# Aquifere Mitteldeutschlands
# Potentiale saisonaler Speicher

Marcus Meisel, Dipl.-Geol.

JENA-GEOS®-Ingenieurbüro GmbH

# JENA-GEOS®

forschen beraten ausführen
untersuchen planen

- Unabhängiges, eigenständiges Ingenieurbüro
- Gründung 1990 und Fortführung der Vorgängerorganisation mit 80-jähriger Tradition
- komplexe geowissenschaftliche Forschungs- und Consultingleistungen

Boden | Geotechnik | Bauplanung | Umwelt | Erschließung | Geologie | Lagerstätten | Geothermie | Stadt & Energie

JENA GEOS® Ingenieurbüro GmbH

# JENA-GEOS®

## Boden

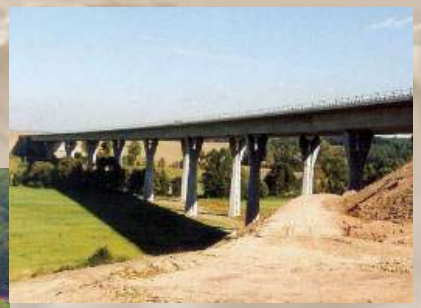
### Bodengeologie & Landnutzungsplanung

- Kartierung und Bewertung/Diagnostik nach nationalen und internationalen Standards
- Analyse und Bewertung von Naturraumpotenzialen zur nachhaltigen Landnutzung/Landnutzbarkeitsbewertung nach FAO-Standards
- Bodenschutz und Bodennutzungskonzepte, Bewertung Landdegradation und Klimafolgen
- Sanierung und Rekultivierung von Bergbaufolgelandschaften
- Landschaftspflegerische Begleitplanung / Umweltverträglichkeitsuntersuchungen / Umweltbaubegleitung

# JENA-GEOS®

## Geotechnik - Ingenieurgeologie

- Baugrundgutachten und Bodengutachten, geotechnische Erkundung, Baugrundbeurteilung, Gründungsberatung, geotechnische Baubegleitung für Tunnel, Talsperren, Brücken, Verkehrs- und Leitungstrassen, Industrie-, Gewerbe- und Wohnbauten
- Standsicherheitsnachweise für Böschungen, Halden, Kippensysteme
- Planung und Überwachung von Fels- und Böschungssanierungen
- Ingenieurgeologische Kartierung
- Bergschadenkundliche Untersuchungen



# JENA-GEOS®

## Bauplanung

### Bauüberwachung - Projektcontrolling

- Deponiebau und -sanierung (Basis-, Oberflächenabdichtung, Rekultivierung, Wasserhaushalt, Sicker-, Oberflächenwasser-fassung, -ableitung, Infrastruktur)
- bautechnische Altlastensanierung (Abdichtung, Einkapselung, Auskofferung, Stabilisierung, Inertisierung)
- umweltgeotechnische Baumaßnahmen (Fels-, Hang-, Gelände-sicherung, Stützmauern, Unterfangungen, Dämme)
- Gebietsniederschlagsmanagement (Norm-, Extremniederschlag, Wasserfassung, -verteilung, -versickerung, -ableitung)

# JENA-GEOS®

## Erschließung

### Rückbau - Brachflächenrevitalisierung - Kampfmittelbeseitigung

- Rückbau-, Tiefenenttrümmerungs- und Erschließungsplanung und -begleitung
- Untersuchung sowie Planungs- und Projektmanagement für schadstoffbelastete Areale
- Umweltberatung, Abfallmanagement, Deklarationsunter-suchungen, SiGeKo
- Kriegsschadensrecherche, Kampfmittelfreisuche, Militär- und Rüstungsaltlasten sowie Luftbildrecherche

JENA GEOS Ingenieurbüro GmbH

# JENA-GEOS®

## Umwelt

### Altlasten - Umweltschäden

- Historische Erkundung
- Gefährdungsabschätzung
- Sanierungsuntersuchung
- Sanierungsplanung
- Komplexe Sanierungsvorhaben
- Großflächige Bodenkontaminationen
- Environmental Due Diligence

# JENA-GEOS®

## Geologie

### Geologisch-hydrogeologische Erkundung

- Untersuchung, Bewertung und Sanierung von Grundwasserschäden
- geologische Forschung, Kartierung und Erkundung von geogenen Potenzialen
- strukturgeologische, hydrodynamische, hydrochemische Modelle
- Prognosen zum natürlichen Schadstoffabbau
- umwelt-, berg- und wasserrechtliche Risikobewertung
- Planung und Controlling von Messnetzen für Grund- und Oberflächenwässer

JENA GEOS Ingenieurbüro GmbH

# JENA-GEOS®

## Lagerstätten

- 50 Jahre Prospektionserfahrung im In- und Ausland
- Kenntnisstandsanalysen, Höffigkeitseinschätzungen, Untersuchungskonzeptionen
- Suche, Erkundung, Modellierung und Vorratsberechnungen von Lagerstätten
- Bergrechtliche Genehmigungs- und Bewilligungsverfahren
- Umweltverträglichkeitsuntersuchungen, Planfeststellungsverfahren, Wertermittlungen

# JENA-GEOS®

## Geothermie

### Forschung – Prospektion - Planung

- Bewertungsalgorithmen zur Standorteffizienz von Geothermieanlagen
- Standortprognose und Rentabilitätsberechnung
- Machbarkeitsstudien für geothermische Kraftwerke
- Recherche- und Explorationsarbeiten
- Planung und Projektmanagement
- Forschung und Entwicklung
- Fachtechnische Begleitung

