

Saisonal speichern

Praxisbeispiel
Wärmeversorgungskonzept
Hechingen

Dipl.-Ing. Jörg Baumgärtner



Finanziert von der
Europäischen Union
NextGenerationEU

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Ingenieure aus Leidenschaft

Ein Blick zurück ins letzte Jahrtausend

1996 Solare Nahwärme Friedrichshafen– Wiggenghausen

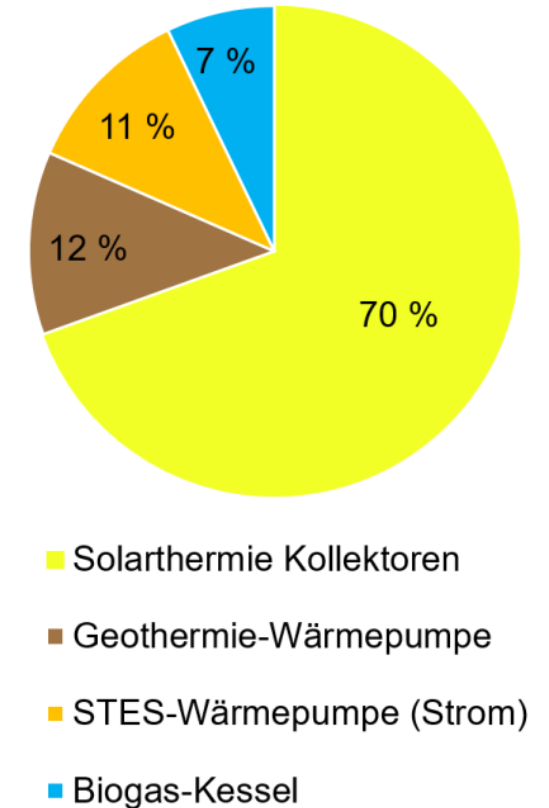


Quelle: STZ und EGS-plan

- Forschungsprojekt der Uni Stuttgart
- Saisonale Speicherung von thermischer Solarenergie
- Neubaugebiet mit 570 Wohnungen, 40.000 qm Wohnfläche
- Solarer Deckungsanteil 50 % (Heizung und Warmwasser)
- 4.100 m² thermische Kollektoren
- 12.000 Kubikmeter Speicher (33 m Durchmesser, 20 m hoch)
- Betonkonstruktion mit Edelstahlauskleidung

- Stadt Hechingen entwickelte 2016 städtebaulichen Entwurf der Neubauwohnsiedlung „Killberg IV“ für etwa 1.500 Personen.
- Wärmeversorgung mit erneuerbarer Energie, aber ohne Holz
- Machbarkeitsstudie durch *sol/ites* ergab ein zentrales Wärmeversorgungskonzept basierend auf Solar- und Geothermie sowie eines Langzeitwärmespeichers.
- Zielkonzept ist inzwischen in weiten Teilen fertiggestellt.

- 3,9 GWh Wärmebedarf (Endausbau)
- Verteilnetz Doppelrohr VL 68 ° C, RL 38-55 ° C
- *7.600 m² Solarthermie Kollektoren*
- *18.000 m³ Erdbecken-Wärmespeicher (STES)*
- 500 kWth STES-Wärmepumpe
- 300 kWth Geothermie-Wärmepumpe
- 40 Erdwärmesonden, 172 m Tiefe
- 105 m³ + 55 m³ Pufferspeicher
- 3 x 1 MW Bioerdgas-Kessel
- Primärenergiefaktor 0,22



Quelle: solites

Von einer Erddeponie zum „Energiehügel“

- Nahe „Killberg IV“ liegt eine Erddeponie, die sich am Ende ihrer Befüllungszeit befindet.
- Solarthermie-Anlage wird am Südhang der Erddeponie installiert.
- An die Erddeponie geliefertes Erdmaterial wurde so in den Deponiekörper eingebaut, dass ein vorgeformtes Erdbecken für den Erdbecken-Wärmespeicher entstand.



Quelle: solites

Anbindung Speicher und
Technikgebäude

Heizzentrale und
Baugebiet

Erdbecken
Kantenlänge oben:
75 m x 47 m

Länge 440 m
2xDN 150 KMR
1xDN 125 KMR
Trinkwasser
Elektro
Abwasser DN 250
Leerrohr mit LWL-Kabel



Quelle: Stadtwerke Hechingen

Luftbild Heizzentrale und Baugebiet 2025



Wärmequelle der 300 kW
NT-Wärmepumpe:
40 Erdwärmesonden
172 m Tiefe

Quelle: Stadtwerke Hechingen

Visualisierung Solarthermie-Anlage am Südhang des „Energiehügels“



Quelle: solites

- Langer Vorlauf in Planung und Erschließung
- Randbedingungen haben sich stark verändert
- Schleppende Vermarktung der Grundstücke
- Derzeit werden nur wenige EFH versorgt
- Konsequenz für Verluste und Wirtschaftlichkeit
- Seit Herbst 2025 in Betrieb
- Aktuell bessert sich die Situation
- Es wird aber noch einige Jahre dauern bis zur Vollversorgung

