

Die beiden Widgets, welche auf den Ratio-Plot folgen, stellen beide den EMV dar. Jedoch zwei unterschiedliche EMVs. Das erste Widgets zeigt den **effektiven EMV**, das zweite Widget den **EMV, wenn eine Methode angewendet wird und eine Aussage über das Gebiet trifft**. Was dies genau bedeutet, soll anhand des bereits zuvor verwendeten Beispiel aufgezeigt werden.

Die Abbildungen 4.15 und 4.16 zeigen einen Entscheidungsbaum für die Methode Slim Hole in zwei Stadien der Evaluation. In Abbildung 4.15 ist dargestellt, wie von einem Ist-Zustand ausgegangen wird, der mit einer EMV nach Abschnitt 3.3 charakterisiert wird. Von diesem Punkt ausgehend wird der Baum, wie in Abschnitt 2.2.2 gezeigt aufgebaut. An jedem Ende der Äste erhält man einen neuen (oder auch alten) EMV. Dies ist das erste Stadium des Entscheidungsbaums.

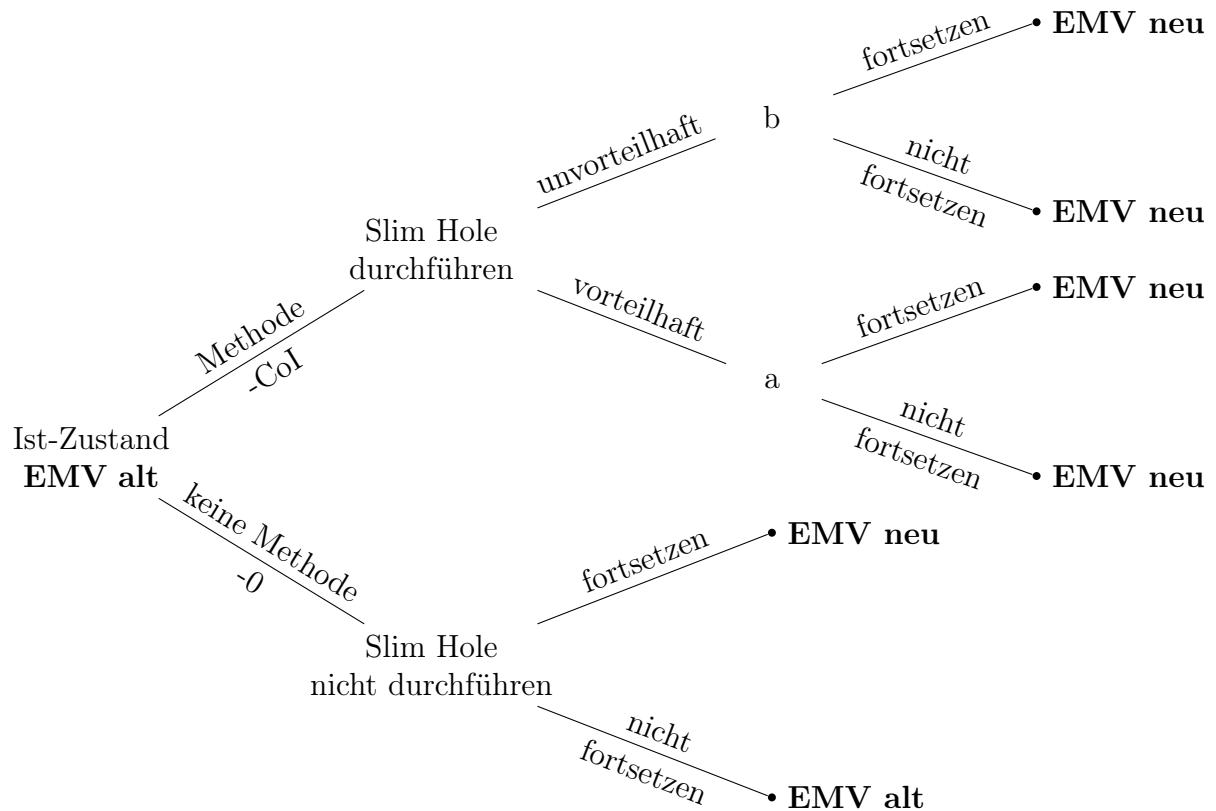


Abbildung 4.15: Entscheidungsbaum für die Methode Slim Hole

Nun wird der Entscheidungsbaum von rechts aus evaluiert, wobei nach links gehend die Äste gegeneinander verglichen werden, woraus am Entscheidungsknoten der **EMV effektiv** entsteht. Dieses Vorgehen wird auch in Abschnitt 2.2.2 und Abbildung 2.2 gezeigt. Es wird immer der größere der beiden vorangehenden EMV übernommen, da ein größerer (positiverer) EMV eine positive Assoziation hat. Dies wird bis zum Startknoten auf der linken Seite wiederholt. Die nachfolgende Abbildung 4.16 zeigt den vorherigen Entscheidungsbaum mit den ausgefüllten EMV effektiv.