JENA GEOS® Ingenieurbüro GmbH

# JENA-GEOS®

## Stadt + Energie

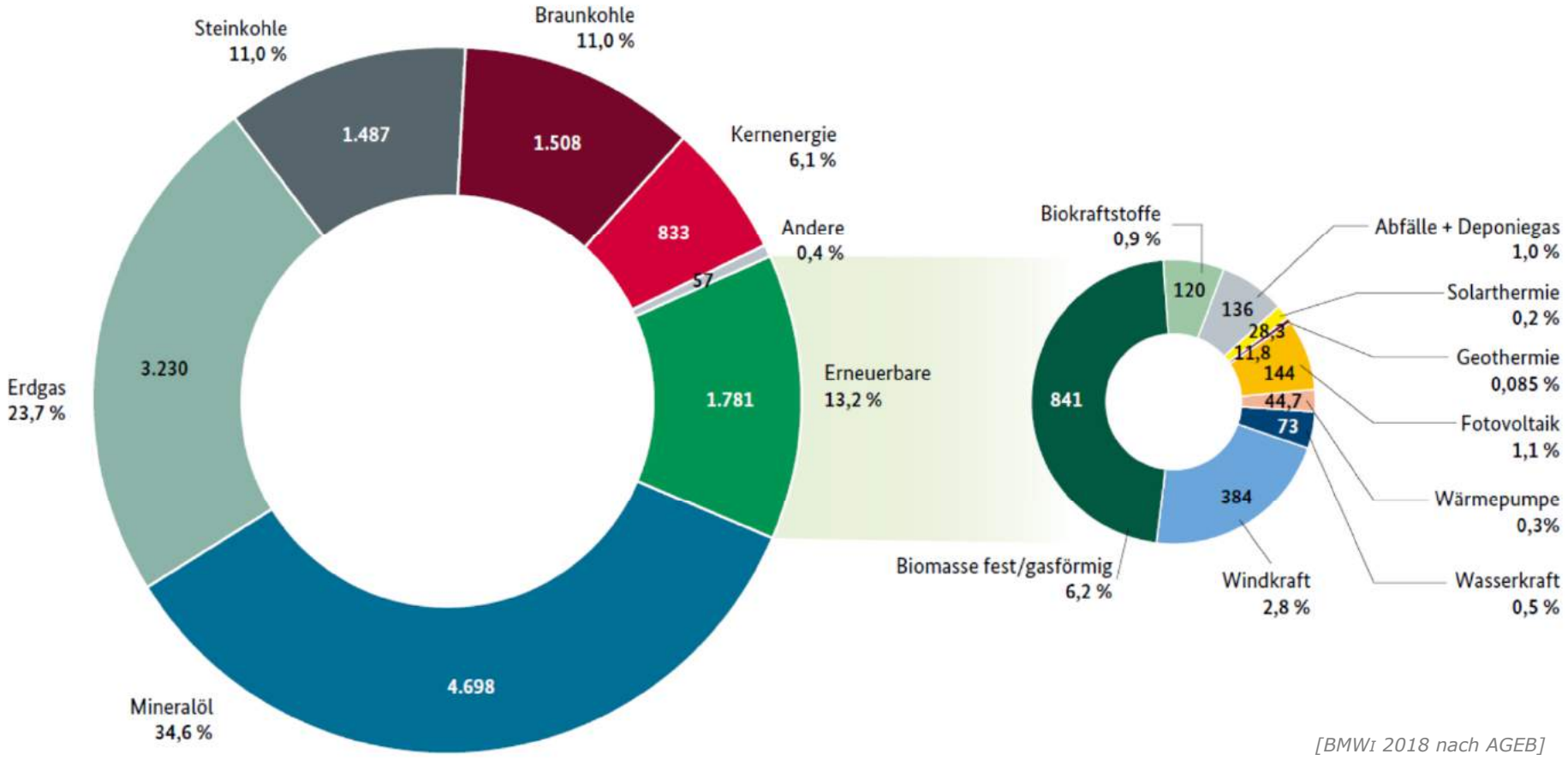
### Konzepte – Studie – Forschung - Begutachtung

- Environmental Engineering, auch in Verbindung mit energetischen Themen, bzw. Environmental Due Diligence
- integrierte Quartierskonzepte
- Potenzialermittlungen Erneuerbarer Energien
- Integration von Geoenergie in Investitionsprojekte
- Energiebedarfsanalysen, Klimaschutzprojekte
- überschlägige Lärmimmissionsprognosen
- Projektmanagement, Projektverwaltung und -präsentation