Luftbild Speicher und Technikgebäude 2025



Quelle: Stadtwerke Hechingen

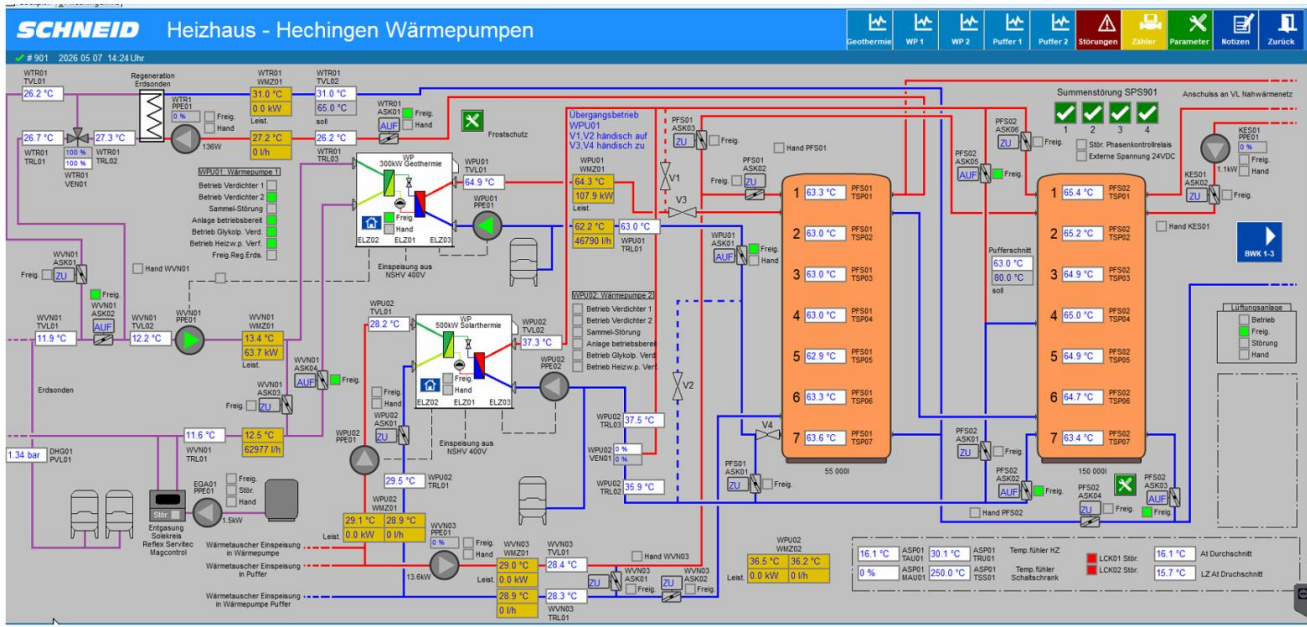
Heizzentrale

- Eigene Trafostation
Antriebsstrom WP
- Aufwendige Holz-
Fassadenverkleidung
- 75 kW PV Dach
- Kompensatoren Puffer
wegen Erdbeben-
sicherheit



Quelle: Stadtwerke Hechingen
EGS-plan

Heizzentrale



Quelle: Stadtwerke Hechingen
EGS-plan



Unterschiedliche Fahrweisen:
Direkt aus dem LZWSP
Vorwärmung LZWSP und Hochtemperatur-WP
Erdsonden und Niedertemperatur-WP
Regeneration Erdsonden

- Anspruchsvolles Konzept mit unterschiedlichen erneuerbaren Wärmequellen zum guten Teil umgesetzt
- „Alte“ Technologie (solare Langzeitwärmespeicherung) wieder aktiviert
- Optimierungspotential liegt in der Netztemperatur und Regelung
- Investitionskosten stiegen über lange Planungs-, Genehmigungs- und Bauzeit
Bisher umgesetzte Komponenten aber im Plan
- Risiko für Wirtschaftlichkeit liegt nun insbesondere im Ausbaufortschritt

Tandemvortrag – Teil 2: Mauthe GmbH



Wir gestalten und bauen Zukunft

KONTAKT

Tel.: +49 (0) 7433 / 904633-25
Mail: rettinger@mauthe-gmbh.de

Mauthe GmbH

Uhlandstraße 3
72336 Balingen



Wolfgang Rettinger

Dipl.-Ing. (FH)
Bauingenieurwesen

Geschäftsführer
Beratender Ingenieur

A Genehmigung in Hechingen

- 3 Genehmigungsweg in Hechingen
- 4 Vor- und Nachteile Standort Deponie

C Vergleich mit Meldorf

- 14 Erfahrungen aus Vergleichsprojekten: Kenngrößen Meldorf vs. Hechingen
- 15–16 Bilder aus Meldorf (Bauphase / Luftbilder)
- 17 Abdichtung und Speicherdeckel
- 18 Schwimmende Abdeckung (Meldorf)

B Technische Hürden

- 5 Standsicherheiten – Überblick
- 6 Baugrund und Standsicherheit
- 7–8 Setzungsverhalten
- 9 Windsogkräfte während der Bauphase
- 10 Windsogkräfte auf die Endabdeckung
- 11 Standfestigkeit der Folie
- 12 Starkregen, Foliendefekt, Erdbeben
- 13 Flutwellenberechnung

D Wirtschaftlichkeit und Ausblick

- 19 Kosten-Nutzen: Solmax-Referenzprojekte
- 20 Projekthistorie und Zeitplan

Hinweis: Diese Inhaltsangabe zeigt nur die im gekürzten Vortrag enthaltenen Folien (Kürzung gemäß Rückmeldung Jörg Baumgärtner).

