



TU Clausthal

Energie- und Wasserspeicher im Mittelgebirge - Ein Projekt zur Kopplung nachhaltiger Systemdienstleistungen von Energiespeicherung, Hochwasserschutz und Ressourcensicherung

IEWT 2023 – Session: Sektorkopplung
17.02.2023



Ein Projekt zur Kopplung nachhaltiger Systemdienstleistungen von Energiespeicherung, Hochwasserschutz und Ressourcensicherung

(1) Projekthintergrund

(2) Standorte und Alternativen

(3) Methodik

(4) Ergebnisse



Stand: 07.09.2018 16:15 Uhr - Leserkont.: 04.3.100.

Harzwasserwerke planen für Doppeltrockenjahr



In diesem Jahr hat es in Niedersachsen zu wenig geregnet, und die Harzwasserwerke gehen auch für die kommenden Monate von zu wenig Niederschlag aus. Daher rüstet sich Niedersachsen größter Wasserversorger für eine lang anhaltende Trockenheit. Im schlechtesten Fall gehen die Harzwasserwerke von einem sogenannten Doppeltrockenjahr aus, also einem weiteren Jahr mit deutlich unterdurchschnittlichen Niederschlagsmengen. "Wir bereiten uns jetzt für den Ernstfall vor", sagte Christoph Donner, Technischer Geschäftsführer der Harzwasserwerke, am Freitag in Hildesheim. Um die Trinkwasserversorgung von rund zwei Millionen Menschen in Niedersachsen weiterhin zu gewährleisten, sei bereits Anfang der Woche die Abgabe aus der Sösetalsperre in Richtung Norden gedrosselt worden, so Donner. Stattdessen werde ersatzweise Trinkwasser aus der besser gefüllten Graneltalsperre entnommen.



Dürre: Harzwasserwerke sorgen vor
Hallo Niedersachsen - 07.09.2018 19:30 Uhr
Reaktion auf die Trockenheit: Die Harzwasserwerke bereiten sich auf den Ernstfall vor. Kurzfristig wurde die Abgabe von Trinkwasser aus der Sösetalsperre Richtung Norden gedrosselt.
★★★★★
4,79 bei 6 Bewertungen

Informationen zur Sendung

Sorgenkind Sösetalsperre

Kein Ende der Trockenheit

Harzwasserwerke rüsten sich für ausbleibenden Regen

Von Gabriele Schulte

Hannover. Die Talsperren sind so gut wie leer, und die Dürre ist nicht vorbei – das jedenfalls befürchten die Harzwasserwerke. Niedersachsens größter Wasserversorger verweist auf die Vier-Wochen-Prognose des Deutschen Wetterdienstes und kündigt am Mittwoch an, sich entsprechend zu rüsten. „Wir stellen uns auf ein sogenanntes Doppeltrockenjahr ein“, sagte Sprecherin Marie Kleine.

Gemeint ist, dass sich die Trockenheit nach dem im Oktober endenden Wasserwirtschaftsjahr fortsetzt. Ein wenig Regen, wie für diese Woche noch angekündigt, werde daran nichts ändern: „In Flüssen und Talsperren kommt davon nichts an.“



Kaum noch Wasser: Wanderer an der Odertale

2018 könnte das Jahr mit den geringsten Niederschlägen seit der Aufzeichnung werden, meint die Sprecherin der Wasserwerke. Gleichzeitig sei der Wasserbedarf in der Hitze enorm gestiegen. Im Juli und August seien jeweils fast zehn Millionen Kubikmeter Wasser aus den Talsperren abgerufen worden, je

Historischer Tiefstand

Doppel-Trockenjahr Die Harzwasserwerke gehen von einem trockenem Winter und einem trockenem Jahr 2019 aus. Die ZfK sprach mit dem Technischen Geschäftsführer Christoph Donner über die Optionen für eine sichere Wasserversorgung

Die Harzwasserwerke versorgen rund zwei Millionen Menschen in Niedersachsen. Jetzt geht ihr Unternehmen von einem Doppel-Trockenjahr aus. Warum? Aktuell haben wir bereits eine Form der Extremwittersituation, nämlich die Trockenwittersituation. Über Klimawandel müssen wir nicht diskutieren, er ist da. Die Talsperren zeigen die Auswirkungen von Trockenwetterperioden und Nutzungsbedarf sonstigen in «lichtzeit» an, im Grundwasser erfolgt das stärker zeitversetzt. Aufgrund der historischen Niederschlagsaufzeichnung an der Wetterstation in Clausthal können wir aufzeigen, dass wir für die Niederschlagsmenge Februar bis August in der Zeitreihe der Vergleichswerte ab 1857 einem historischen Tiefstand erreicht haben. Er liegt bei 730 mm. Wichtig ist, dass wir nicht eine Panik erzeugen wollen, sondern wir bereiten uns rechtzeitig auf ein mögliches Doppel-Trockenjahr vor, um die Versorgungssicherheit für alle Systemnutzer weiterhin zu gewährleisten.

Wenn Sie zurück in die Vergangenheit blicken. Wann waren ähnliche Trockenphasen? In dem historischen Rückblick gab es schon Jahre, die die Wasserwirtschaft in Deutschland ähnlich geprägt haben, sei es der Sommer 2003, 1970 oder das Jahr 1959.

Welche Möglichkeiten haben die Harzwasserwerke?



Es wird weniger: Die Sösetalsperre ist nur noch zu 34 Prozent gefüllt. Die Harzwasserwerke reduzieren deshalb den Abfluss aus dieser Talsperre.

verschiedenen Systemleistungen wie zum Beispiel Niedrigwassererhöhung anpassen und so unsere Ressourcenverfügbarkeit zeitlich verlängern. Besonderes Augenmerk gilt bei uns im Moment der Sösetalsperre, die mit 92,4 Prozent Füllhöhe – Stand Anfang Oktober – deutlich geringer gefüllt ist als die beiden anderen Trinkwasser-talsperren Grane- und Fickertalsperre. Im Rahmen der Sofortmaßnahmen wird künftig weniger Wasser aus der Sösetalsperre entnommen.

Was machen Sie jetzt noch? Wir arbeiten mit dem Umweltministerium und verschiedenen Partnern an bedarfsorientierten Lösungen. Kurzfristig können wir durch betriebliche Anpassungen innerhalb des Verbundsystems zwischen Talsperren und den Grundwasserwerken weitere Mengenschwankungen vornehmen. Gemeinsam mit der Talsperrenaufsicht haben wir einen gestuften Maßnahmenplan «Reduzierung

der Unterwasserabgaben» abgestimmt. Bis jetzt war das immer ausreichend zur Absicherung der Versorgungssicherheit. Wenn wir in den Bereich Krisenmanagement gehen, würde in einer weiteren Stufe ein «Lastabwurf-Szenario im Bereich der Trinkwasserversorgung erfolgen, aber auch der Ansatz einer Einsparung durch Dritte ist denkbar und daran arbeiten wir aktuell. Auch die Aufforderung an Endkunden zur Reduktion der Trinkwasserentnahme durch einzelne Versorgungsunternehmen oder bis hin zum Umweltministerium sind mögliche Handlungsoptionen. Und an Hand dieser Situation sehen wir, dass ein Thema wie Smart Meter für die Wasserwirtschaft auch eine direkte Relevanz zur Beobachtung und aktiven Steuerung des Nutzungsverhaltens hat und im Rahmen der zukunftsbestimmten Wasserwirtschaft ein Bestandteil sein könnte.

Welche Möglichkeiten haben Wasserversorger, die ihrem Unternehmen nachgeschaltet sind, bei Wasserknappheit?

Das hängt von unterschiedlichen Rahmenbedingungen der Unternehmen ab. Neben dem Grad der Fremd- und Eigenversorgung natürlich auch von der Kundenstruktur oder, ob es sich um einen städtischen oder ländlichen Gebiet handelt, um nur einige Aspekte zu nennen. Aber hier haben wir über unser weitläufiges Leitungssystem eine Verbindungs-Redundanz geschaffen, die eine erhöhte Versorgungssicherheit gegenüber einer Einzelversorgung gibt.

Generell: Was sind die wichtigsten Maßnahmen für die Wasserversorger in der Zukunft? Für uns steht das Ressourcenmanagement, also sowohl die Quantität als auch die Qualität, sehr stark im Fokus. Und wir müssen unsere Infrastruktur auf die Zukunftsanforderungen ausrichten. Das wird erhöhte finanzielle Mittel benötigen, die gegebenenfalls nicht einfach vom Kunden getragen werden können, sondern auch vom Land oder vom Bund. Wir sind nicht wasserarm, aber wir müssen umdenken in unseren bisherigen Ansätzen.

Muss mehr Grundwasser angesapft werden? Wichtig aus unserer Sicht ist ein ausgeglichenes Ressourcenmanagement. Oberflächenwasserentzug und Grundwasserentzug sind gleichwertig, aber immer regional zu bewerten. Zu dem Potenzial der Grundwasserquellen können wir keine Angaben machen. Wir sehen, welche Herausforderungen wir in Niedersachsen im Bereich Nitrat haben. Vielen ist nicht klar, dass eine Aufbereitung mit Membrantechnik, als sogenannte End-of-pipe-Lösung, zu einem Mehrbedarf an Wasser zwischen 15 bis 20 Prozent führt. Dies impliziert natürlich höhere Anforderungen an Wassereinstrom und Wasserschutzgebiete. Wir benötigen dazu dann deutlich mehr Fläche.

Wie kann die Zufuhr von Wasserrechten beschleunigt werden? Generell sehen wir in der Branche, dass die Zuteilung von Wasserrechten schneller erfolgen muss. Verfahren dauern teilweise bis zu zehn Jahren und werden immer kostenintensiver. Die Behörden müssen entsprechend in die Lage versetzt werden, sowohl fachlich als auch personell, die Wasserrechtverfahren den Anforderungen entsprechend zeitnah abzuwickeln.