JENA GEOS® Ingenieurbüro GmbH

# Energiewende

## Primärenergieverbrauch in Deutschland 2017

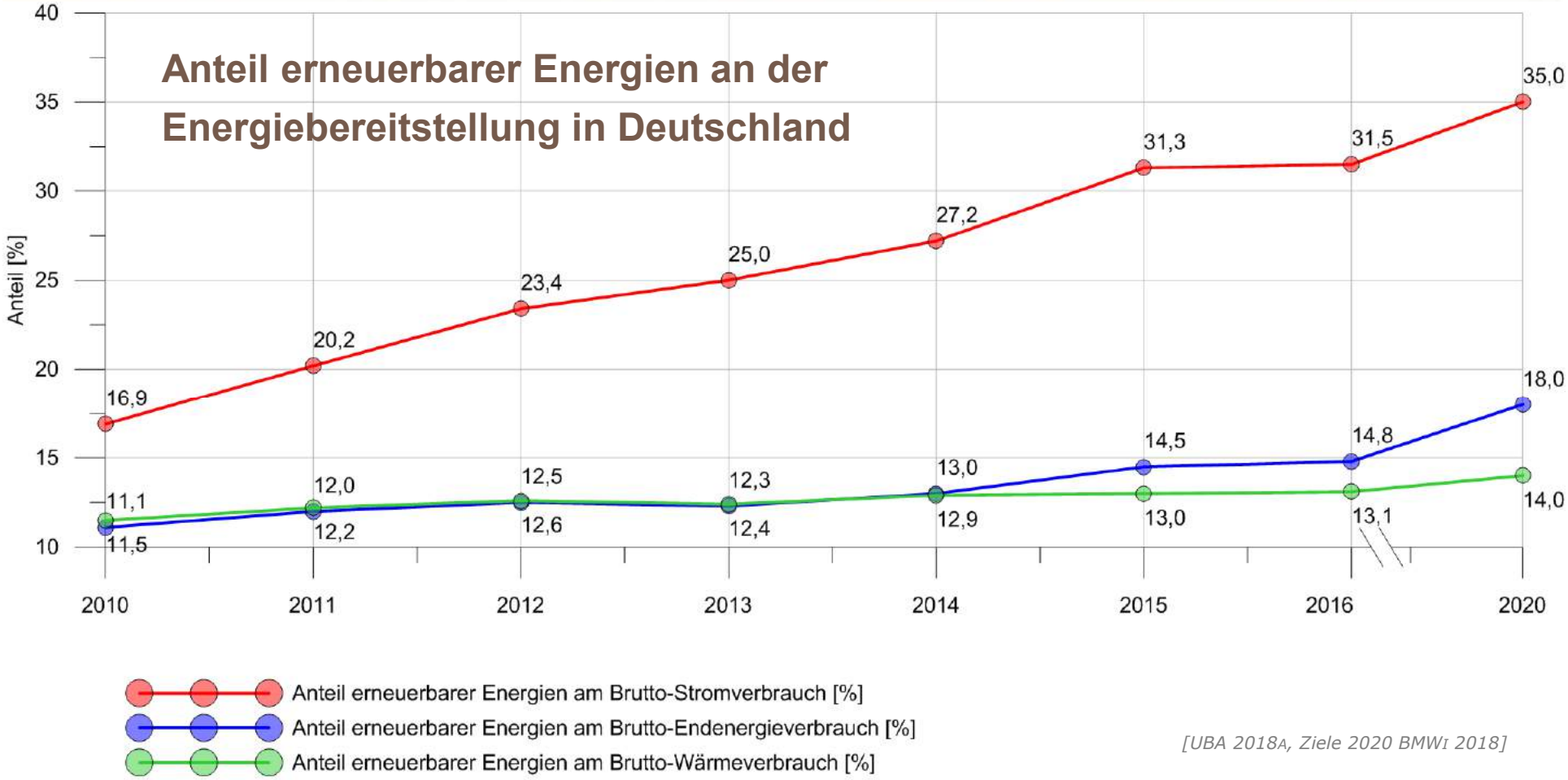



*[BMWI 2018 nach AGEB]*



JENA GEOS Ingenieurbüro GmbH

# Energiewende – Stromwende?




*[UBA 2018A, Ziele 2020 BMWI 2018]*

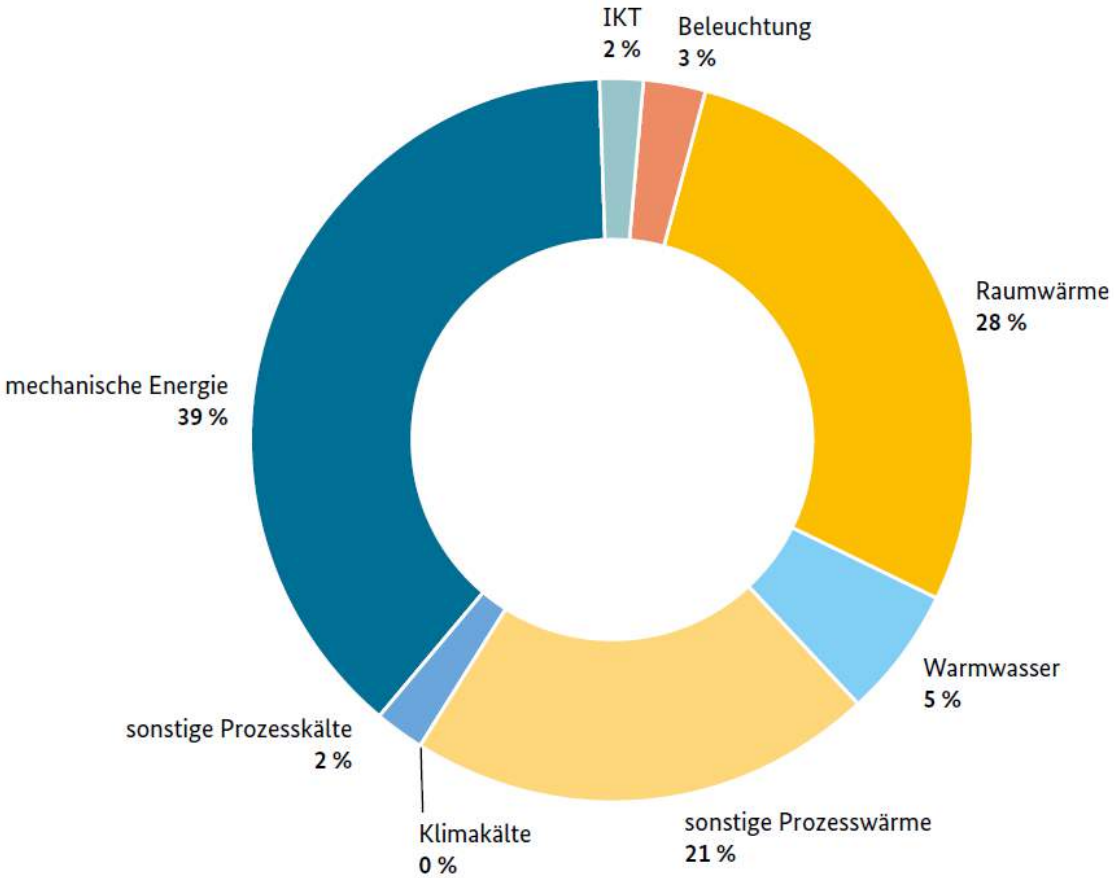


JENA GEOS Ingenieurbüro GmbH

# Energiewende – Wärmewende!

## Energieverbrauch nach Anwendungsbereichen in Deutschland 2016

- Verstärkte Nutzung erneuerbarer Energien zur Wärmebereitstellung
  - Dezentral
  - Zentral
- Intelligente Temperaturvariable Niedertemperaturwärmenetze
- Saisonale Speicherung von überschusswärme aus (regenerativen) Energiequellen




Quelle: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (AGEB)

*[BMWI 2018 nach AGEB]*

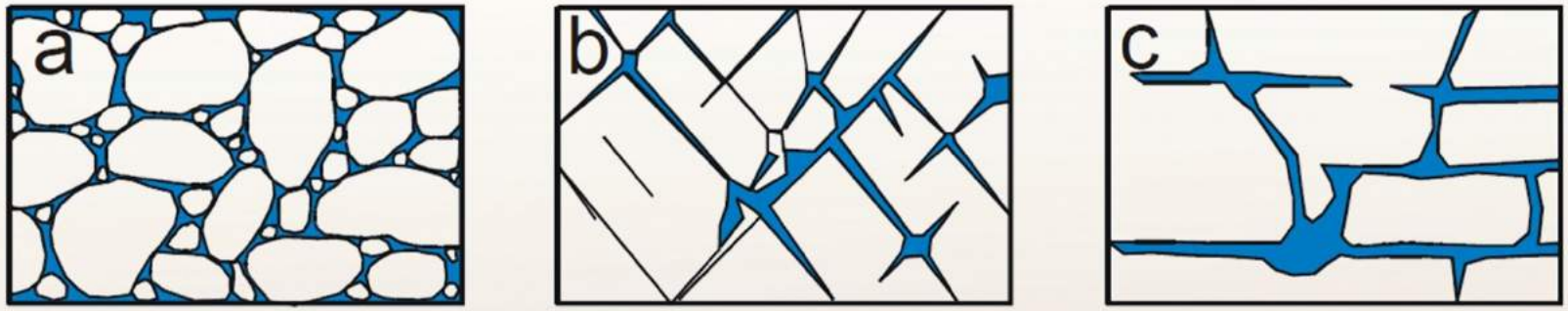


JENA GEOS Ingenieurbüro GmbH

# Hydrogeologische Grundlagen

## Arten von Hohlräumen im Gestein

a) Poren, b) Klüfte, c) Verkarstung




[nach HURTER & HOLL 2002].