1

Technische Funktionsschicht im Deponierecht

Deponie hätte nicht aus der Nachsorge entlassen werden können, solange das Becken betrieben wird.

verworfen

2

Genehmigung über die Stilllegungsanzeige (§ 40 KrWG, 2021)

Unterlagen eingereicht, Fachbehörden signalisierten Zustimmung – nach Personalwechsel andere Rechtsauffassung.

gescheitert

3

B-Plan „Sondergebiet Hinter Rieb“ + Plangenehmigung § 35 Abs. 3 KrWG

Antrag 12/2022, erteilt 12/2023 – Flächen aus dem Deponierecht entwidmet.

rechtssicher

4

Fachgenehmigung: Talsperre Klasse 2 (DIN 19700)

Standicherheit, Dammbruchsimulation, Havarie- und Notentleerungskonzept, Überwachung.

läuft

Kernaussage Fünf Jahre, drei Verfahrensansätze – der Genehmigungsweg muss am Anfang verbindlich mit allen Behörden geklärt werden.

Vorteile

- + Bereits anthropogen vorgenutzte Fläche
- + Erdarbeiten wurden teilweise vom Deponiebau getragen
- + Becken und Solaranlage: weniger Fläche zu rekultivieren
- + Wasserhaltung während des Baus
- + Kein Grundwasser, das gegen die Folie drückt (Freispiegelabfluss)

Nachteile

- Inhomogener Baugrund (Deponiekörper)
- Durch die hohe Aufschüttung als Talsperre eingestuft
- Meldorf: Becken eher eingegraben – dort keine Talsperren-Nachweise nötig
- Geometrie nicht frei wählbar, an den Deponiekörper anzupassen

1

Windsog während der Bauphase

→ Folie 9

2

Windkräfte auf die Endabdeckung

→ Folie 10

3

Setzungsverhalten / Geologie

→ Folie 6–8

4

Regenwasser / Starkregen

→ Folie 12

5

Erdbebenzone 3

→ Folie 12

6

Leckagen an der Folie – wie erkennen?

→ Folie ?

7

Schrumpfrisse unter der Folie (2–4 cm)

→ Folie 11

8

Flutwelle: Risiko Bahnstrecke und Siedlung

→ Folie 13

Technische Hürden I: Baugrund und Standsicherheit

Der „Baugrund“ ist kein gewachsener Boden

sondern über Jahrzehnte eingebrachter Deponiekörper (Erdauffüllung) – 20–30 m mächtig

Untergrund unbekannt

Nachweisverfahren:

Merkblatt DWA-M 542

statt klassischem Globalsicherheitskonzept

**Ausnutzungsgrad im
Regelbetrieb 0,3 – 0,8**

Baugrunderkundung:

Aufschlussbohrungen + Rammsondierungen

zur Kennwertermittlung

Berechnung des Setzungsverhaltens

Monitoring des Setzungsverhaltens

Getrennte Standsicherheitsnachweise für:

Regelbetrieb

Bauzustand

Störfall
(Leckage)

Setzungsmonitoring: 8 Messpunkte (SP1–SP8)

Stirnseiten (SP1, SP5)

Südost-Böschung (SP2–SP4)

Nordwest-Böschung (SP6–SP8)

≈ 15,5 cm (Maximum)

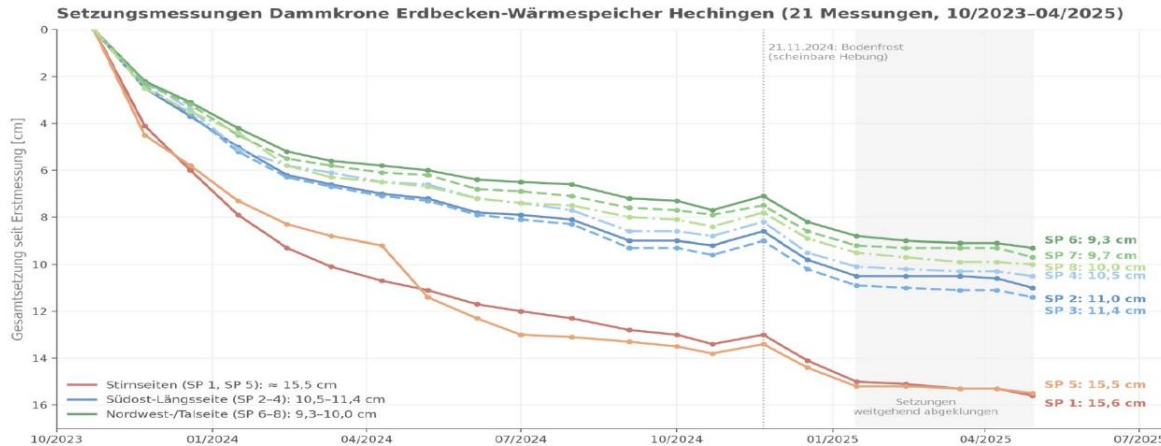
10,5 – 11,4 cm

9,3 – 10,0 cm

Alle Standsicherheitsnachweise erbracht – Setzungsmonitoring bestätigt die Prognose der Bauphase