Die Fragen stellte Armin Leifner

Die Harzwasserwerke betreiben sechs Talsperren, drei Labornasswasserwerke und vier Grundwasserwerke. Mit einem Leitungssystem von 520 Kilometern speisen sie 70 Wasserversorger und Industrieunternehmen.

Niedrigster Stand der Okertalsperre seit 1981, Sommer 2018

Hochwasser in Goslar, Juni 2017

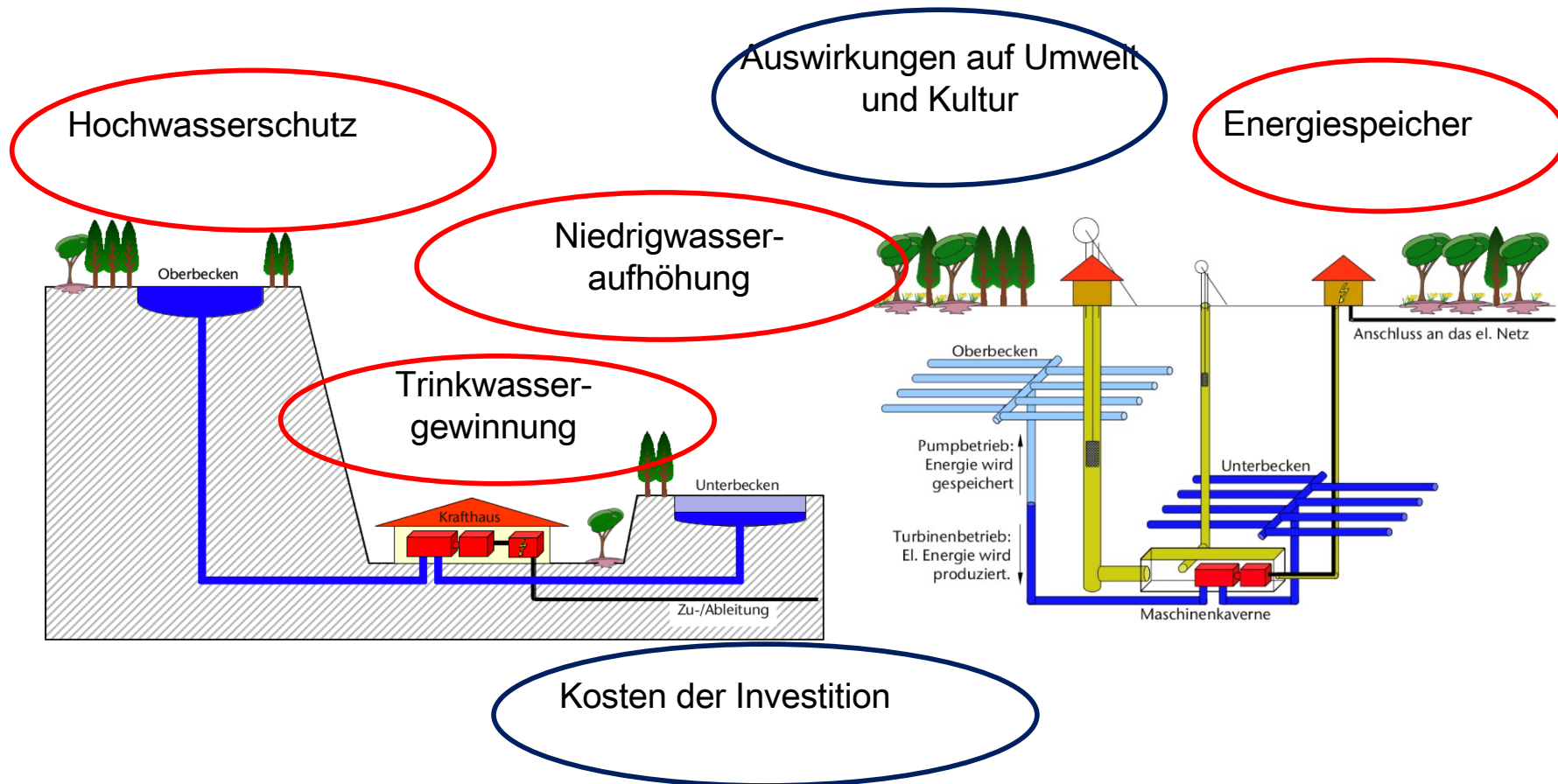


Projekthintergrund



- Entwicklung innovativer Ansätze zur Kopplung der Systemdienstleistungen (mit Blick auf Klimawandelanpassung):
 - Hochwasserschutz/Niedrigwasseraufhöhung
 - Schutz der Ressource Trinkwasser
 - Großtechnische Energiespeicherung
- Grundidee der Kopplung (visualisiert auf den folgenden Folien)
- Output des Projektes:
 - Entwicklung von fünf Projektalternativen (an alternativen Standorten), die dieses Profil bedienen können: Diese stehen hier zur Bewertung

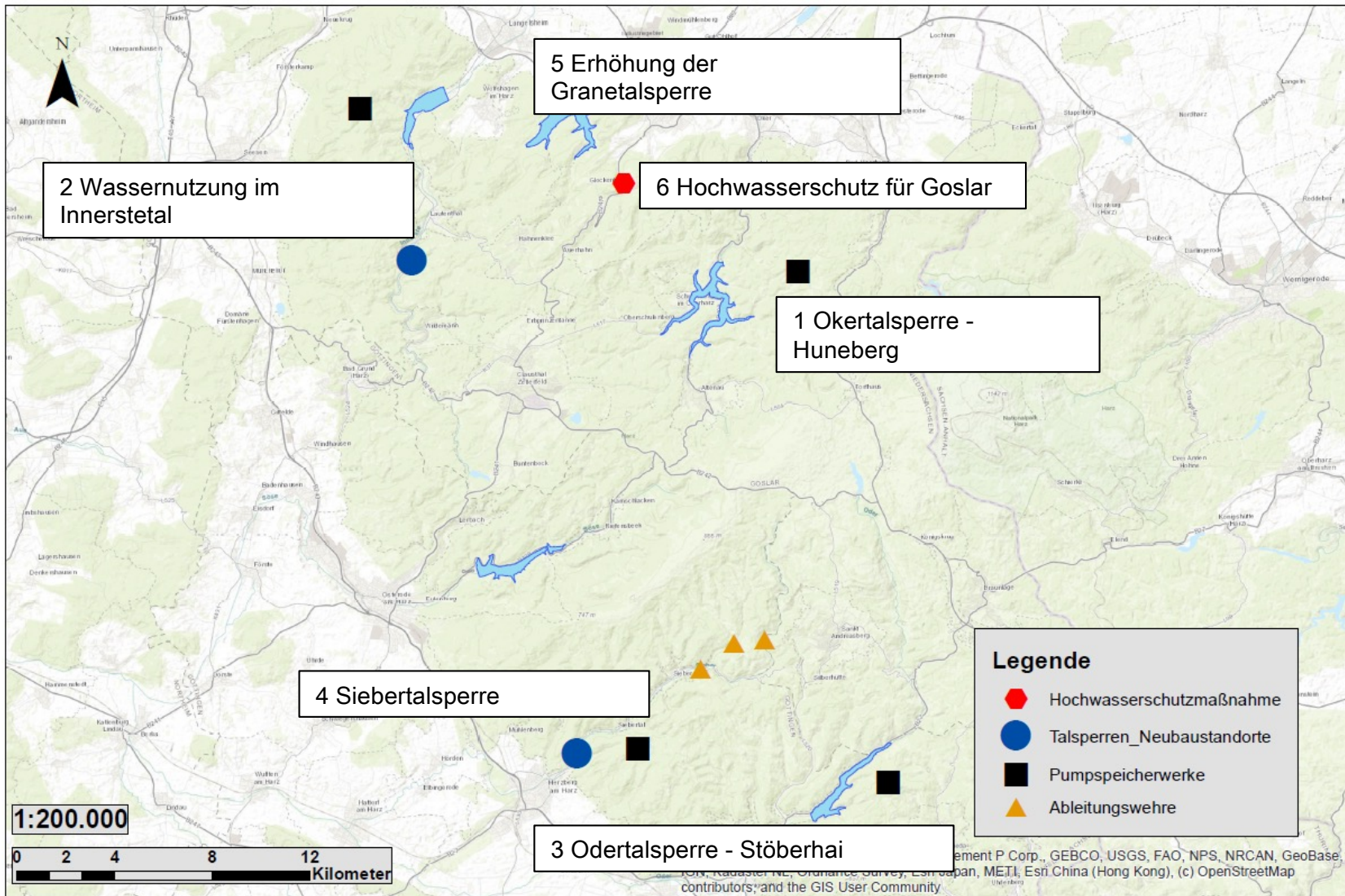
Projekthintergrund: Integrierter Bewertungszusammenhang: Pumpspeicher und Systemdienstleistungen