## Aquifer vs. Grundwasserleiter

Aquifer

- ausreichend durchlässiges Material um ein signifikantes Wasservolumen abzugeben
- inkl. der Wasser ungesättigten („trockenen“) Zone

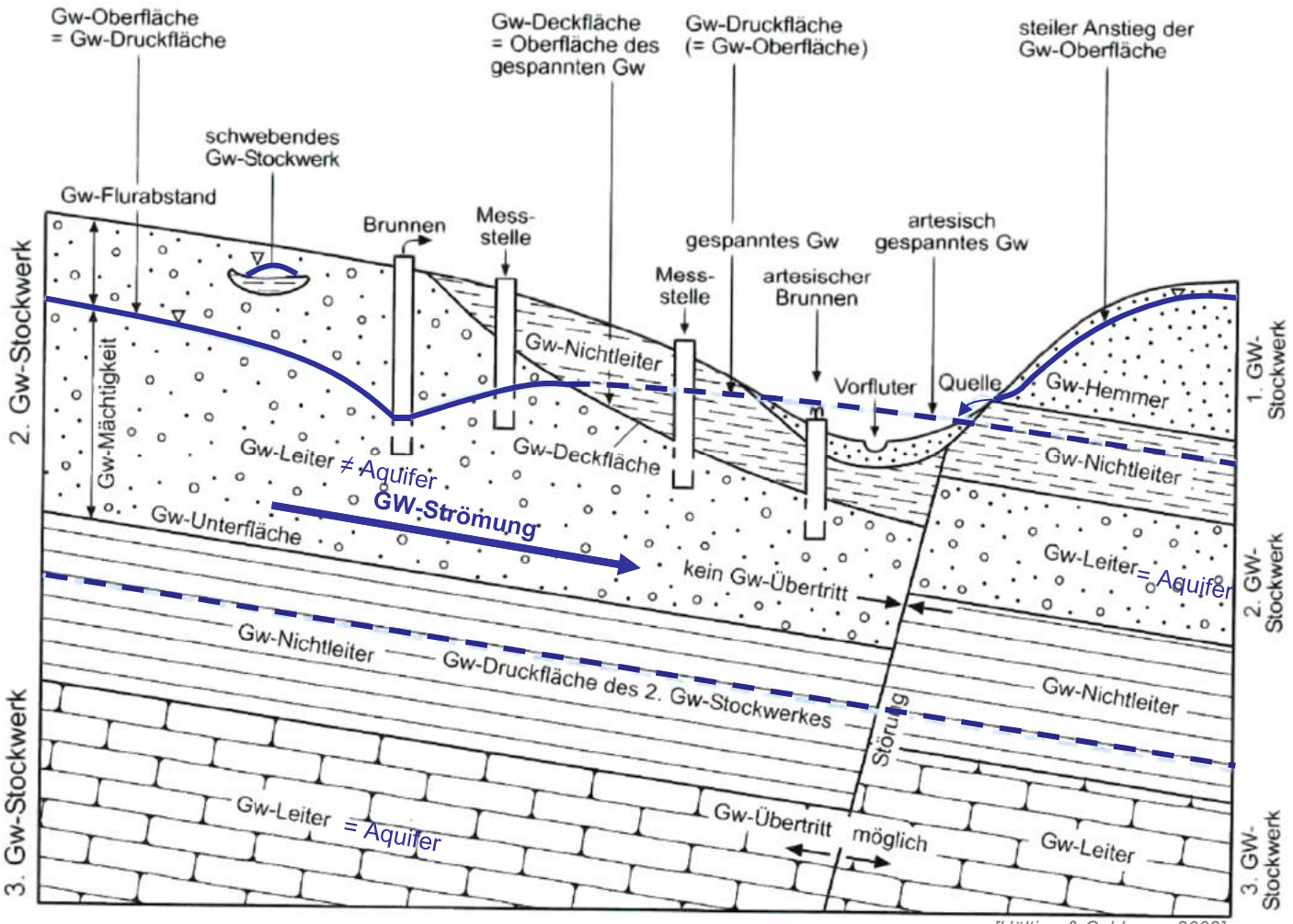
Grundwasserleiter

- ausreichend durchlässiges Material um ein signifikantes Wasservolumen abzugeben
- nur das Wasser der gesättigten Zone



JENA GEOS Ingenieurbüro GmbH

# Hydrogeologische Grundlagen

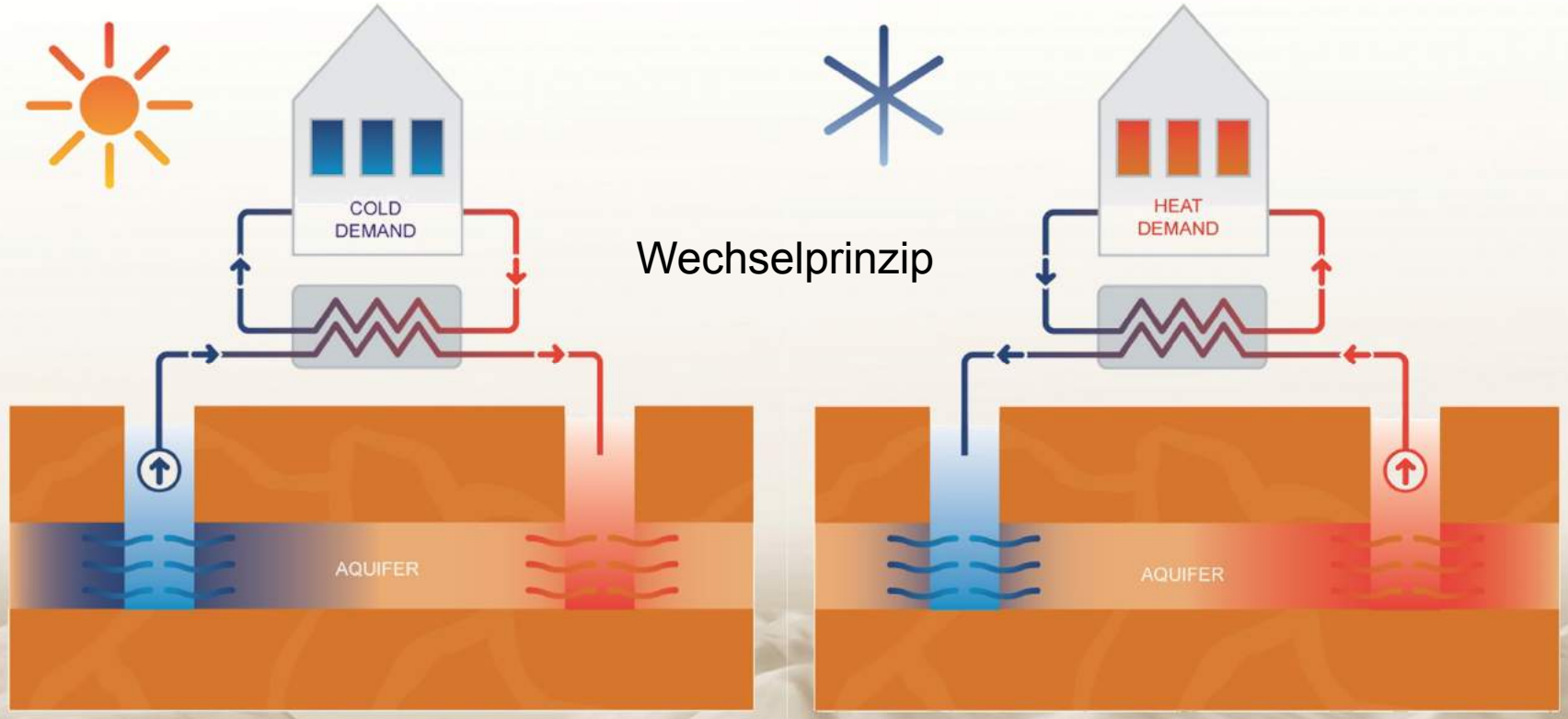



[Hölting & Coldewey 2009].