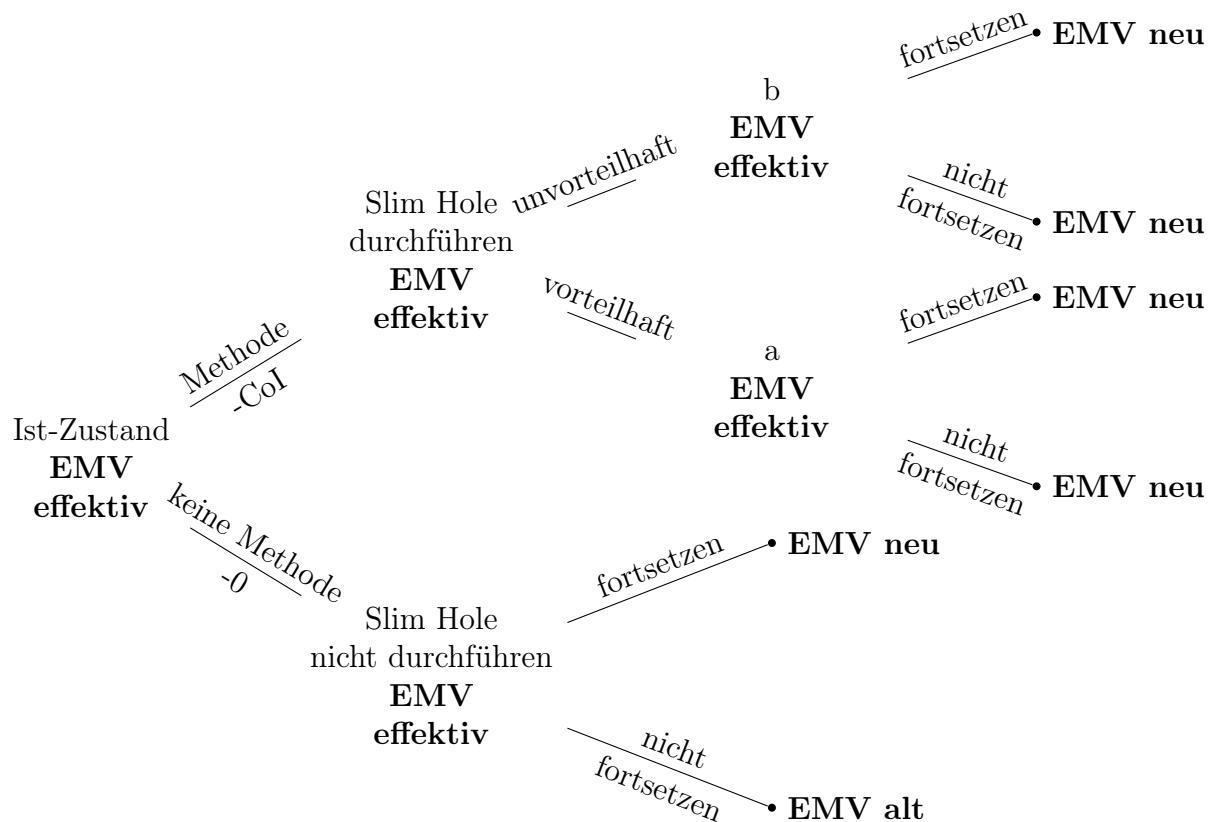


Abbildung 4.16: Entscheidungsbaum für die Methode Slim Hole mit effektiven EMVs

Mit diesen Erkenntnissen können nun die beiden Plot-Widgets für die EMV analysiert werden. Das erste Widget zeigt, wie erwähnt, den Vergleich der effektiven EMV einer Methode, bzw. deren Kombinationen. Auf den Entscheidungsbaum bezogen ist dies der EMV, den man am linken Rand, nachdem man den ganzen Baum von rechts nach links abgearbeitet hat, erhält. Er ermöglicht es, die ganz zu Beginn gegebenen Methodenpfade/Kombinationspfade miteinander zu vergleichen. Wie in Abbildung 4.17 ersichtlich, werden die effektiven EMV auch in Relation zum alten EMV (rote Linie) gezeigt.