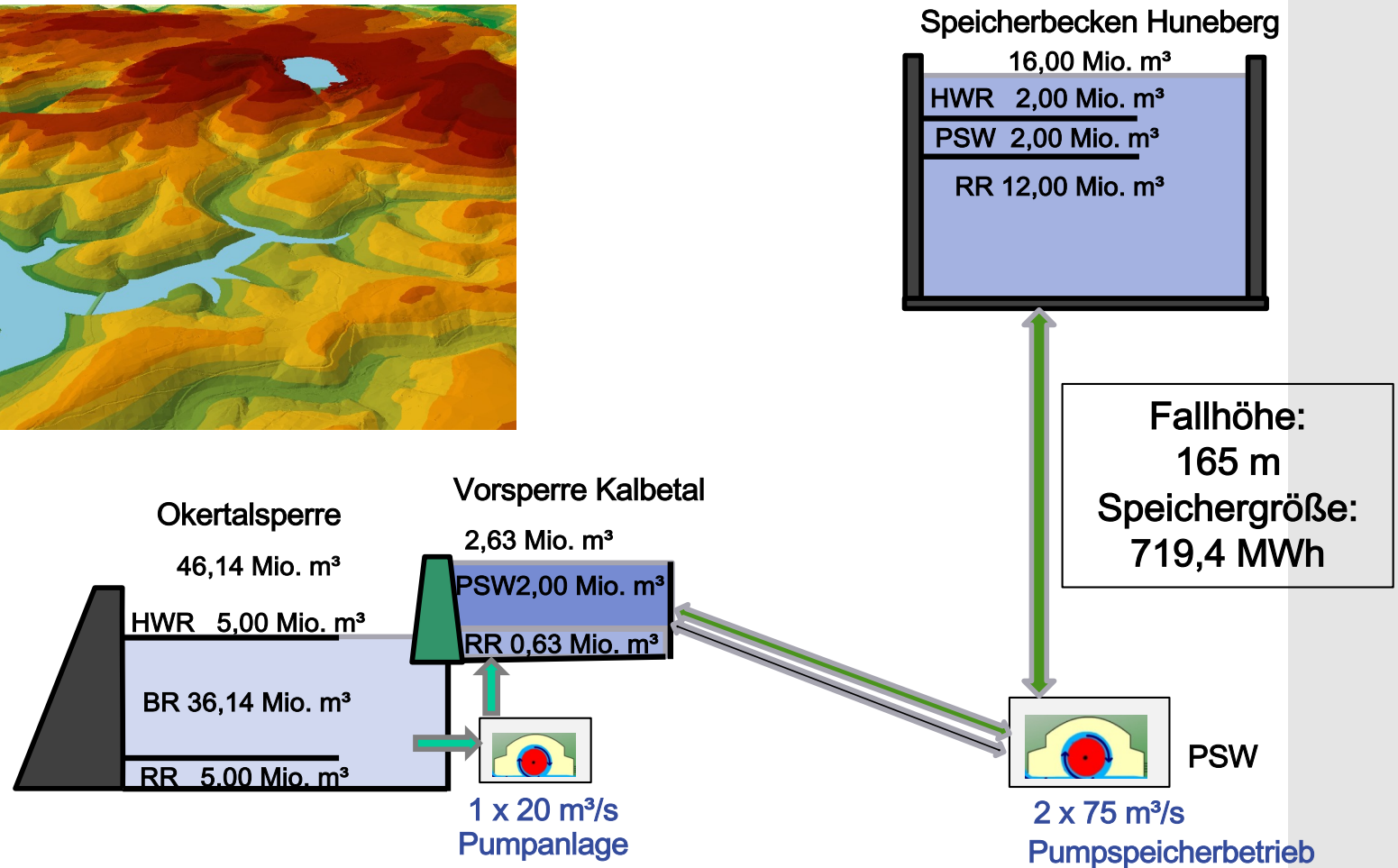
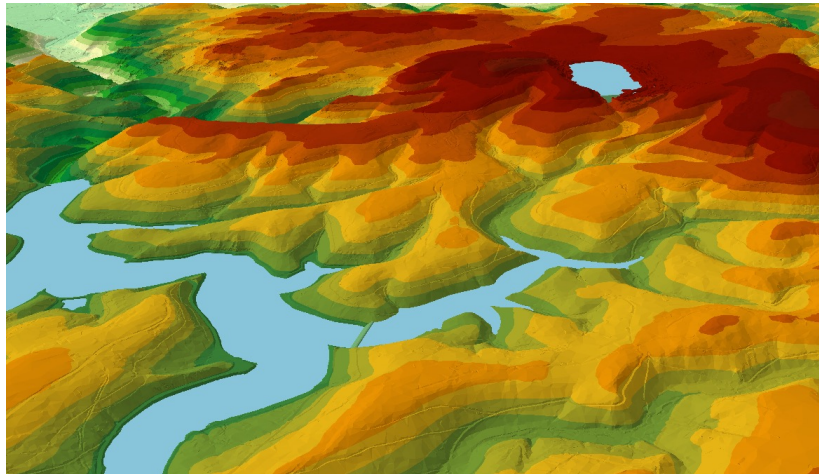


Ein Projekt zur Kopplung nachhaltiger Systemdienstleistungen von Energiespeicherung, Hochwasserschutz und Ressourcensicherung

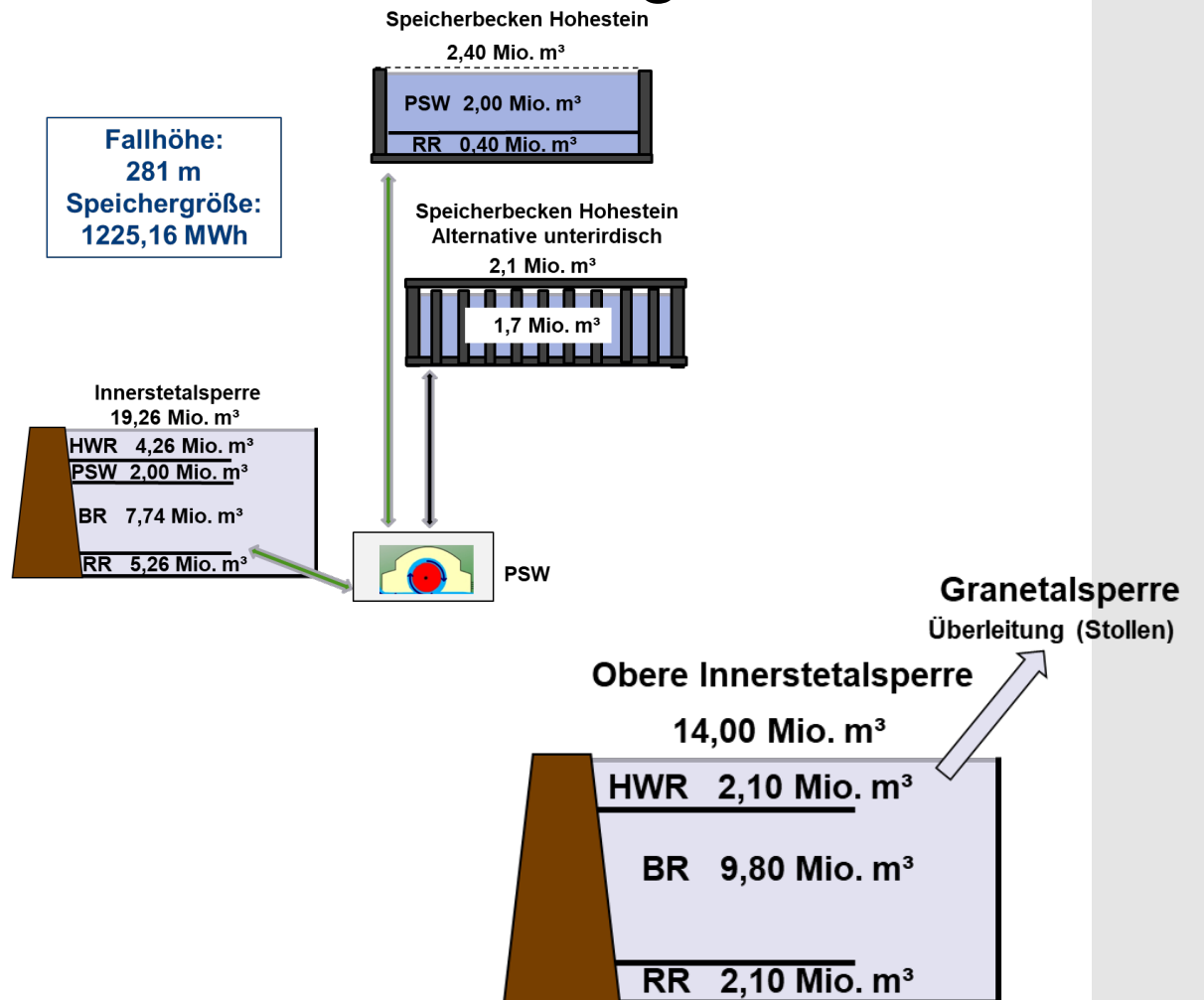
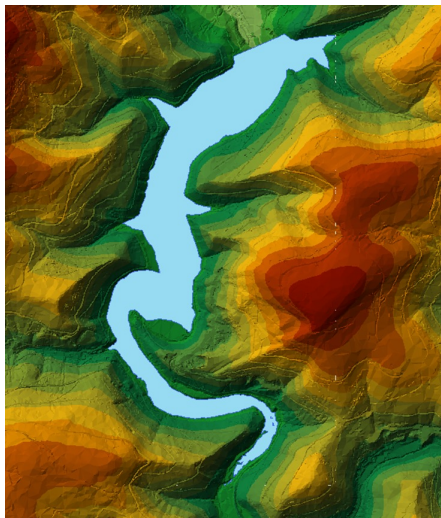
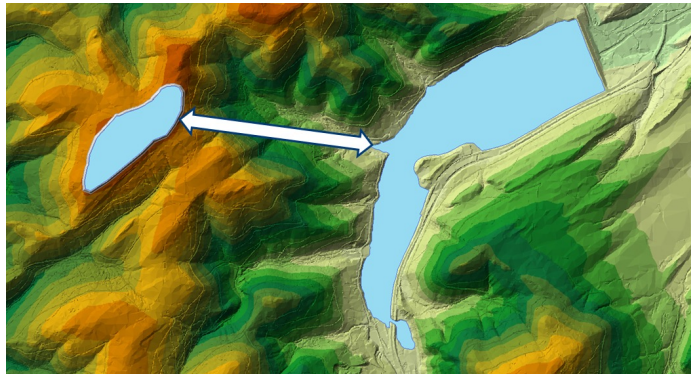
- (1) Projekthintergrund
- (2) Standorte und Alternativen**
- (3) Methodik
- (4) Ergebnisse