JENA GEOS Ingenieurbüro GmbH

# Saisonale geogene Aquiferspeicher




[IF Technology]

**Ziele**

- Zeit zwischen Angebot und Nachfrage nach thermischer Energie zu überbrücken
- Ausgleich des Unterschieds der thermischen Leistung zwischen Erzeuger und Verbraucher
- Energieeinsparung, wobei die Menge der gespeicherten Energie wichtiger als die Leistung (Beladen / Entladen) ist



JENA GEOS Ingenieurbüro GmbH

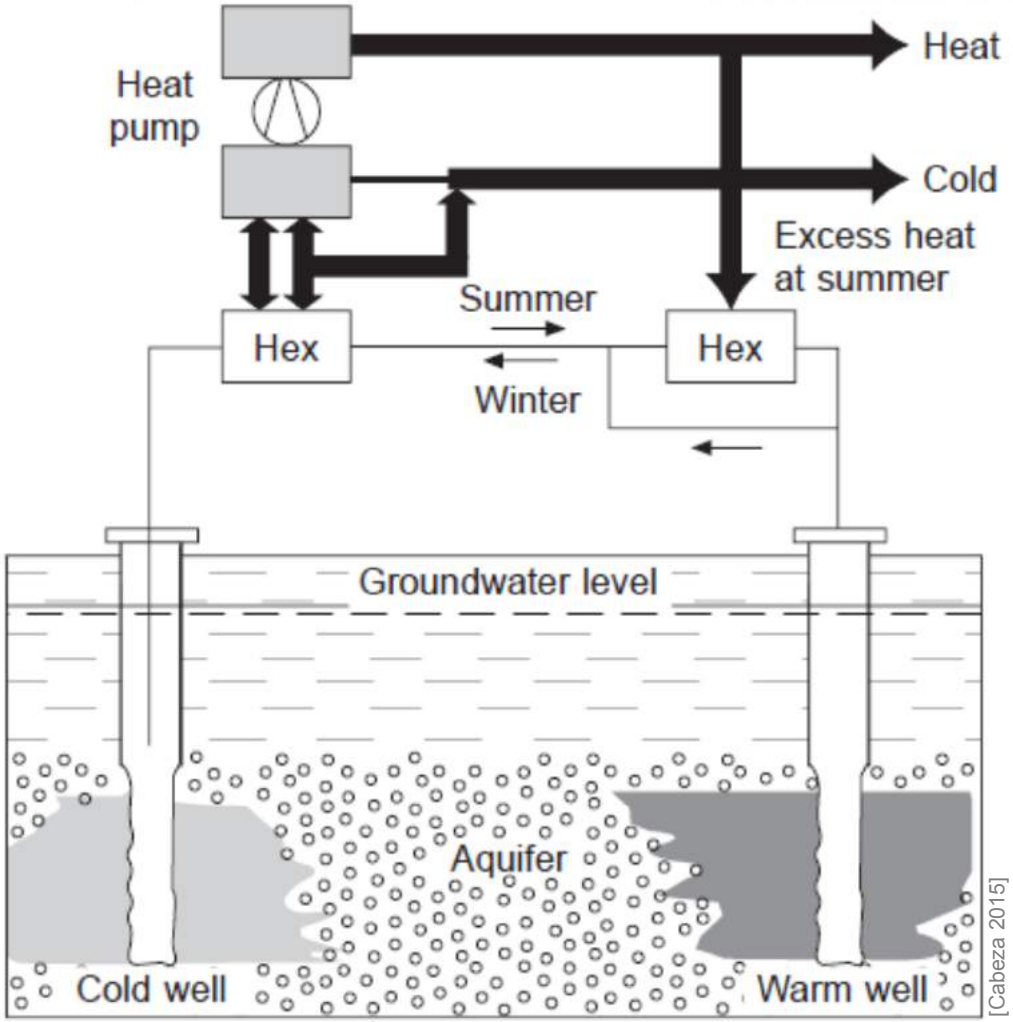
# Saisonale geogene Aquiferspeicher

## Mögliche Wärmequellen

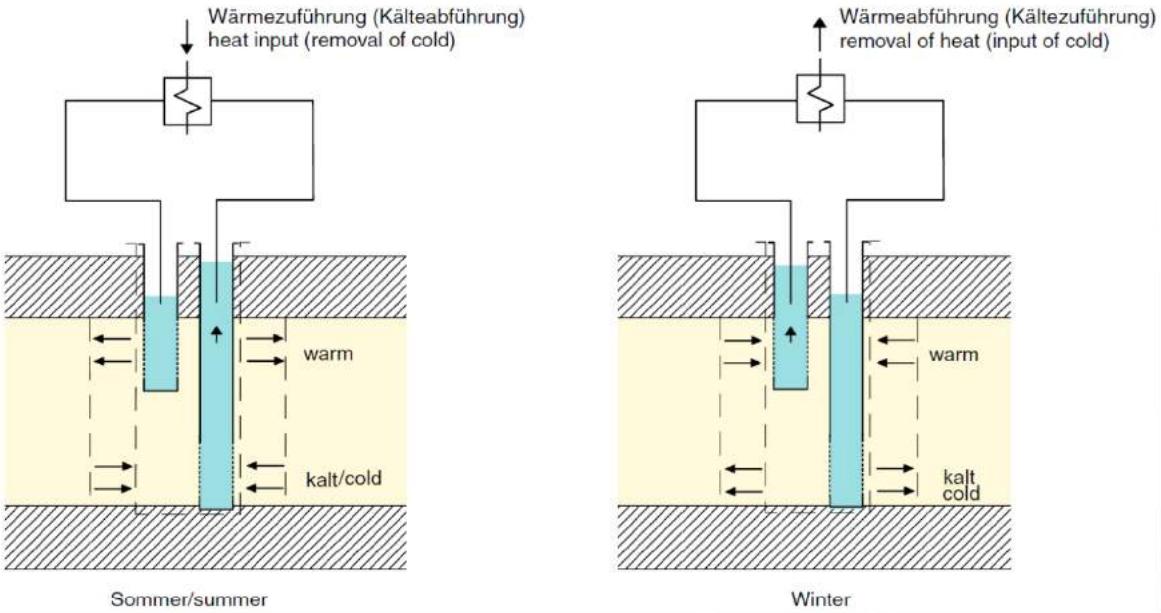
- Industrielle Rest- bzw. Abwärme
- Überschusswärme aus erneuerbaren Energien
- Ab- bzw. Überschusswärme aus fossiler Energieerzeugung