Setzungsverhalten: Messergebnisse

Setzungsmonitoring an der Dammkrone Erdbecken-Wärmespeicher Hechingen (SP1–SP8, 10/2023–04/2025) im Vergleich zur Prognose von 2020



Quelle: Mauthe GmbH, Kontrollmessungen SP 1–8 (Anlage 2 zu VEES | PARTNER, Erdstatistische Berechnungen, Az 19 228, 02.05.2025).
Nullpunkt = Erstmessung 23.10.2023; Damm zu diesem Zeitpunkt bereits vollständig geschüttet. Nach Gutachten aus Beckenfüllung weitere ca. 5–10 cm gleichmäßige Setzung zu erwarten.

Setzungsmonitoring: 8 Messpunkte (SP1–SP8)

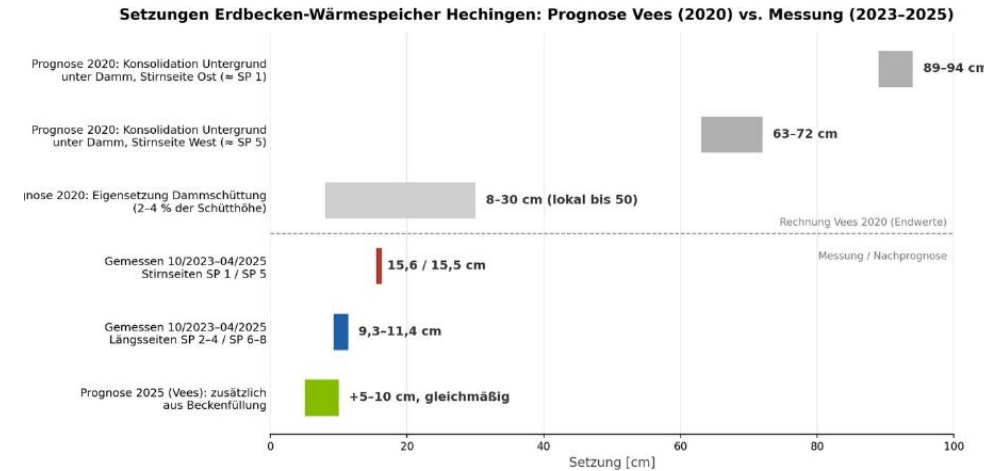
Stirnseiten (SP1, SP5) ≈ 15,5 cm (Maximum)
Südost-Böschung (SP2–SP4) 10,5 – 11,4 cm
Nordwest-Böschung (SP6–SP8) 9,3 – 10,0 cm

≈ 15,5 cm

Setzung Bauphase
(gemessen)

+5 – 10 cm

weitere Setzung erwartet
(Wasserfüllung)



en: VEES | PARTNER, Geotechnischer Bericht 19.06.2020, Abschn. 5.3 und Anlage 5.2 (GGU-SETTLE, DIN 4019, Schnitt Längssachse);
| PARTNER, Erdstatistische Berechnungen 02.05.2025, Abschn. 2.6 + Anlage 2.
is: Messung beginnt erst nach vollständiger Dammschüttung (23.10.2023) – vorher eingetretene Setzungen sind nicht erfasst; Prognosewerte sind rechnerische Endwerte.

Ergebnis: gemessene Setzungen (9,3–15,6 cm) liegen innerhalb der Prognose von 2020 – alle Standsicherheitsnachweise bestätigt.



Erdbecken-Wärmespeicher Hechingen während der Erdbauphase (Luftbild) — Quelle: Mauthe GmbH



Messpunkt (Setzungspunkt) im Baufeld — Quelle: Mauthe GmbH

8 Messpunkte (SP1–SP8) entlang der Dammkrone – regelmäßige Vermessung während und nach der Bauphase sichert die frühzeitige Erkennung von Setzungen.