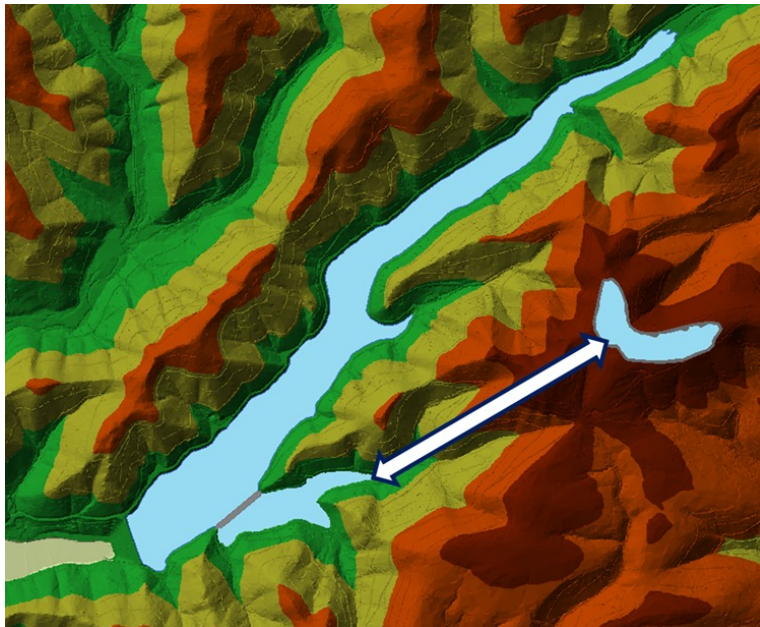
Standort 1: Okertalsperre - Huneberg



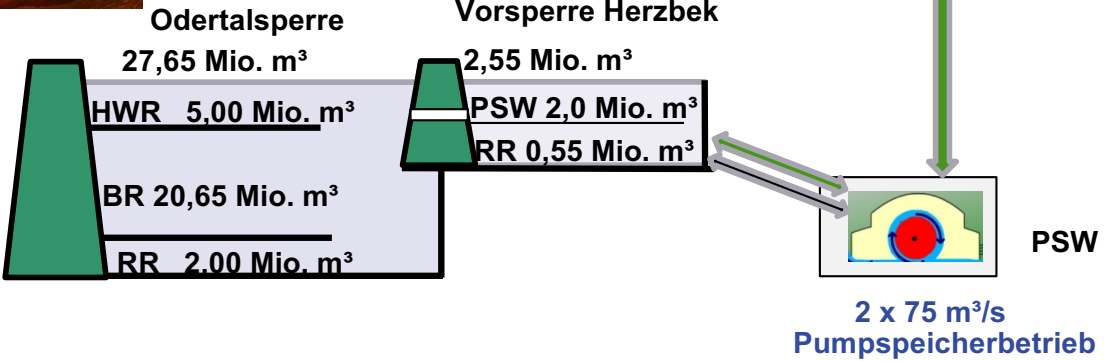
Standort 2: Wassernutzung im Innerstetal



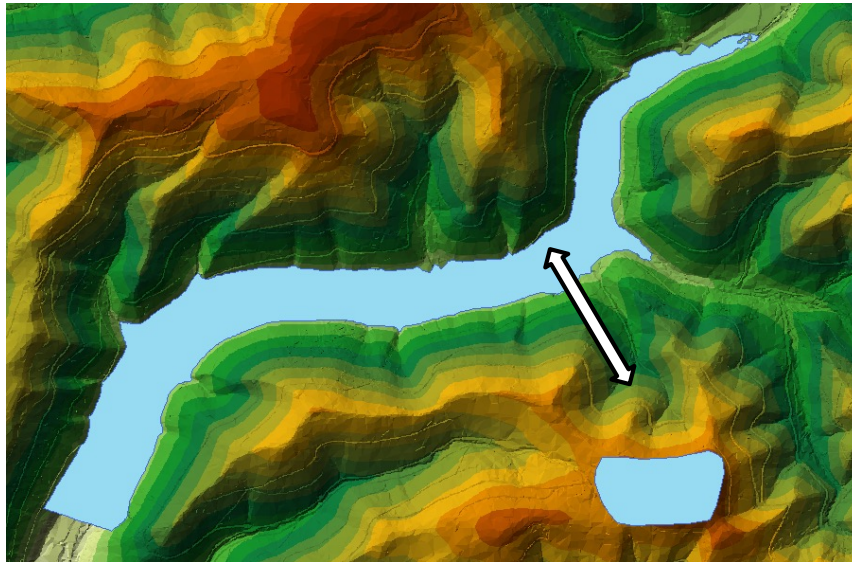
Standort 3: Odertalsperre - Stöberhai



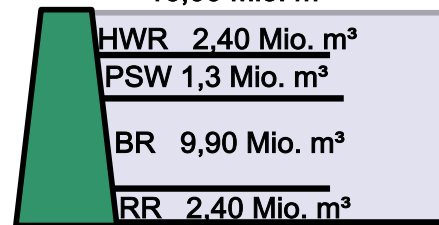
Fallhöhe:
317 m
Speichergröße:
1382,12 MWh



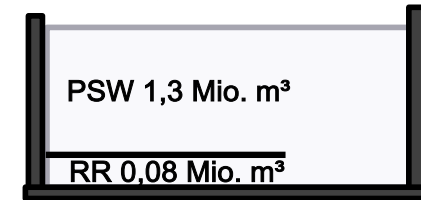
Standort 4: Siebertalsperre



Siebertalsperre
16,00 Mio. m³



Speicherbecken Knollen
1,38 Mio. m³



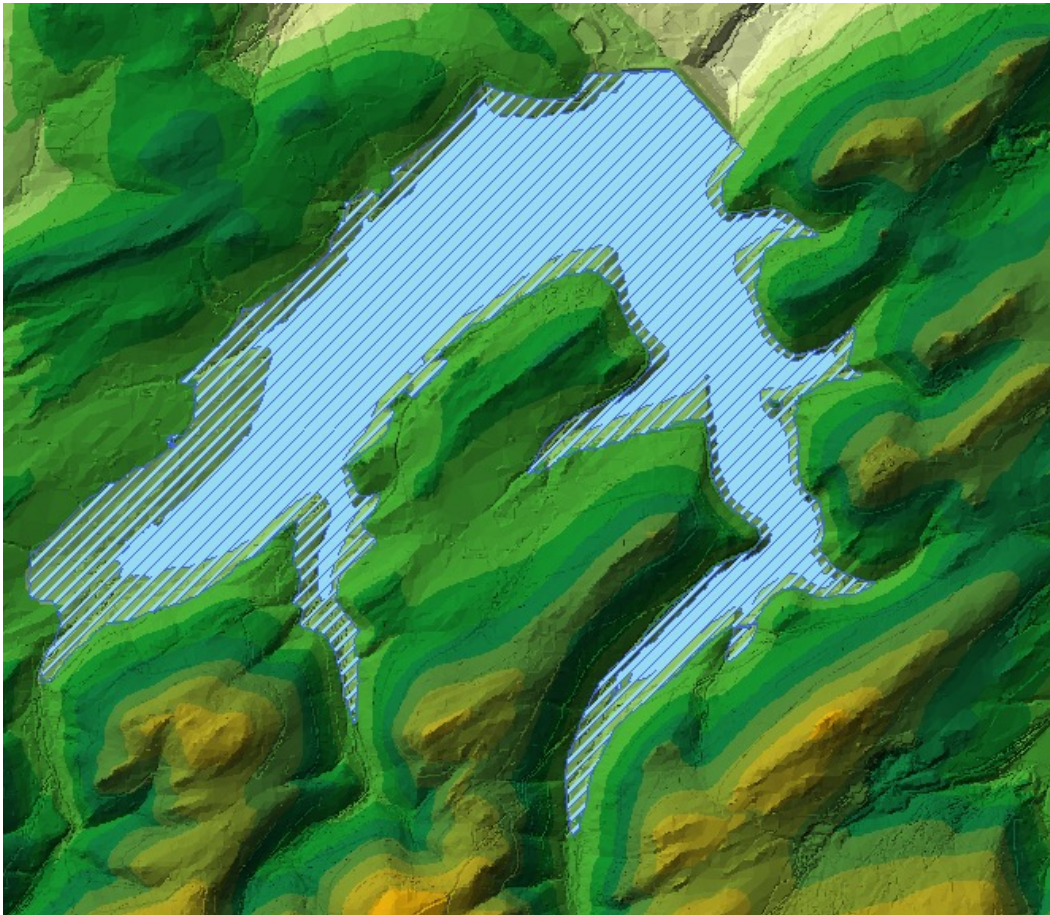
Fallhöhe:
217 m
Speichergröße:
614,98 MWh