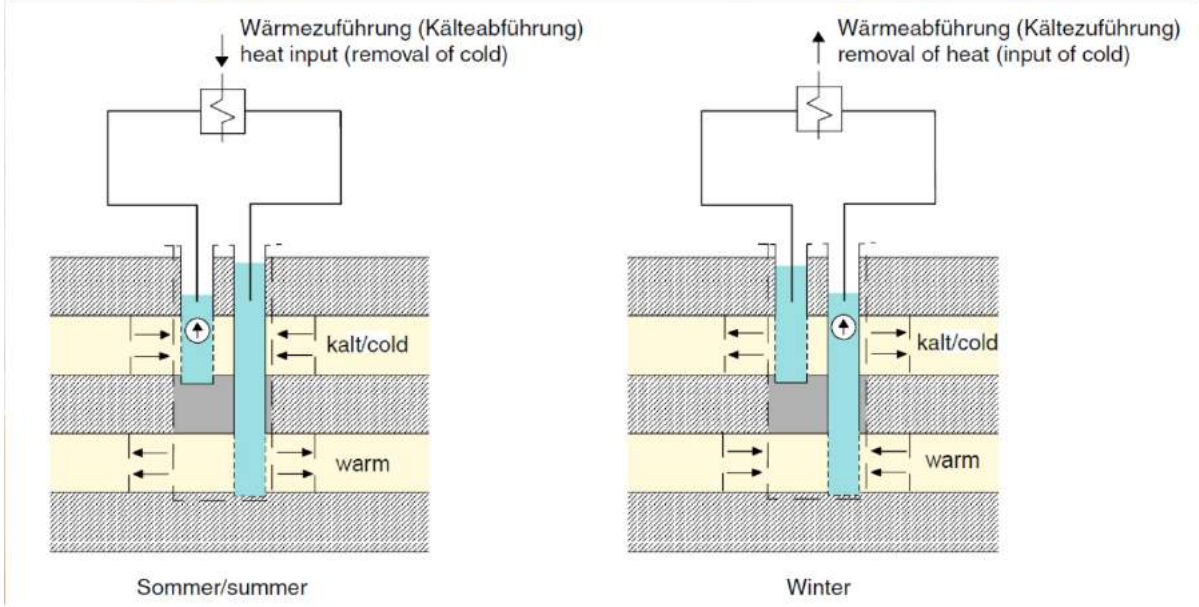
## Temperaturniveaus

- 15 - 30 ºC
  LT-ATES (Low Temperature ATES)
- 30 - 60 ºC
  MT-ATES (Medium Temperature ATES)
- 60 - 90 ºC
  HT-ATES (High Temperature ATES)



# Saisonale geogene Aquiferspeicher




## natürliche Standortvoraussetzungen

- Nutzung eines mächtigen Aquifers
- Nutzung zweier übereinander liegender Aquifere

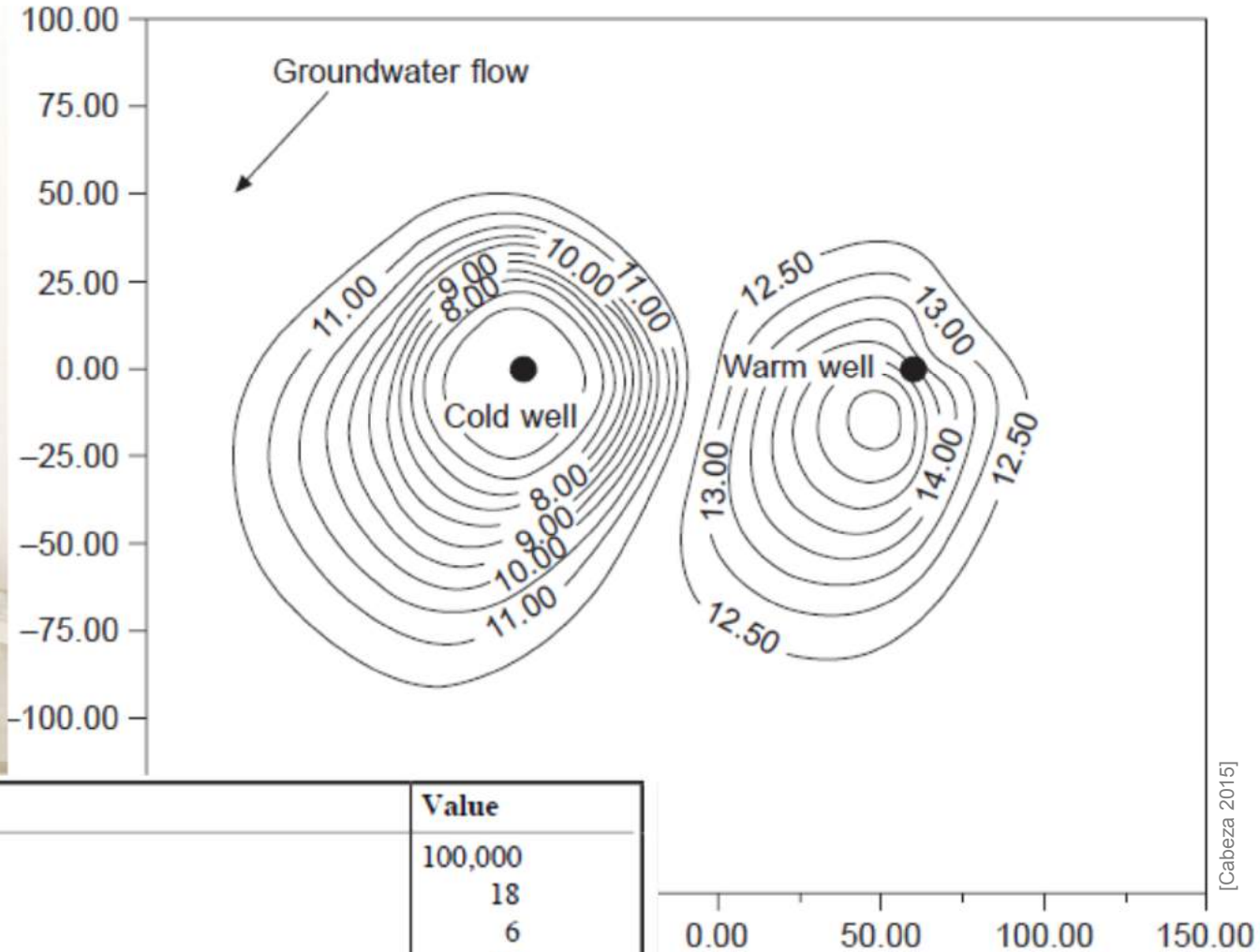
JENA GEOS Ingenieurbüro GmbH

# Saisonale geogene Aquiferspeicher

## Temperaturverteilung

Anlagendesign abhängig von:

- Verfügbaren Aquifer
- Energiemenge
- Anzahl der Bohrungen
- Anordnung der Bohrungen untereinander und zur Grundwasserströmung
- Filterlänge und Tiefe




[Cabeza 2015]

| Parameter | Value |
|---|---|
| Storage volume per season [m$^3$] | 100,000 |
| Injection temperature in summer [°C] | 18 |
| Injection temperature in winter [°C] | 6 |
| Natural groundwater temperature [°C] | 12 |
| Aquifer thickness [m] | 30 |
| Regional groundwater flow velocity [m/year] | 30 |
| Distance between warm and cold well [m] | 120 |
| Angle between regional flow and line connecting wells [degrees] | 45 |

JENA GEOS Ingenieurbüro GmbH

# Saisonale geogene Aquiferspeicher

## Beispiel Eindhoven – University of Technology

- Unterschiedliche thermodynamische Modellierungen
- Minimierung der hydraulischen bzw. thermischen Auswirkungen

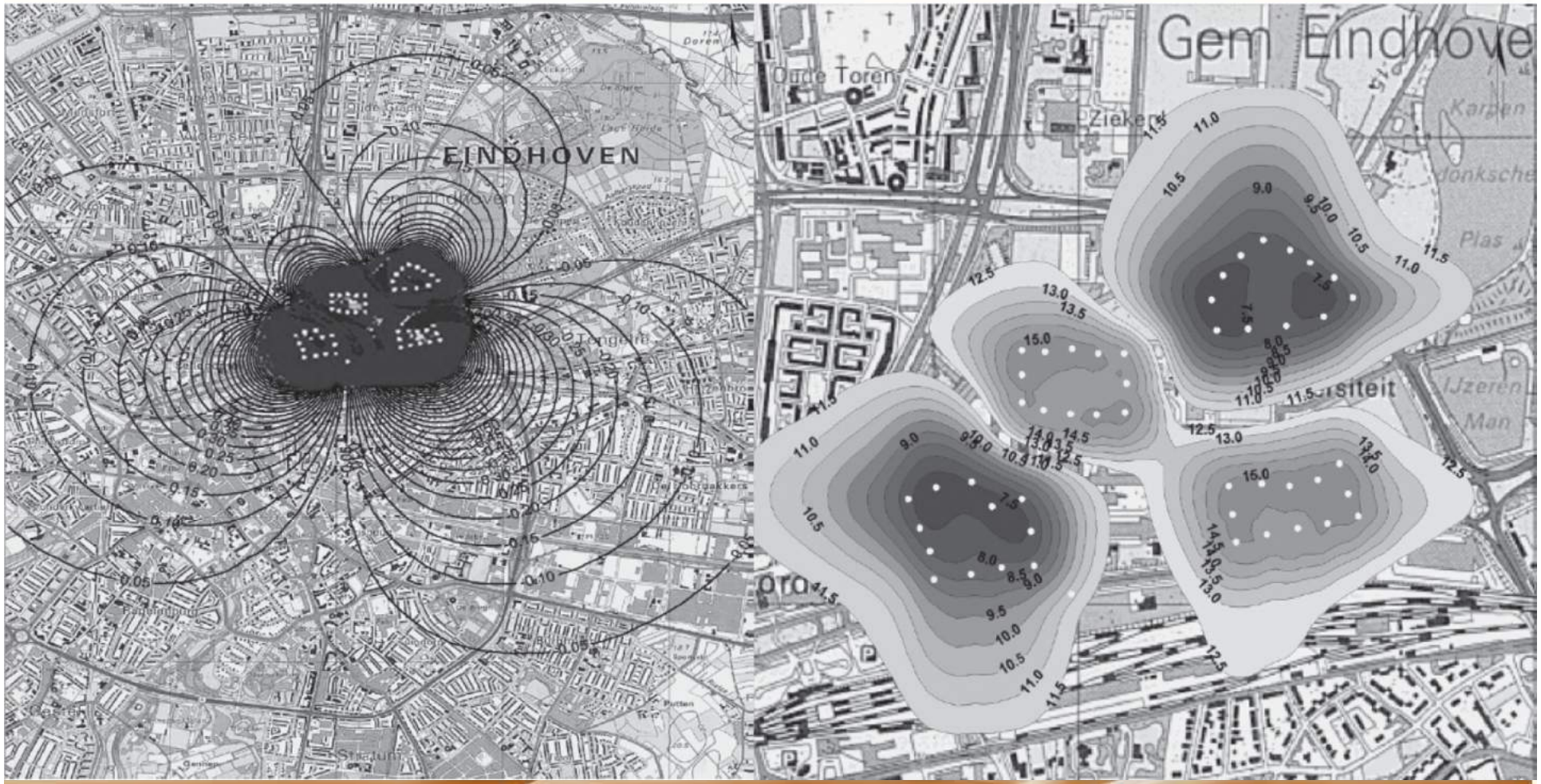
| Dimensions ATES DH&C system | | Summer (cooling) | Winter (low-temp. heating) |
|---|---|---|---|
| Capacity | $MW_t$ | 17 | 17 |
| Maximum energy delivery | $GWh_t/y$ | 25–30 | 25–30 |
| Max. amount of pumped water | $m^3/y$ | 3,000,000 | 3,500,000 |
| Maximum flow rate | $m^3/h$ | 2000 | 2000 |
| Average infiltration temperature | °C | 16 | 6 |
| **Dimensions of components** | | | |
| Number of cold wells | # | 16 | 16 |
| Number of warm wells | # | 16 | 16 |
| Number of wells per cluster | # | 5 or 6 | 5 or 6 |
| Filter screen depth (below surface) | m | between 28 and 80 | between 28 and 80 |
| Length of effective filter screen | m | 30 | 30 |
| Diameter of borehole | mm | 700 | 700 |
| Maximum flow rate per well | $m^3/h$ | 125 | 125 |
| Power consumption per well pump | $kW_e$ | 25 | 25 |
| Diameter of main field piping | mm | 450 | 450 |
| Total length of field piping | m | 1500 | 1500 |