Fläche

1 Sandsack (20 l) pro m² aufbringen

Randbereich

1 Big Bag (1,5 m³) alle 10 m auflegen



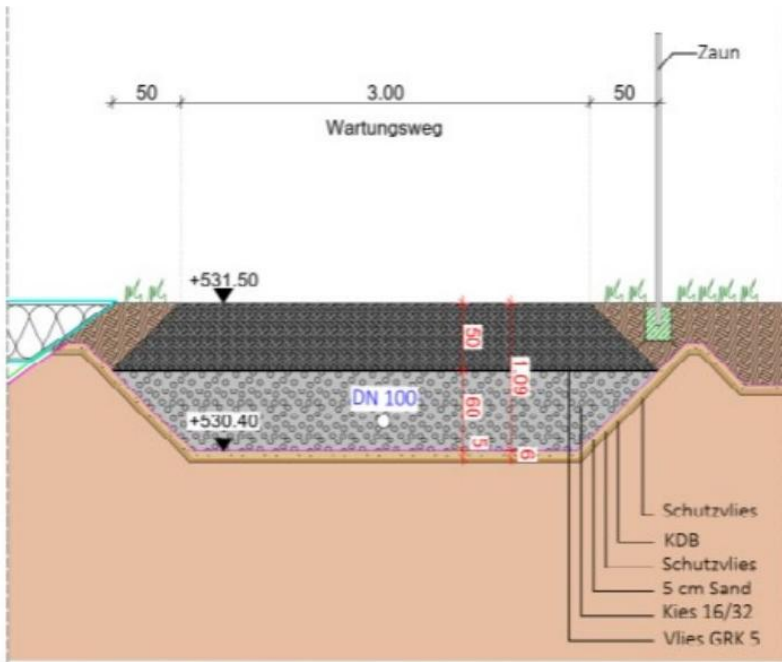
Quelle: Ramboll

Windsogkräfte auf die Endabdeckung

MAUTHE architekten + ingenieure	Pr.Nr. 19107 Erddeponie "Hinter Rieb" Hechingen	Seite: 20
---	---	-----------

Quelle: Mauthe GmbH

Verankerung an der Böschungskrone



Quelle: Mauthe GmbH

Randgraben = Retentionsvolumen

ausgelegt auf einen 100-jährlichen Regen

Der maßgebende Lastfall – Windkraft infolge Reibung

$$R_{t,d} - R_{B,d} - E_d \geq 0$$

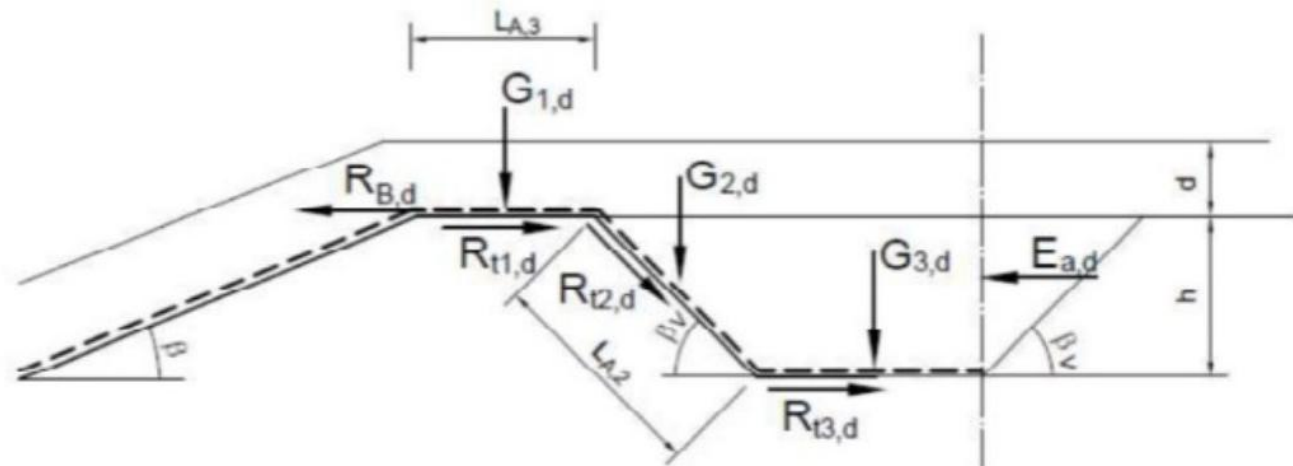


Bild 8-3: Nachweis gegen Bruch des Verankerungsgrabens — Quelle: Mauthe GmbH

Durchstanzen durch Steine im Untergrund

nachgewiesen: MFPA-Laborversuch 2021 auf Original-Deponieboden, 275 kN/m² (2,5-fach), 80 °C, 100 h – Folie ohne Eindrückungen

Reißen über Trocknungsrisse (2–4 cm)

Rissbreite laut Geologe infolge Wärmeeinwirkung

Nachweis: rechnerisch oder Versuch DIN EN ISO 12236 – vor Baubeginn

Bild oben: Einbau Erdbeckenauflagermaterial



Bild unten: Einbau Schutzlage BasisProtect 2.1



Quelle (beide Bilder): Solmax

Zusätzliche Lastfälle, an die als Planer zunächst nicht gedacht wurde

Starkregen

weicht die Dammkrone von außen auf

→ **Standsicherheit gefährdet**

Foliendefekt (Riss)

Wasser dringt von innen in den Damm ein

→ **Nachweis mit durchströmtem Damm erforderlich**

Rechnerischer Nachweis:

selbst bei Leckage und Drainageausfall dauert eine kritische Durchströmung über 30 Tage