#### Beispiel 4: EMV effektiv Slim Hole

Als Beispiel soll erneut die Methode Slim Hole dienen. Der in Abbildung 4.17 dargestellte EMV effektiv der Explorationsmethode Slim Hole beträgt, nachdem man den in Abbildung 4.16 gezeigten Entscheidungsbaum von rechts nach links analysiert hat, ca. 1.75Mio CHF, was unter dem alten EMV liegt.

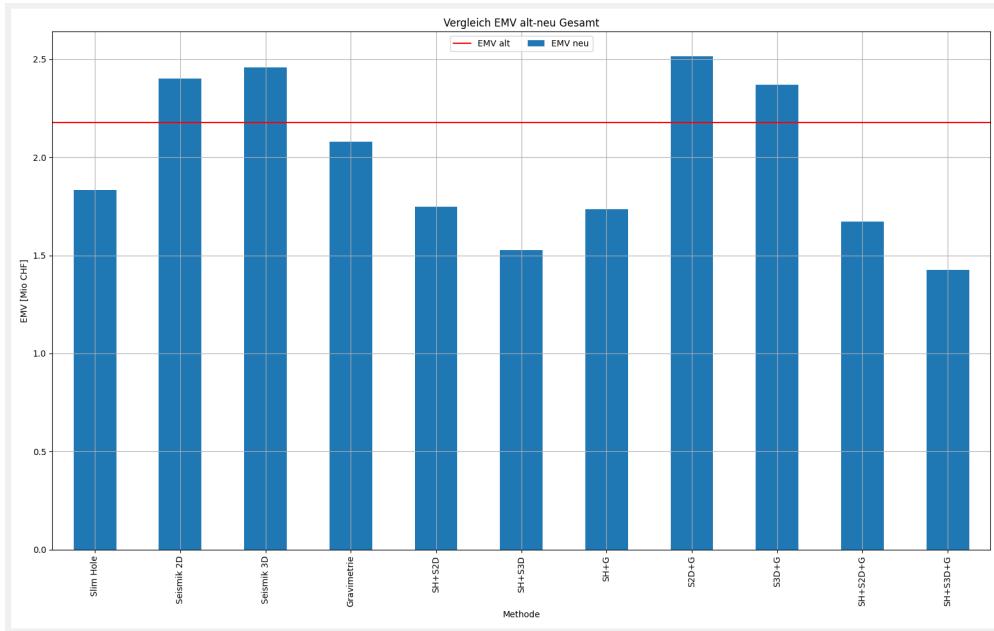


Abbildung 4.17: Widget mit Plot der effektiven EMV der einzelnen Methoden und deren Kombinationen

Der zweite EMV Plot zeigt nun den Vergleich des EMV für eine vorteilhafte und eine unvorteilhafte Aussage, wie sie in Abbildung 4.16 auf der zweiten Ebene, bei dem Entscheidungsknoten 'Slim Hole durchführen' vorkommt.