1,3 Mio. m³

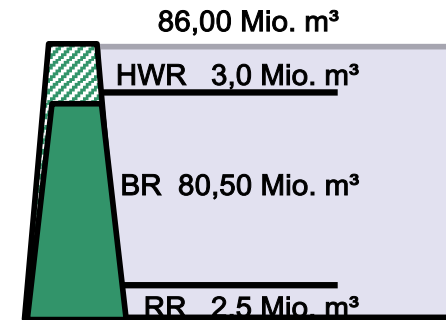


PSW

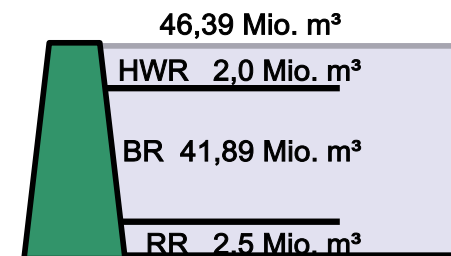
Standort 5: Erhöhung der Granetalsperre























Granetalsperre Zukunft



Granetalsperre Ist-Zustand





	Okertal- sperre	2.Stausee Innerstetal	Odertalsperre	Siebertal- sperre	Erhöhung Granetal- sperre
Trinkwasser- versorgung	 Reserve für extreme Trocken- ereignisse	 Leicht positiver Effekt	 Kaum Einfluss	 Kann Innerste- Talsperre vollständig ersetzen	 Signifikant größerer Trinkwasserspeich er
Hochwasser- schutz	 Großer HW- Schutz	 Erheblicher HW- Schutz	 HW-Zunahme durch Klimaänderung ausgeglichen	 Großer HW-Schutz	 Minimale Verbesserung
Niedrigwasser- aufhöhung	 Ausgleich fast sämtlicher NW- Ereignisse	 Kaum Einfluss	 Kaum Einfluss	 Ausgleich fast sämtlicher NW- Ereignisse	 Leicht positiver Effekt
Energie- speicherung	 Erhebliches Potential, ($\Delta h \approx$ 165 m, 2 hm ³)	 Sehr Hohes Potential, ($\Delta h \approx$ 280 m, 2,4 hm ³)	 Hohes Potential, (Δ h \approx 300 m, 2,3 hm ³)	 Geringe zusätzliche Energieerzeugung	 Minimale zusätzliche Energieerzeugung

Steckbriefe

Steckbrief: Obere Innerstetalsperre - Hohenstein



Aktuelle Nutzungen:
• Keine
Neubau mit den Zielen:
• Hochwasserschutz
• Trinkwasserbereitstellung
• Energiespeicherung

Wassermengenwirtschaft

Hochwasserschutz: Erwartete Hochwasservolumina an der Messstelle Heinde:	Um 17% reduziert.		
Auswirkungen auf Hochwasserschutz:	Keine:	Niedrig:	Hoch: ✓
Niedrigwasseraufhöhung: Dauer der Niedrigwassereignisse an der Messstelle Heinde:	unverändert		
Auswirkung auf Niedrigwasserschutz:	Keine: ✗ ✓	Niedrig:	Hoch: ✗

Trinkwasserbereitstellung

Zusätzliche jährlich Rohwasser-Bereitstellung:*	2,1 hm ³ /a		
Beitrag zur Trinkwasserversorgung der Region:	Keiner:	Niedrig:	Hoch: ✓

* Durch vermehrte Überleitung zur Grane

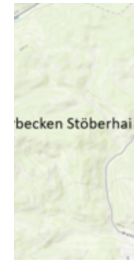
Kosten

Baukosten:	268 Millionen €
------------	-----------------

Elektrischer Speicher

Größe des Speichers [in MWh]:	1220
Entspricht im Jahr 2050	
des niedersächsischen Speicherbedarfs.	0,9%

Stöberhai



Aktuelle Nutzungen:
• Hochwasserschutz
• Niedrigwasseraufhöhung
• Stromerzeugung, Pumpspeicherbetrieb seit 1986 eingestellt
Ausbau mit den Zielen:
• Trinkwasserbereitstellung
• Energiespeicherung

an der Messstelle	unverändert		
chutz:	Keine: ✗ ✓	Niedrig:	Hoch:
se an der	Um 1500% erhöht		
chutz*	Keine:	Niedrig:	Hoch: ✗

bleibendem Dargebot und unveränderten Betriebsregeln in der Niedrigwassersituation. Bei Realisierung bzw. Änderung der Betriebsregeln und ggf. zusätzliche Überleitungen

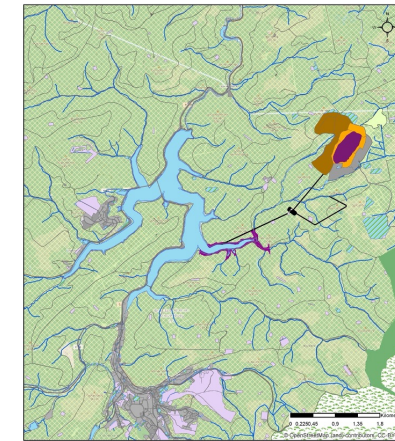
ellung (2041-	9 hm ³ /a		
Region:	Keiner:	Niedrig:	Hoch: ✓

	277 Millionen €
--	-----------------

	1380
edarfs.	1,0%

Steckbrief: Okertalsperre - Huneberg

Umwelt und Kultur



Legende

AX_Gebäude	Naturschutzgebiete_DTK25
AX_Landwirtschaft	PSW_Huneberg
AX_Strassenverkehr	Speicherbecken_EWAZ
Landschaftsschutzgeb_FL_DTK25	Talsperren
Nationalparke_DTK25	

Flächenverbrauch:	Wasserspeicherräume im Bereich eines Landschaftsschutzgebietes: • Kalbatal: 0,26 km ² Wasserspeicherräume im Bereich eines Tagebaus: • Huneberg: 0,43 km ²
Raumwiderstände	Hohestein: • Landstraße ca. 3,5 km • Wanderwege ca. 0,6 km

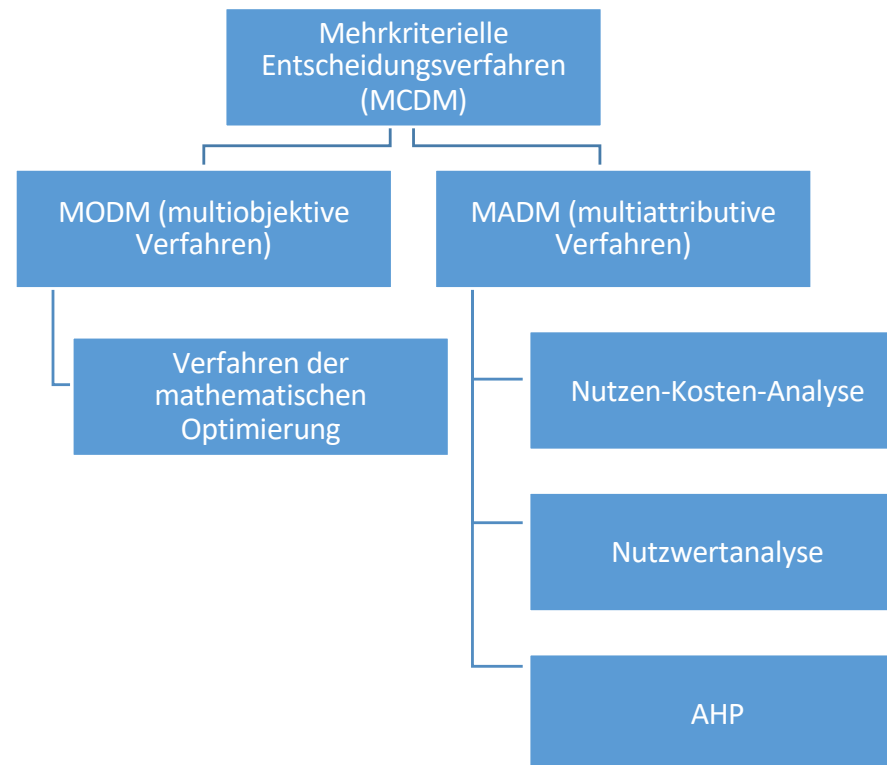


Ein Projekt zur Kopplung nachhaltiger Systemdienstleistungen von Energiespeicherung, Hochwasserschutz und Ressourcensicherung

- (1) Projekthintergrund
- (2) Standorte und Alternativen
- (3) Methodik**
- (4) Ergebnisse

Methodik: Multikriterielle Verfahren

- Ziel: „Ökonomische Bewertung von Handlungsoptionen als Entscheidungshilfe bei der Planung integrierter Maßnahmen zu den Systemdienstleistungen Hochwasserschutz, Niedrigwasseraufhöhung, Trinkwasserversorgung und Energieproduktion bzw. –speicherung.“
- Problem: Mehrdimensionale Bewertung, auch über konfligierende Dimensionen



Methodik: Nutzwertanalyse (NWA)

- Stellt Nutzen jeder Alternative in Form eines Nutzwertes dar
- Relevante Kriterien $j = 1, \dots, J$ bestimmen, Ausprägung jeder Alternative A_i in jedem Kriterium j erfassen und in Zielerfüllungsgrad v_{ij} transformieren.
- Gewichte w_j bestimmen; Konvention $\sum_{j=1}^J w_j = 1$
- Für jede Alternative in allen Kriterien der Teilnutzenwert nw_{ij} aus dem Produkt aus Gewicht und Zielerfüllungsgrad bilden: $w_j * v_{ij} = nw_{ij}$. Nutzwert einer Alternative $\Phi(A_i)$ wird über Summation ihrer Teilnutzenwerte ermittelt.