Becken leerbar in

2 Wochen

Erdbebenzone 3

eine der höchsten Erdbebengefährdungen in Deutschland

$a_g = 2,16 \text{ m/s}^2$

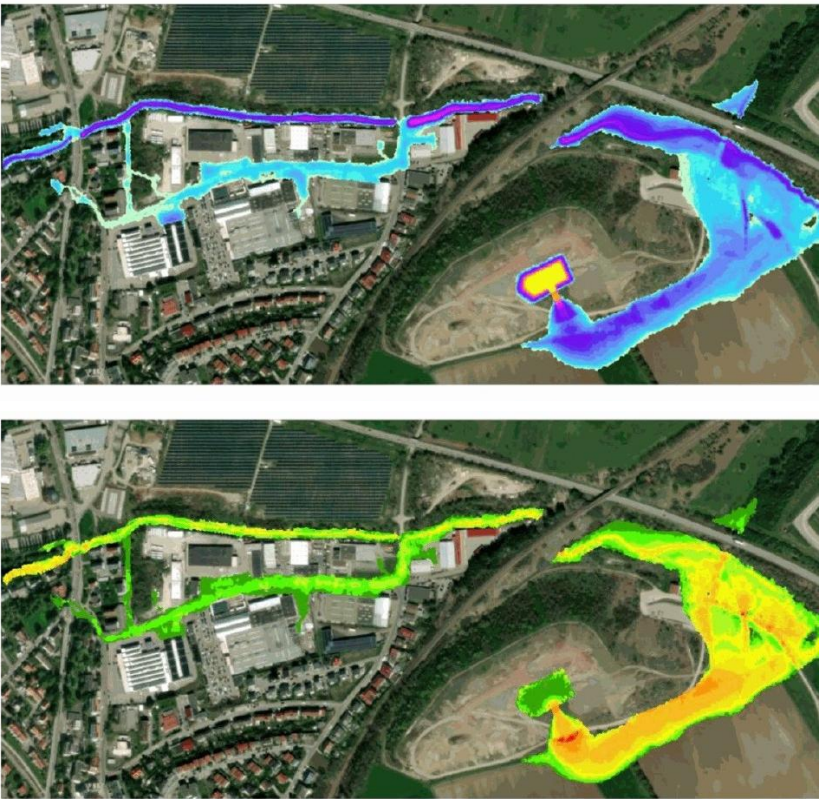
Wiederkehrperiode 1.000 Jahre

Wasserseitige Böschung

in allen Erdbebenszenarien direkt nachgewiesen

Luftseitige Böschung

beim Bemessungserdbeben nur über Nachweis der Gleitverschiebung (wenige cm bis dm) erbracht



Wassertiefe [m]

- 0.01 - 0.05
- 0.06 - 0.1
- 0.11 - 0.2
- 0.21 - 0.4
- 0.41 - 0.6
- 0.61 - 0.8
- 0.81 - 1
- 1.01 - 1.5
- 1.51 - 2
- 2.01 - 2.5
- 2.51 - 3
- 3.01 - 3.5
- 3.51 - 4
- 4.01 - 5
- 5.01 - 11

Fließgeschwindigkeit [m/s]

- 0.11 - 0.5
- 0.51 - 1
- 1.01 - 1.5
- 1.51 - 2
- 2.01 - 3
- 3.01 - 5
- 5.01 - 10

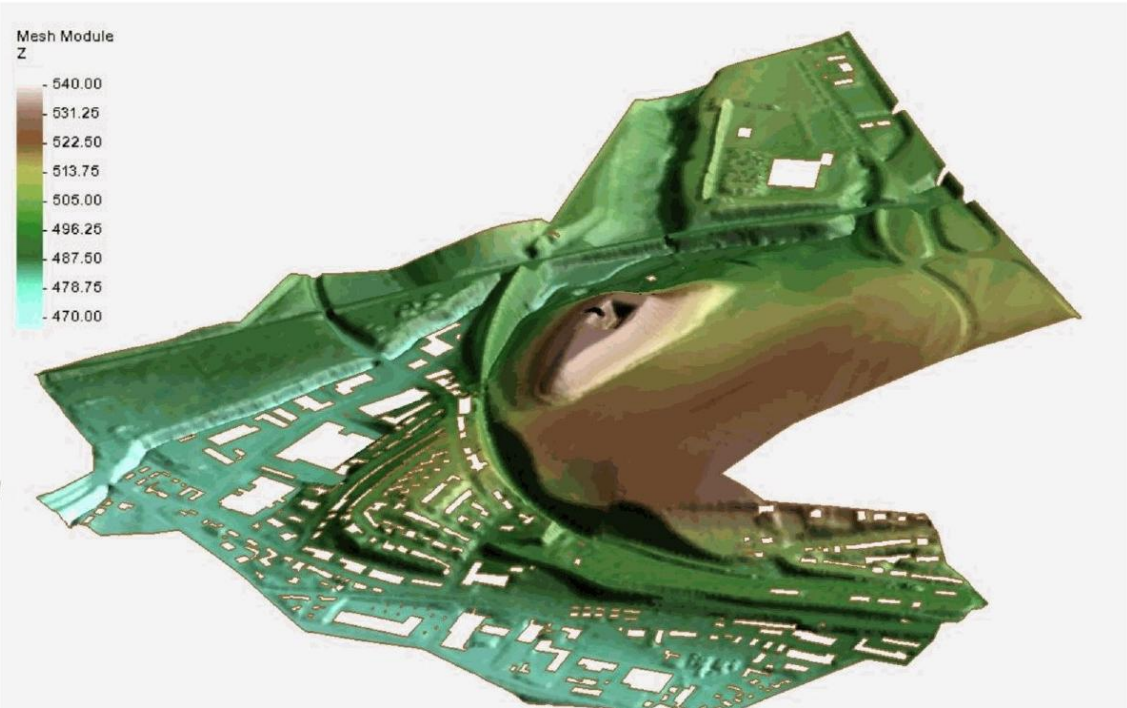


Abbildung 4: 3D-Visualisierung des Berechnungsnetzes
KIT / Dr. Oberle, 2D-Simulation Dammbruch, 04/2025 – Bresche 10 m × 5,5 m