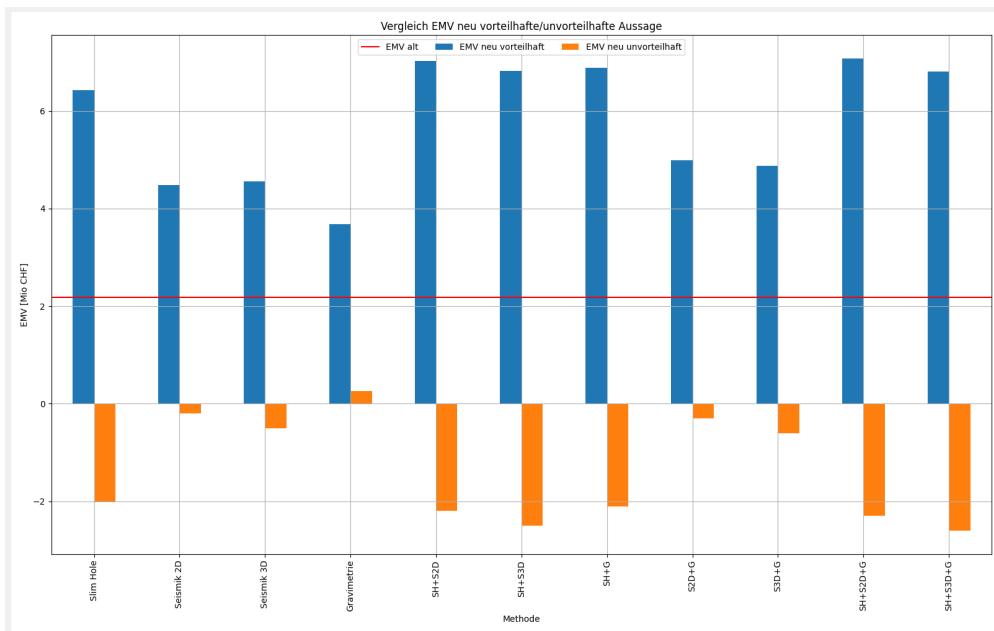


Abbildung 4.18: Widget mit Plot der EMV der einzelnen Methoden und deren Kombinationen für vorteilhafte und unvorteilhafte Aussagen

### Beispiel 5: EMV vorteilhaft/unvorteilhaft Slim Hole

Erneut soll das erste Balkenpaar des Plots als Beispiel dienen. Wie in Abbildung 4.18 ersichtlich werden die beiden EMV für eine vorteilhafte und unvorteilhafte Aussage der Methode miteinander verglichen, sowie in Relation zum alten EMV (rote Linie) dargestellt. Der Plot kann nun wie folgt interpretiert werden:

- blauer Balken: die Methode liefert eine vorteilhafte Aussage über das Gebiet bzw. den Parameter, der EMV steigt weit über den alten EMV
- oranger Balken: die Methode liefert eine unvorteilhafte Aussage über das Gebiet bzw. den Parameter, der EMV sinkt und wird negativ

#### 4.8.5 Entscheidungsbaum

Der letzte Reiter unter den Ergebnissen stellt nun die bereits im vorangegangenen Abschnitt angesprochenen Entscheidungsbäume in einer möglichst kurzen und übersichtlichen Art dar. Für jede Methode und jede Kombination von Methoden wird ein eigenes Sub-Widget erstellt, in welchem der jeweilige Entscheidungsbaum in Text-Form dargestellt wird. Die Gesamtheit der Entscheidungsbäume wird in Tabellenform im Reiter 'Entscheidungsbaum' dargestellt.

Es wird weiter unterschieden zwischen unbedingten Kombinationen (nicht markiert) und bedingten Kombinationen (markiert), also Kombinationen, bei denen die Reihenfolge, in der die Methoden ausgeführt werden, eine Rolle spielt. Dabei werden alle Permutationen der Kombination untersucht und danach Möglichkeiten, welche keinen Sinn ergeben, entfernt. Es bleiben einige bedingte Kombination übrig, die in Einzelfällen auch das gleiche Ergebnis wie die unbedingten Kombinationen liefern können.