Zielkriterien	Gewicht e	Alternativen					
		A ₁ : Auto A			A ₂ : Auto B		
		Zustand	Zielerfüllungsgrad	Teilnutzenwert	Zustand	Zielerfüllungsgrad	Teilnutzenwert
k_j	w_j	z_{1j}	v_{1j}	nw_{1j}	z_{2j}	v_{2j}	nw_{2j}
k_1 : Farbe	0,25	Rot	44	11	Blau	76	19
k_2 : Reichweite	0,75	720 km	72	54	640 km	64	48
Summe der Gewichte	1		$\Phi(A_1) =$	65		$\Phi(A_2) =$	67



Methodik: AHP

- Methode aus dem Bereich „Innovationsbewertung“ (z.B. Medizintechnik), anwendbar auch auf Gruppenentscheidungen
- Weiterentwicklung der Nutzwertanalyse
- Nachteil: subjektive Kriterien, Methode leistet keine Hilfe bei Extrahierung von Kriterien
- Vier Axiome:
 - Reziprozität: Elemente i und j paarweise miteinander so zu vergleichen, dass gilt: $a_{ij} = 1/a_{ji}$
 - Hierarchisierung: Das Problem kann in Form einer Hierarchie dargestellt werden.
 - Homogenität: Beim paarweisen Vergleichen zweier Elemente i und j gilt stets $a_{ij} \neq \infty$
 - Vollständigkeit: Alle Einflussfaktoren des Modells sind entweder in den Kriterien oder den Alternativen erfasst.



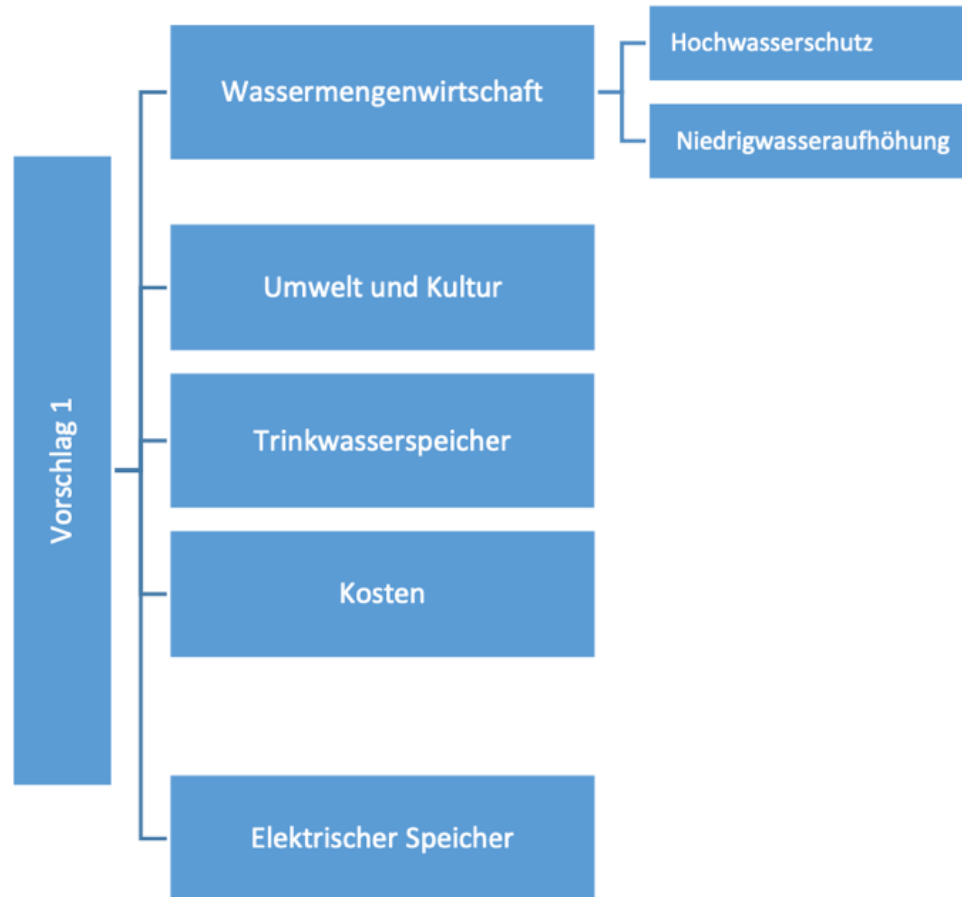
Methodik: AHP

- Oberziel: Identifikation der optimalen EWAZ-Projektauslegung
- Beim AHP wird das Oberziel in Zieldimensionen „aufgelöst“ und die Projekte werden dann im Hinblick auf diese Dimensionen bewertet.
 - **Schritt 1:** Oberziel wird in Unterziele zerlegt (ist im Projekt definiert)
 - **Schritt 2:** Zwischen den Zielen wird ein paarweiser Vergleich vorgenommen. Daraus werden an den Gewichtungen der Zieldimensionen abgeleitet. Frage: Wie wichtig ist diese Zieldimension für das Oberziel?
 - **Schritt 3:** Für jede Zieldimension werden Vergleiche zwischen den Alternativen vorgenommen. Frage: Wie schneidet jede Alternative in dieser Zieldimension ab? Alle Zieldimensionen werden auf diese Weise abgearbeitet:
 - **Schritt 4:** Verknüpfung der Information (bei Gruppenentscheidungen: Aggregation)
 - **Schritt 5:** Prüfung der Konsistenz, Heterogenität (Konsens) und Sensitivitätsanalysen



Methodik

Schritt 1: Unterziele





Methodik

Schritt 2: Gewichtung der Zieldimensionen

Skalenwert	Definition	Interpretation
9	absolut dominierend	Größtmöglicher Bedeutungsunterschied
7	sehr viel größere Bedeutung	Sehr viel größere Bedeutung
5	erheblich größere Bedeutung	Erheblich größere Bedeutung
3	etwas größere Bedeutung	Etwas größere Bedeutung
1	Gleiche Bedeutung	Gleiche Bedeutung
$\frac{1}{3}, \frac{1}{5}, \frac{1}{7}, \frac{1}{9}$	Reziprokwerte, falls j i vorgezogen wird.	

Methodik

Schritt 2: Gewichtung der Zieldimensionen (vereinfachtes Beispiel)

	Hochwasserschutz	Speicher	Trinkwasser	Normierte Spaltenwerte [1, 0]			Zeilen-summe	Normierter Eigenvektor w
Hochwasserschutz	1	6	3	0,67	0,6	0,69	1,96	0,65
Speicher	1/6	1	1/3	0,11	0,1	0,08	0,29	0,1
Trinkwasser	1/3	3	1	0,22	0,30	0,23	0,75	0,25
Summe	3/2	10	13/3	1	1	1	3	1

Zwischenwerte 2,4,6 und 8 sind zulässig

- Reziprokwerte für Umkehraussagen: $m_{ij}=1/m_{ji}$
- Bei konsistenter Matrix gilt: $m_{ij} * m_{jk}=m_{ik}$ (Transitivität)
- Zielgewichtung ergibt sich durch Normierung.

Methodik

Schritt 3: Bewertung der Alternativen

- Erfolgt analog in Matrixdarstellung *für jede Zieldimension*

Zieldimension : Hochwasser- schutz	Stand ort 1	Stand ort 2	Stand ort 3	Normierte Spaltenwerte [1, 0]			Zeilen- summe	Normierter Eigenvektor w
Standort 1	1	8	4	8/11	16/19	8/11	2,30	0,77
Standort 2	1/8	1	1/2	1/11	2/19	1/11	0,29	0,1
Standort 3	1/4	1/2	1	2/11	1/19	2/11	0,41	0,13
Summe	11/8	19/2	11/2	1	1	1	3	1

Methodik

Schritt 4: Integration

- Verknüpfung von Gewichten und Bewertung ergibt den Gesamtnutzen jeder Alternative
- $\Phi(A_i) = \sum_{j=1}^J w_j n_{ij}$
- Mit:
 - Φ =Nutzwert
 - A=Alternative
 - w_j =Gewichtung des Ziels j
 - n_{ij} =Bewertung der Alternative i hinsichtlich der Zieldimension j
- Gesamtbewertung der Projekte ergibt Ranking der Alternativen
- Inkonsistenzen können sich bei vielen Zielen und „fehlerhaften“ Präferenzäusserungen ergeben
- Verfahren zur Konsistenzprüfung
- Sensitivitätsanalysen: Auswirkungen von Gewichtungsänderungen w_j auf das Alternativenranking

Methodik

Schritt 4: Integration

Fazit zur Methode:

- Zentrale Idee: Im gesamten Bewertungsprozess werden nur Vergleiche vorgenommen (holistisches Verfahren)
- Vorteile:
 - Keine restriktiven Annahme zur Gestalt der Nutzenfunktion notwendig, d.h. Übersetzung von „Messgröße“ in „Nutzengröße“ nicht notwendig!
 - „Objektivierung“ der Entscheidung
- Nachteile:
 - Funktioniert nur bei geringer Anzahl von Projekten und Dimensionen, da sonst zu viele Vergleiche notwendig
 - Nachträgliches Hinzufügen von Zieldimensionen oder Alternativen erfordert umfangreiche Neubewertungen
- AHP setzt gut strukturiertes Entscheidungsproblem voraus



Ein Projekt zur Kopplung nachhaltiger Systemdienstleistungen von Energiespeicherung, Hochwasserschutz und Ressourcensicherung

- (1) Projekthintergrund
- (2) Standorte und Alternativen
- (3) Methodik
- (4) Ergebnisse**



Datenerhebung

31.08.2022 am Energie-Forschungszentrum Niedersachsen in Goslar

- Erhebung mit dem Projektbeirat:
 - **Schritt 1:** Oberziel wird in Unterziele zerlegt (ist im Projekt definiert)
 - **Schritt 2:** Zwischen den Zielen wird ein paarweiser Vergleich vorgenommen. Daraus werden an den Gewichtungen der Zieldimensionen abgeleitet. Frage: Wie wichtig ist diese Zieldimension für das Oberziel?
 - **Schritt 3:** Für jede Zieldimension werden Vergleiche zwischen den Alternativen vorgenommen. Frage: Wie schneidet jede Alternative in dieser Zieldimension ab? Alle Zieldimensionen werden auf diese Weise abgearbeitet:
 - **Schritt 4:** Verknüpfung der Information (bei Gruppenentscheidungen: Aggregation)
 - **Schritt 5:** Prüfung der Konsistenz, Heterogenität (Konsens) und Sensitivitätsanalysen
- Projektbeirat ist ein Konsortium aus zivilgesellschaftlichen Akteuren die das Projekt begleiten und in die Bevölkerung tragen: Energieversorger, Wasserversorger, (Ober-)Bürgermeister, Landräte, Niedersächsischer Landesbetrieb Wasserwirtschaft Küsten- und Naturschutz, Umweltverbände