Abbildung 9: Max. Überflutungstiefen und Fließgeschwindigkeiten (Szenario „Bresche Süd“)

15.300 m³

fließen bei Dammbruch aus

bis 0,4 m

Wassertiefe Brunnenstraße

bis 2 m/s

Fließgeschwindigkeit



Hechingen: Erdbau im bestehenden Deponiekörper „Hinter Rieb“

Kenngrößen im Vergleich

Volumen	43.000 m ³
Wassertiefe	≈ 11 m
Durchmesser	≈ 100 m
Böschung	1 : 2,5
Baugrund	gewachsener Boden (Sand)

≈ 18.000 m³

≈ 11 m

kleiner (kompakter Grundriss)

standsicherheits-geprüft (DWA-M 542)

Deponiekörper (20–30 m Auffüllung)

● Meldorf

● Hechingen

Gemeinsamkeit: Bei beiden Projekten ist eine belastbare Grundwasser- und Baugrundstrategie der zeitkritische Pfad der Bauausführung.

Meldorf – Bauphase



Quelle: Ramboll



Quelle: Ramboll

Meldorf – Luftbilder



Quelle: Ramboll



Quelle: Ramboll

Vorstatik Hechingen (10/2024)

R. Herrmann (Mauthe): Windsog-Nachweis nach DIN EN 1991-1-4, vor Baubeginn geprüft – damit sich Meldorf nicht wiederholt.

Sicherung Abdeckung **1–2 Sandsäcke/m² + BigBags**

Verankerungsgraben **~1 m tief, 3 m breit, Kies**

Ankerkraft **15,9 kN/m > 5,6 kN/m Windlast**

Konsequent umgesetzt: alle drei Nachweise liegen vor der Bauausführung vollständig vor



Meldorf: schwimmende Abdeckung, mit Sandsäcken beschwert

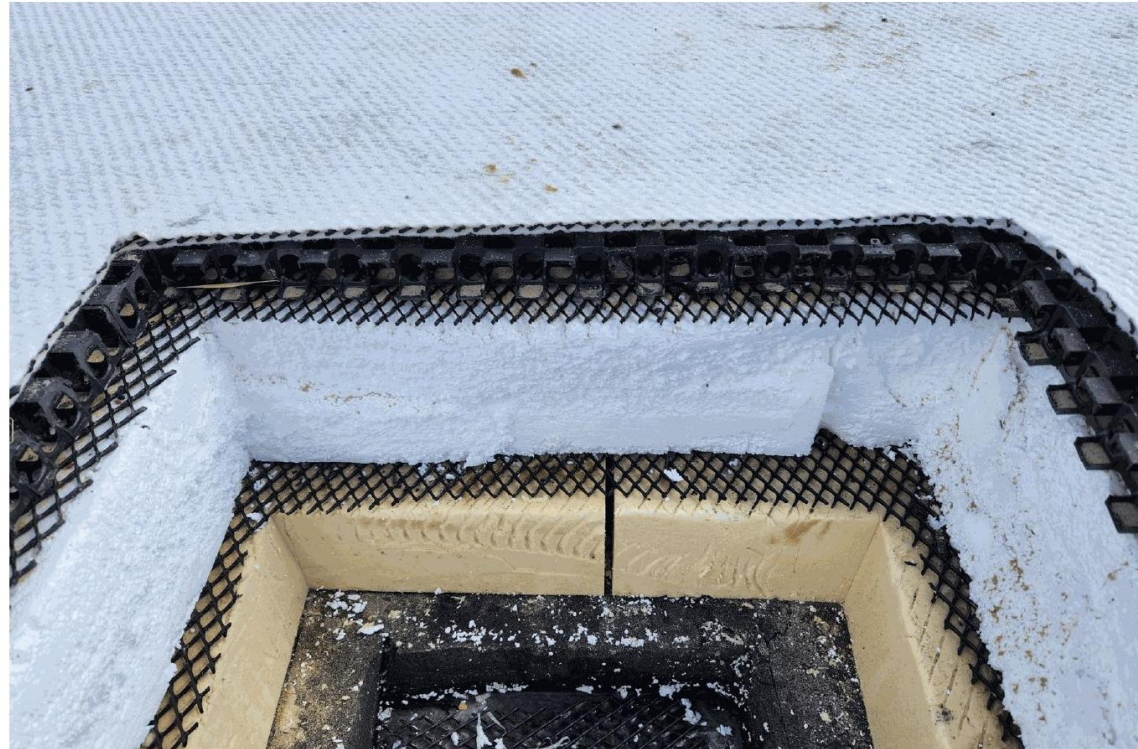
▲ Sturmschaden Meldorf

Auskunft Herr DeFries, 09/2026: kurz vor Fertigstellung riss ein Sturm die Abdeckung herunter; Speicher bislang nicht vollgeladen.