Für die Namen der Kombinationen werden aus den Namen der Methoden Abkürzungen gebildet, die in der Regel die ursprüngliche Bezeichnung gut wiedergeben. Abbildung 4.19 zeigt für das bereits zuvor verwendete Beispiel mit den vier Methoden 'Slim Hole', 'Seismik 2D', 'Seismik 3D' und 'Gravimetrie' wie die Widgets der Entscheidungsbäume dargestellt werden.



Abbildung 4.19: Entscheidungsbäume in der Tree View

Klickt man nun mit einem Linksklick auf den obersten Reiter 'Entscheidungsbaum' so wird ein Widget mit Entscheidungsbäumen für alle möglichen Konfigurationen von Methoden in Tabellenform dargestellt. Abbildung 4.20 zeigt einen Ausschnitt für das verwendete Beispiel, nachfolgend soll beispielhaft der erste Schritt interpretiert werden.

### Beispiel 6: Entscheidungsbaum Tabellenform Slim Hole

Abbildung 4.20

- Die Überschrift des Abschnittes in der Tabelle gibt die betrachtete Methode wieder. In diesem Fall 'Slim Hole'.
- Als erstes werden die Ist-POS der technischen Parameter wiedergegeben, mit der daraus berechneten gesamt POS und dem daraus folgenden EMV. Hier wurden die Parameter mit 72% und 66% bewertet, was im Mittelwert einen gesamt POS von 48% ergibt. Der EMV berechnet sich draus zu CHF 1'834'244.
- Darunter beginnen nun die Entscheidungsbäume. Da die Methode Slim Hole in diesem Beispiel Aussagen über beide technischen Parameter geben kann, werden immer beide Parameter betrachtet. In der Tabelle wird nun also die Methode Slim Hole aus die Parameter Temperatur und Transporteigenschaften angewendet. Der Befund ist zweimal 'Geeignet'.
- Als Nächstes werden die aus diesen Aussagen berechneten neuen POS der Parameter dargestellt. In diesem Spiel führt die doppelte Aussage 'Geeignet' dazu, dass die beiden Parameter-POS auf 97% und 93% steigen. Dies lässt sich aus den Sensitivitäten und Spezifitäten gemäss Abschnitt 3.5 berechnen. Die Wahrscheinlichkeit dieser Aussage beträgt 45% und die gesamt POS kann erneut als der Mittelwert der Parameter-POS berechnet werden.
- Mit der neuen gesamt POS kann nun ein neuer EMV berechnet werden, der EMV Fortsetzung. Ist dieser grösser als die Durchführbarkeitsschwelle, so wird die Empfehlung ausgegeben, das Projekt fortzusetzen.
- Dieses Vorgehen wird nun für alle Möglichkeiten der Kombination von Aussagen wiederholt und danach für jede einzelne Methode und deren Kombinationen erneut wieder.

<b>Slim Hole</b>			
<b>Tech. Parameter</b>	<b>POS</b>		
Temperatur	72 %		
Transporteigenschaften	66 %		
<b>Gesamt POS</b>	<b>48 %</b>	<b>EMV</b>	<b>CHF 1'834'224.63</b>

<b>Übersicht</b>			
<b>Methode</b>	<b>Tech. Parameter</b>	<b>Befund</b>	
Slim Hole	Temperatur	Geeignet	
Slim Hole	Transporteigenschaften	Geeignet	
<b>Tech. Parameter</b>	<b>POS</b>		
Temperatur	97 %		
Transporteigenschaften	93 %		
<b>Wahrscheinlichkeit</b>	<b>Gesamt POS</b>	<b>EMV Fortsetzung</b>	<b>Entscheidung</b>
45 %	90 %	CHF 8'435'205.18	Fortsetzen