Datenerhebung Ablauf

Moderierte Diskussion

- Vorstellung der Zieldimensionen
- Vorstellung der Alternativen (Projektsteckbriefe)
- Kurze Einführung in das Verfahren (Manual)

Individuelle Arbeit

■ AHP-Anwendung

	A - bzgl. Trinkwassergewinnung - oder B?	Gleich	Um wieviel mehr?
1	<input checked="" type="radio"/> Okertalsperre <input type="radio"/> Innerstetal	<input checked="" type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9
2	<input checked="" type="radio"/> Okertalsperre <input type="radio"/> Odertalsperre	<input checked="" type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9
3	<input checked="" type="radio"/> Okertalsperre <input type="radio"/> Siebertal	<input checked="" type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9
4	<input checked="" type="radio"/> Okertalsperre <input type="radio"/> Granetalsperre	<input checked="" type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9
5	<input checked="" type="radio"/> Innerstetal <input type="radio"/> Odertalsperre	<input checked="" type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9
6	<input checked="" type="radio"/> Innerstetal <input type="radio"/> Siebertal	<input checked="" type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9
7	<input checked="" type="radio"/> Innerstetal <input type="radio"/> Granetalsperre	<input checked="" type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9
8	<input checked="" type="radio"/> Odertalsperre <input type="radio"/> Siebertal	<input checked="" type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9
9	<input checked="" type="radio"/> Odertalsperre <input type="radio"/> Granetalsperre	<input checked="" type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9
10	<input checked="" type="radio"/> Siebertal <input type="radio"/> Granetalsperre	<input checked="" type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9
CR = 0% Bitte beginne mit dem Paarvergleich			
<input type="button" value="Berechne"/>			

Ergebnisse

Übersicht

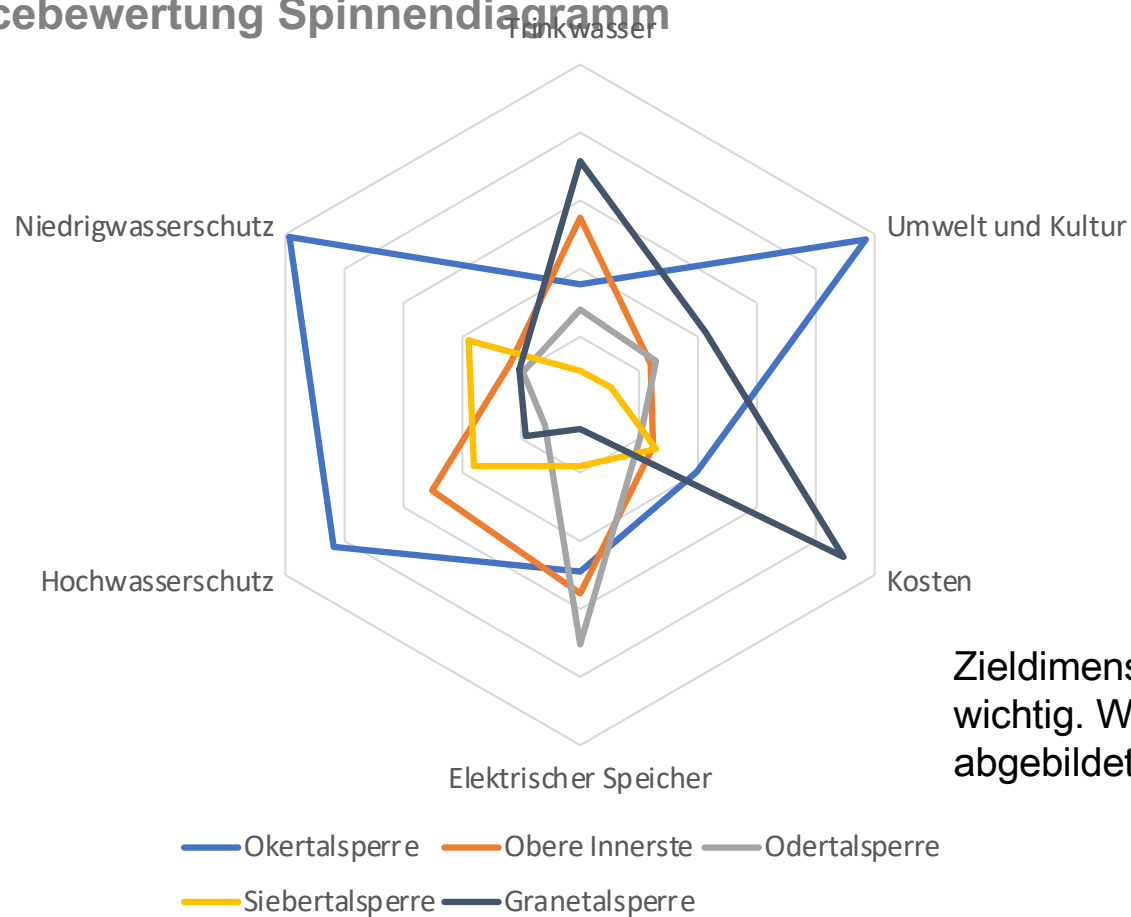
Level 0	Level 1	Level 2	Glb Prio.	Okertal sperre	Obere Innerst etalsperre	Odertal sperre	Siebert alsperre	Granet alsperre	
EWAZ	Trinkwassergewinnung 0.444		44.4%	0.177	0.275	0.140	0.050	0.358	
	Umwelt und Kultur 0.071		7.1%	0.485	0.120	0.129	0.052	0.213	
	Kosten 0.062		6.2%	0.198	0.124	0.101	0.129	0.447	
	Elektrischer Speicher 0.189		18.9%	0.245	0.277	0.352	0.090	0.036	
	Wassermengenwirtschaft 0.234	Hochwasserschutz 0.756		17.7%	0.418	0.251	0.059	0.180	0.092
		Niedrigwasserschutz 0.244		5.7%	0.493	0.119	0.097	0.189	0.103
			1.0	27.4%	24.2%	16.0%	9.4%	23.1%	

Gut zu erkennen:

- Der Zieldimension Trinkwasser wurde sehr viel Bedeutung beigemessen
- Danach folgten Hochwasserschutz und Elektrischer Speicher

Ergebnisse

Die Performancebewertung Spinnendiagramm



Zieldimensionen sind nicht gleich wichtig. Wie kann dies abgebildet werden?

Ergebnisse

Spinnennetzdiagramm um Gewichtungen ergänzen.

Level 0	Level 1	Level 2	Glb Prio.	Okertal sperre	Obere Innerst etalspe rre	Odertal sperre	Siebert alsperre	Granet alsperre
EWAZ	Trinkwassergewinnung 0.444		44.4%	0.177	0.275	0.140	0.050	0.358
	Umwelt und Kultur 0.071		7.1%	0.485	0.120	0.129	0.052	0.213
	Kosten 0.062		6.2%	0.198	0.124	0.101	0.129	0.447
	Elektrischer Speicher 0.189		18.9%	0.245	0.277	0.352	0.090	0.036
	Wassermengenwirtschaft 0.234	Hochwasserschutz 0.756	17.7%	0.418	0.251	0.059	0.180	0.092
		Niedrigwasserschutz 0.244	5.7%	0.493	0.119	0.097	0.189	0.103
			1.0	27.4%	24.2%	16.0%	9.4%	23.1%

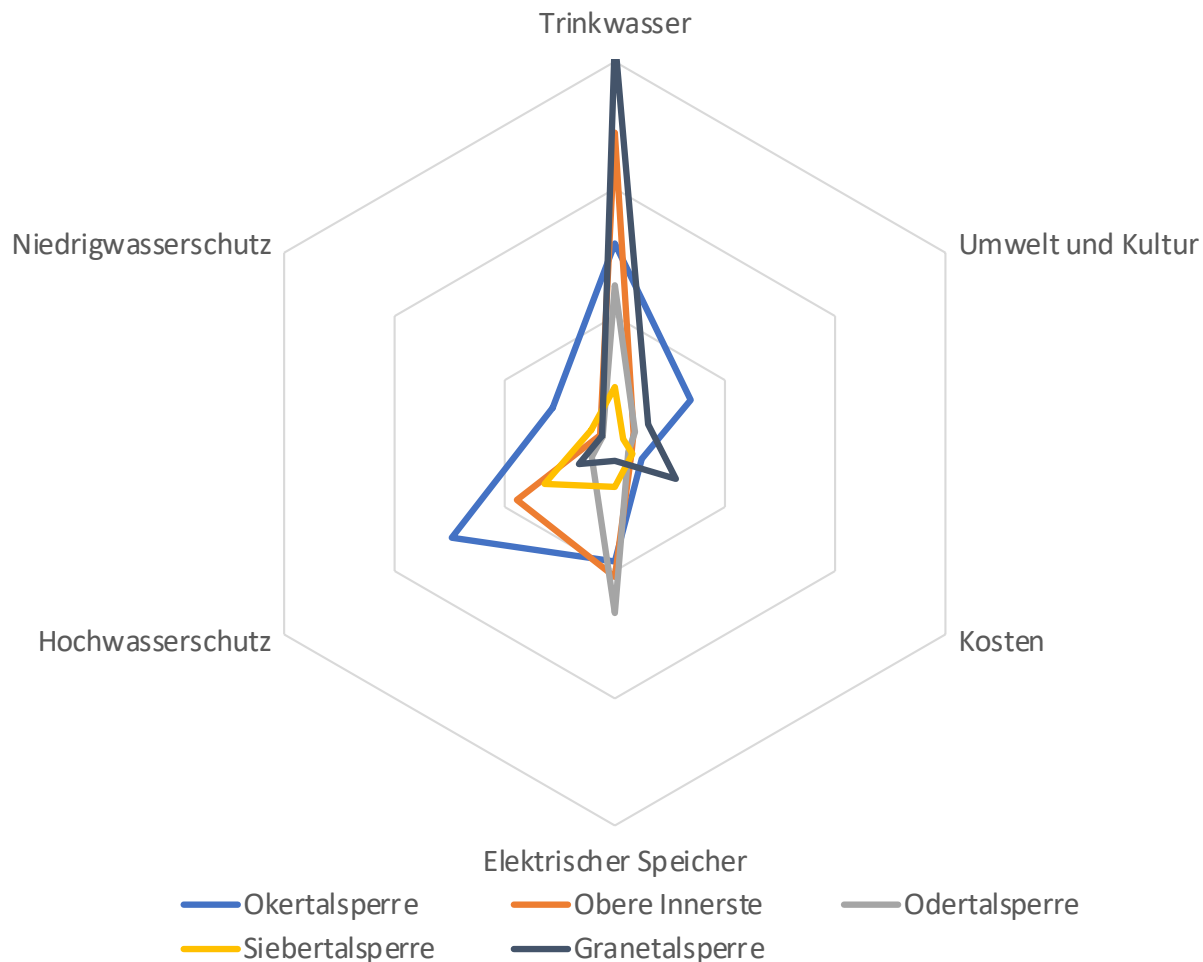
Nutzwert Φ der Alternative i wird wie folgt berechnet:

$$\Phi(A_i) = \sum_{j=1}^J w_j * n_{ij}$$

Dieses Vorgehen der spaltenweisen Multiplikation wird auf die Darstellung übertragen: Auftragen des Teilnutzenwertes: $w_j * n_{ij}$

Ergebnisse

Im Spinnendiagramm (gewichtet)



Auf Platz 1 landete die Okertalsperre mit sehr gutem Hochwasserschutz und guter Trinkwasserbewertung

Auf geteiltem 2. Platz landeten Obere Innerste und Granetalsperre mit gutem Hochwasserschutz und sehr guter Trinkwasserbewertung



Erkenntnisse aus Anwendung des AHP

- Nützliche Entscheidungshilfe:
 - Aufgliedern in Zieldimensionen und Erstellen einer Hierarchie
 - Ermitteln der Zielgewichte
 - Bewerten innerhalb der Dimensionen

- Kooperatives und partizipatives Planungsverfahren
 - Individuelle Bewertungen werden erfasst
 - Gemeinschaftliche Bewertung wird durch Aggregation gebildet.
 - Unterschiedliche Einschätzungen hierzu werden in der Aufwertung aufgedeckt.

Ergebnisse

Sensitivitätsanalyse – Kritischer Gewichtungsfaktor

- ... der Zieldimension, welche die kleinste relative Änderung benötigt um eine Änderung der Reihung der Alternativen zu bewirken.
- Elektrischer Speicher: Senken der 18,9% um 4,4 Prozentpunkte auf 14,5% ändert Ranking zwischen Obere Innerstetalsperre und Granetalsperre

Altes Ranking	Neues Ranking, bei Änderung des kritischen Gewichtes
Okertalsperre Obere Innerstetalsperre ~ Granetalsperre Odertalsperre Siebertalsperre	Okertalsperre Granetalsperre Obere Innerstetalsperre Odertalsperre Siebertalsperre

Ergebnisse

Sensitivitätsanalyse – Kritische Performancebewertung

- ... die Bewertung, welche die kleinste relative Änderung benötigt um eine Änderung der Reihung der Alternativen zu bewirken.
- Granetalsperre, in Dimension Trinkwassergewinnung: Erhöhung der 35,8% um 2,7 Prozentpunkte auf 38,5% ändert Ranking zwischen Granetalsperre und Obere Innerstetalsperre.

Altes Ranking	Neues Ranking, bei Änderung der kritischen Performancebewertung
1. Okertalsperre	1. Okertalsperre
2. Obere Innerstetalsperre ~ Granetalsperre	2. Granetalsperre
3. Odertalsperre	3. Obere Innerstetalsperre
4. Siebertalsperre	4. Odertalsperre
	5. Siebertalsperre

Ergebnisse

Sensitivitätsanalyse – Änderung auf Platz Eines

- ... die Zieldimension, welche die kleinste relative Änderung benötigt um eine Änderung des ersten Platzes zu bewirken.
- Trinkwassergewinnung: Erhöhung der 44,4% um 23,8 Prozentpunkte auf 68,2% ändert Ranking zwischen Okertalsperre und Granetalsperre. Damit würde dann die Grane der Oker klar vorgezogen.

Altes Ranking	Neues Ranking, bei Änderung des kritischen Gewichtes
1. Okertalsperre	1. Granetalsperre
2. Obere Innerstetalsperre ~ Granetalsperre	2. Okertalsperre
3. Odertalsperre	3. Obere Innerstetalsperre
4. Siebertalsperre	4. Odertalsperre
	5. Siebertalsperre



Ein Projekt zur Kopplung nachhaltiger Systemdienstleistungen von Energiespeicherung, Hochwasserschutz und Ressourcensicherung

- (1) Projekthintergrund
- (2) Standorte und Alternativen
- (3) Methodik
- (4) Ergebnisse
- (5) Anhang**

1. Erstellen einer Evaluationsmatrix mit $n(n-1)/2$ direkten Attributpaar-Vergleichen

K

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & \dots & a_{1j} & \dots & a_{1n} \\ \cdot & & \cdot & & \cdot \\ \cdot & & \cdot & & \cdot \\ a_{i1} & \dots & a_{ij} & \dots & a_{in} \\ \cdot & & \cdot & & \cdot \\ \cdot & & \cdot & & \cdot \\ \cdot & & \cdot & & \cdot \\ a_{n1} & \dots & a_{nj} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix}$$

2. Spaltensummenberechnung

$$(1 \ 1 \ \dots \ 1) A = \sum_i a_{i1} \dots \sum_i a_{ij} \dots \sum_i a_{in}$$

3. Normalisierung der Evaluationsmatrix

$$B = \begin{bmatrix} a_{11}/\sum_i a_{i1} & \dots & a_{1n}/\sum_i a_{in} \\ \cdot & & \cdot \\ \cdot & & \cdot \\ a_{n1}/\sum_i a_{i1} & \dots & a_{nn}/\sum_i a_{in} \end{bmatrix}$$

4. Zeilensummenberechnung

$$B \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s_1 \\ s_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ s_n \end{bmatrix}$$

5. Eigenvektor-/Endgewichtsberechnung, n Attribute

$$\begin{bmatrix} s_1/n \\ s_2/n \\ \cdot \\ \cdot \\ s_n/n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ w_n \end{bmatrix}$$

6. Kennwertberechnung für Konsistenzprüfung

$$A \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ w_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ u_n \end{bmatrix}, \lambda_{\max} = (1 \ 1 \ \dots \ 1) \begin{bmatrix} u_1/w_1 \\ u_2/w_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ u_n/w_n \end{bmatrix} (1/n)$$

7. Konsistenzindexberechnung

$$CI = (\lambda_{\max} - n)/(n - 1)$$



Synthese – Aggregation der Gewichte einzelner Entscheider zu Gesamtgewichten:

- Individuelle Bewertungen zur Gruppenbewertung aggregiert.
- Arithmetisches oder geometrische Mittel, Medianwert und Modalwert.
- Tatsächlich ist aber nur die Aggregation durch das geometrischen Mittel zulässig. Nur diese Transformation erfüllt die Anforderung des Transitivitätsaxioms
- Die einzelnen Bewertungen n_{ij}^m der Entscheider $m = 1, \dots, M$ können wie folgt zur gemeinsamen Bewertung n_{ij}^{cons} zusammengeführt werden.
- $n_{ij}^{cons} = \left(\prod_{m=1}^M n_{ij}^m \right)^{1/M}$

Sensitivitätsanalyse

Zum kritischen Kriterium C_k

- Es wird in jedem Kriterium k für alle Alternativenpaare A_i und A_j mit $i < j$ folgendes berechnet:
 - $\delta_{ijk}^{abs} = \frac{P_j - P_i}{n_{jk} - n_{ik}}$
 - Für alle δ_{ijk}^{abs} , für die gilt $|\delta_{ijk}^{abs}| < w_k$ werden dann die relativen Änderungen δ_{ijk}^{rel} berechnet.
 - $\delta_{ijk}^{rel} = \frac{\delta_{ijk}^{abs}}{w_k}$
 - Das Kriterium mit dem kleinsten ermittelten δ_{ijk}^{rel} ist das kritische Kriterium C_k .

Sensitivitätsanalyse

Zum kritischen Paarvergleich n_{ik}

- Es wird in jedem Kriterium j für alle Alternativenpaare A_i und A_k mit $i \neq k$ folgendes berechnet:

- $$\delta_{ijk}^{abs} = \frac{P_i - P_k}{P_i - P_k + w_j(n_{kj} - n_{ij} + 1)}$$

- Für alle δ_{ijk}^{abs} , für die gilt $|\delta_{ijk}^{abs}| < w_j$ werden dann die relativen Änderungen δ_{ijk}^{rel} berechnet.

- $$\delta_{ijk}^{rel} = \frac{\delta_{ijk}^{abs}}{n_{ij}}$$

- Der Alternativenvergleich n_{ik} mit dem kleinsten δ_{ijk}^{rel} ist der kritische Alternativenvergleich.