Speicher aktuell dicht und funktionsfähig.

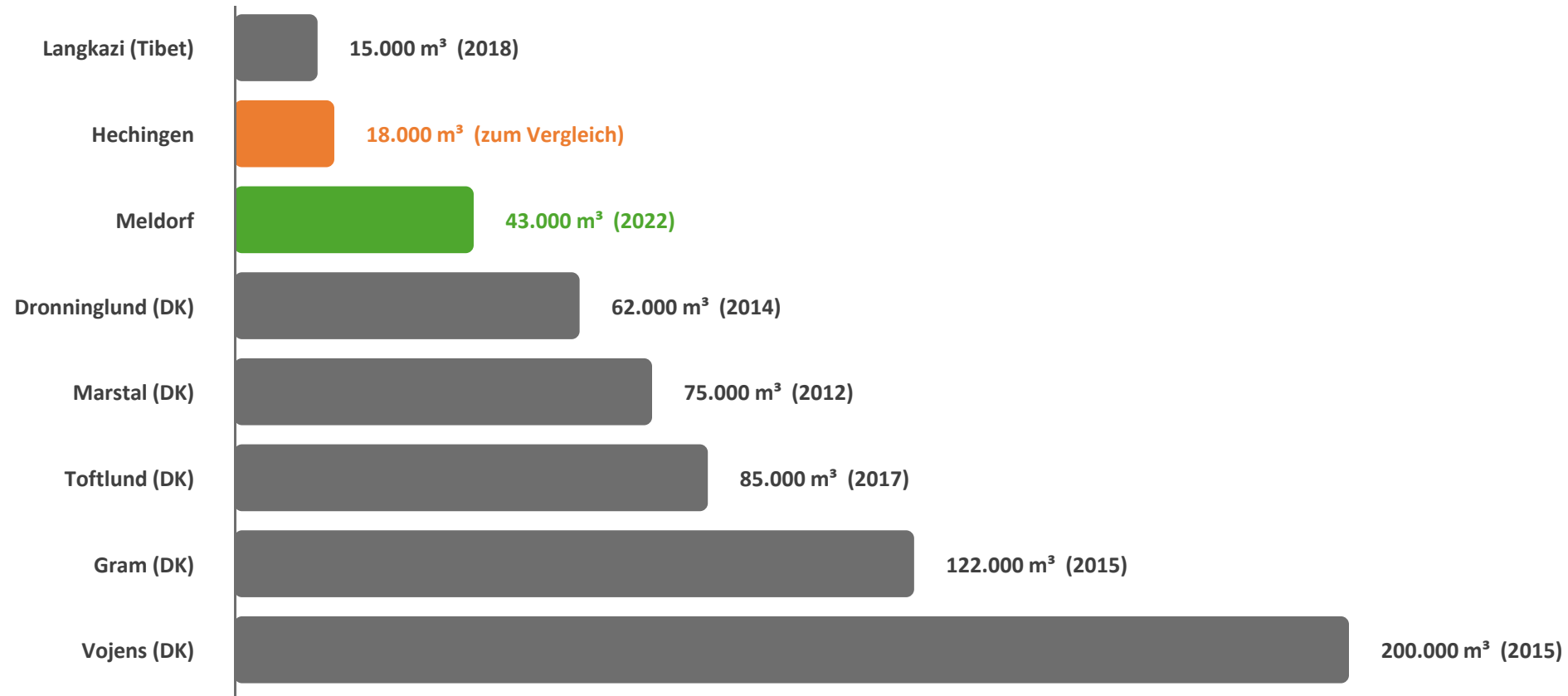
▲ Wichtiger Hinweis: Nach unseren Erkenntnissen gibt es aktuell keine gebaute schwimmende Abdeckung, die über Jahre hinweg ohne Funktionseinbußen funktioniert hat.

Meldorf – Aufbau der schwimmenden Abdeckung



Quelle: Mauthe GmbH

Referenzprojekte im Größenvergleich



Tendenz: Die dänischen Bestandsanlagen liegen deutlich über der Meldorfer und der Hechinger Größenordnung – Skaleneffekte sprechen für größere Speichervolumen.

Hechingen und Meldorf starten beide im kleineren, kommunalen Maßstab – Kernfrage bleibt in beiden Fällen die Vermarktung ausreichender Wärmeabnehmer, nicht die Speichertechnik selbst.

Historie und Zeitplan



Kosten

Gesamtinvestition für die Wärmeversorgung 17,6 Mio

Aufgeteilt:

- | | |
|--------------------------|----------|
| • Folie und Einbauten | 2,5 Mio |
| • Solarthermie | 4,0 Mio |
| • 2 Technikgebäude, Netz | 11,1 Mio |

Baustellenvideo: Randbereich der Beckenabdeckung



Meldorf, 10.08.2023 · Quelle: Mauthe GmbH

Baustellenvideo: Folieneinbau auf der Böschung



Meldorf, 10.08.2023 · Quelle: Mauthe GmbH



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!