Abbildung 4.20: Ausschnitt für die Methode Slim Hole aus der Übersicht der Entscheidungsbäume im Entscheidungsbaum-Widget

Das im Beispiel erläuterte Vorgehen kann durch das Wechseln zum entsprechenden Widget der Methode unter dem Reiter 'Entscheidungsbaum' auch in Text-Form dargestellt werden. In Abbildung 4.21 ist das dem vorangehenden Beispiel entsprechende Widget gezeigt. Es werden die gleichen Inhalte, jedoch in Text-Form gezeigt. Zum Abschluss des Textes wird noch der effektive EMV dieser Methode bzw. bei anderen Widgets der Kombination angegeben.

<b>Slim Hole</b>			
Die Wahrscheinlichkeit, dass der Parameter Temperatur vorteilhaft ist, war vor der Methode "Slim Hole" 72 %.			
Die Wahrscheinlichkeit, dass der Parameter Transporteigenschaften vorteilhaft ist, war vor der Methode "Slim Hole" 66 %.			
<b>Slim Hole</b> ☈ ☈ P			
Im Falle einer vorteilhaften Aussage für den Parameter Temperatur und einer vorteilhaften Aussage für den Parameter Transporteigenschaften nach der Methode Slim Hole ist Temperatur POS 97 % und Transporteigenschaften POS 93 %.			
Die bedingte Wahrscheinlichkeit, dass dies eintritt, ist 45 %. Die Empfehlung wäre das Projekt fortsetzen, denn der EMV wäre bei Fortsetzung kleiner als die Durchführbarkeitschwelle nämlich CHF 8'435'205.18.			
<b>Slim Hole</b> ☈ ☈ P			
Im Falle einer vorteilhaften Aussage für den Parameter Temperatur und einer unvorteilhaften Aussage für den Parameter Transporteigenschaften nach der Methode Slim Hole ist Temperatur POS 97 % und Transporteigenschaften POS 17 %.			
Die bedingte Wahrscheinlichkeit, dass dies eintritt, ist 25 %. Die Empfehlung wäre das Projekt stoppen, denn der EMV wäre bei Fortsetzung kleiner als die Durchführbarkeitschwelle nämlich CHF 2'551'733.94.			
<b>Slim Hole</b> ☈ ☈ P			
Im Falle einer unvorteilhaften Aussage für den Parameter Temperatur und einer vorteilhaften Aussage für den Parameter Transporteigenschaften nach der Methode Slim Hole ist Temperatur POS 16 % und Transporteigenschaften POS 93 %.			
Die bedingte Wahrscheinlichkeit, dass dies eintritt, ist 19 %. Die Empfehlung wäre das Projekt stoppen, denn der EMV wäre bei Fortsetzung kleiner als die Durchführbarkeitschwelle nämlich CHF 2'807'644.34.			
<b>Slim Hole</b> ☈ ☈ P			
Im Falle einer unvorteilhaften Aussage für den Parameter Temperatur und einer unvorteilhaften Aussage für den Parameter Transporteigenschaften nach der Methode Slim Hole ist Temperatur POS 16 % und Transporteigenschaften POS 17 %.			
Die bedingte Wahrscheinlichkeit, dass dies eintritt, ist 11 %. Die Empfehlung wäre das Projekt stoppen, denn der EMV wäre bei Fortsetzung kleiner als die Durchführbarkeitschwelle nämlich CHF 4'600'492.15-.			
<b>Gesamt</b>			
Die Abbruchkosten steigen durch die Methode von CHF 5'000'000.00 auf CHF 7'000'000.00.			
Die EMV verkleinert sich damit um CHF 343'275.37 von CHF 2'177'500.00 auf CHF 1'834'224.63.			

Abbildung 4.21: Ausschnitt des Entscheidungsbaums für die Methode Slim Hole

Die selben Inhalte werden generiert für Kombinationen, bedingt oder unbedingt, von mehreren Methoden. Abbildung 4.22 zeigt einen solchen Text für die unbedingte Kombination der Methoden Slim Hole und Seismik 2D.

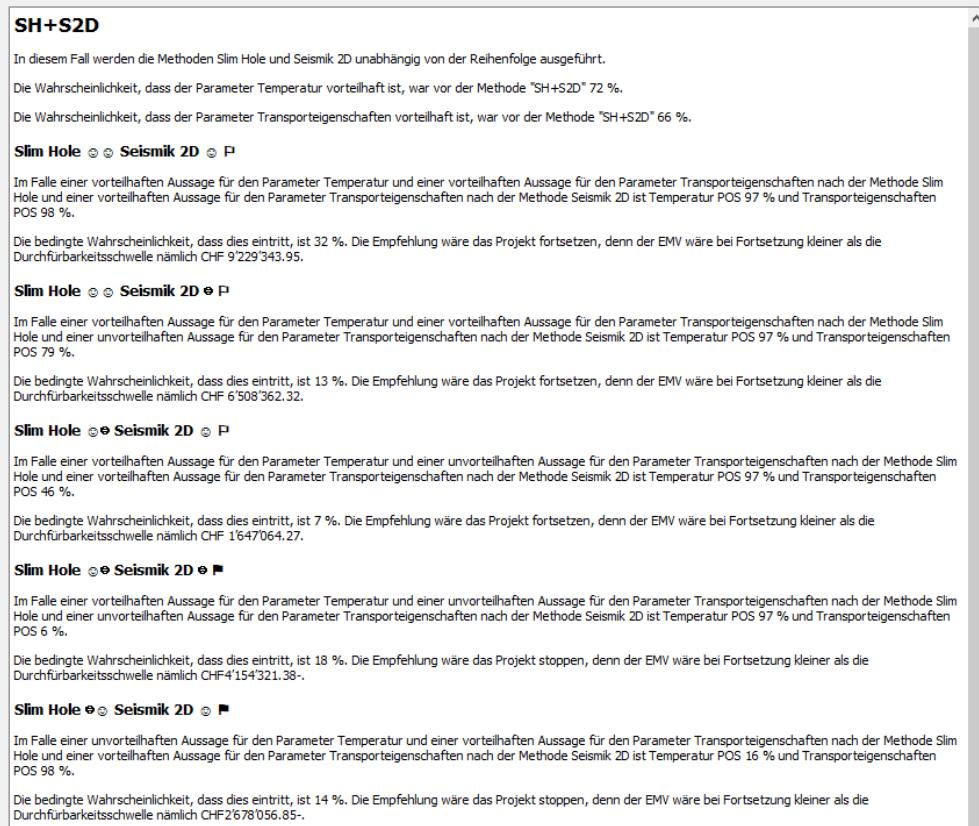


Abbildung 4.22: Ausschnitt des Entscheidungsbaums für die Methode Slim Hole in Kombination mit einer 2D Seismik

## 4.9 Exportieren

Wurde das Projekt evaluiert, so kann mit dem Exportieren-Icon des Schnellzugriffs ein zusammenfassendes PDF der Evaluation erstellt und gespeichert werden. Das PDF wird zusätzlich in einem temporären PDF-Viewer innerhalb von RAT angezeigt. Der Viewer wird aber beim Wechsel des Widgets automatisch geschlossen.

## 4.10 Speichern und Laden

Die Angaben, welche man in RAT tätigt, können auch als Datei gespeichert werden, um zu einem späteren Zeitpunkt erneut geladen zu werden. Speichern und Laden können via Datei oben links erreicht werden.

# Bibliography

- [HL04] Frederick S Hillier und Gerald J Liebermann. “Decision Analysis”. In: *Introduction to operations research*. McGraw-Hill Higher Education, 2004. Kap. 15, S. 680–731.
- [AY15] Sertec Akar und Kathrine R. Young. “Assessment of New Approaches in Geothermal Exploration Decision Making”. In: Fourtieth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering. 2015.
- [Are+22] Tilo Arens u. a. *Mathematik*. 5. Aufl. Springer Spektrum, 2022.