JENA GEOS Ingenieurbüro GmbH

# Saisonale geogene Aquiferspeicher

## Beispiel Eindhoven – University of Technology






JENA GEOS Ingenieurbüro GmbH

# Saisonale geogene Aquiferspeicher

## Beispiel Eindhoven – University of Technology

JENA GEOS Ingenieurbüro GmbH

# Saisonale geogene Aquiferspeicher

## Hauptkriterien an Lockersediment-Aquifere

| Aspect | Lower limit | Typical | Upper limit |
|---|---|---|---|
| Aquifer thickness (m) | 2–5 | 25 | None (partial use) |
| Aquifer depth (mbgs) | 5 (injection pressure) | 50 | 150 (economic) |
| Aquifer permeability (m/s) | $3 \times 10^{-5}$ | $3 \times 10^{-4}$ | $1 \times 10^{-3}$ |
| Groundwater flow (m/d) | 0 | 0.1 | 0.3 |
| Static head (mbgs) | 50 | 10 | –5 |

[Cabeza 2015]

- im Bereich der Temperaturerhöhung überlagert von einer gering durchlässigen ebenen Schicht
- effektive Speichermächtigkeit sollte so bemessen sein, dass eine horizontale Temperaturschichtung weitestgehend auszuschließen ist (Ausnahme mächtige Aquifere)
- möglichst homogene Struktur des Aquifers
- für Wechselprinzip sollte die Grundwasserfließgeschwindigkeit gering sein
- genaue Kenntnis der Grundwasserströmung
- chemische Zusammensetzung darf bei Änderung von Druck und Temperatur nicht zu Beeinträchtigungen der Durchlässigkeit führen

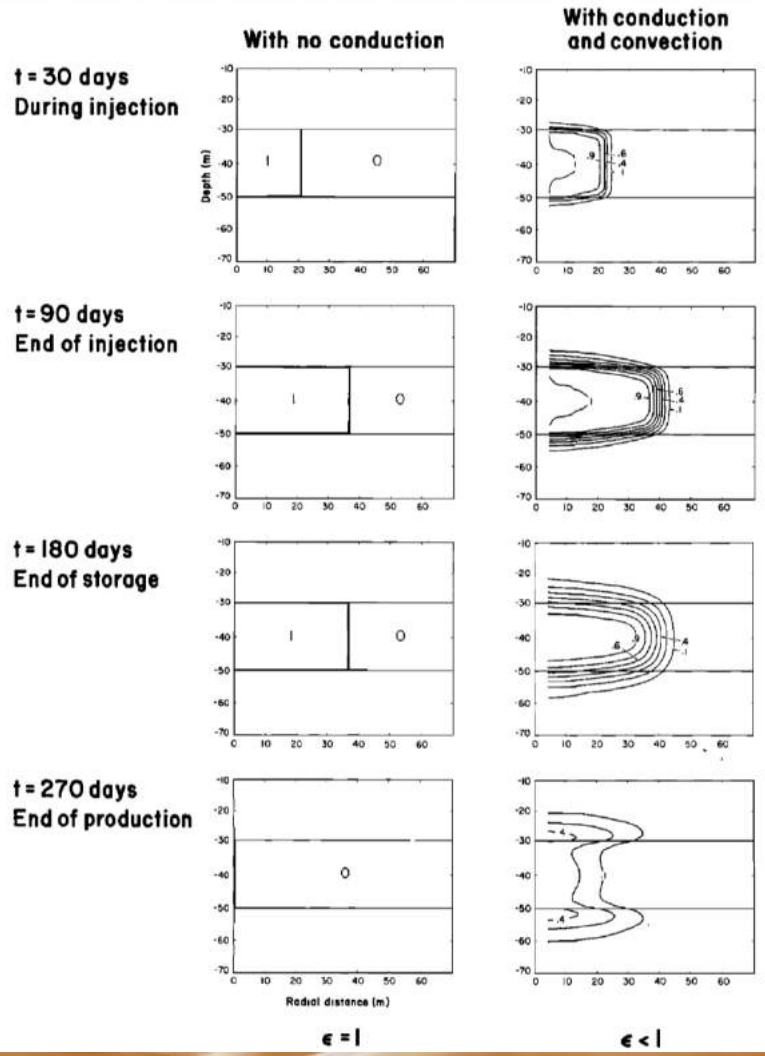
# Speichereffektivität

## Ursachen von Wärmeverlust:

- Fließen von Grundwasser
- Wärmeleitung in das umgebende Gestein
- Mischung (Dispersion und Diffusion)
- gegenseitige Beeinflussung warme und kalte Seite (thermischer Kurzschluss)
- Dichte getriebene Strömung

**Speichereffektivität für**

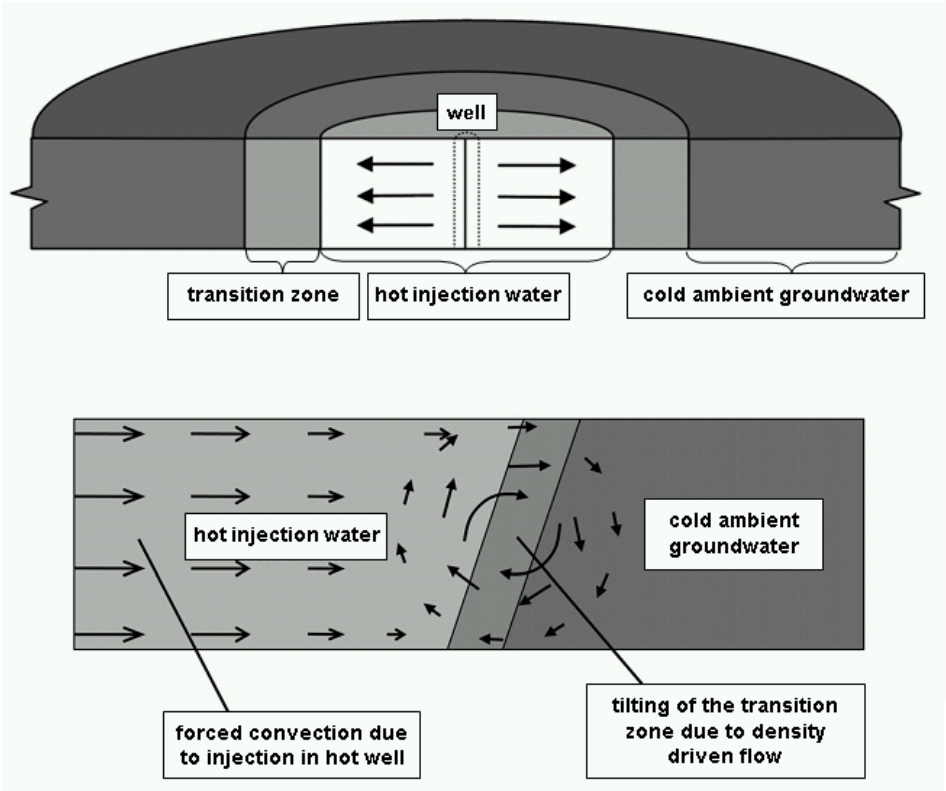
**LT-ATES ± 70-90%**

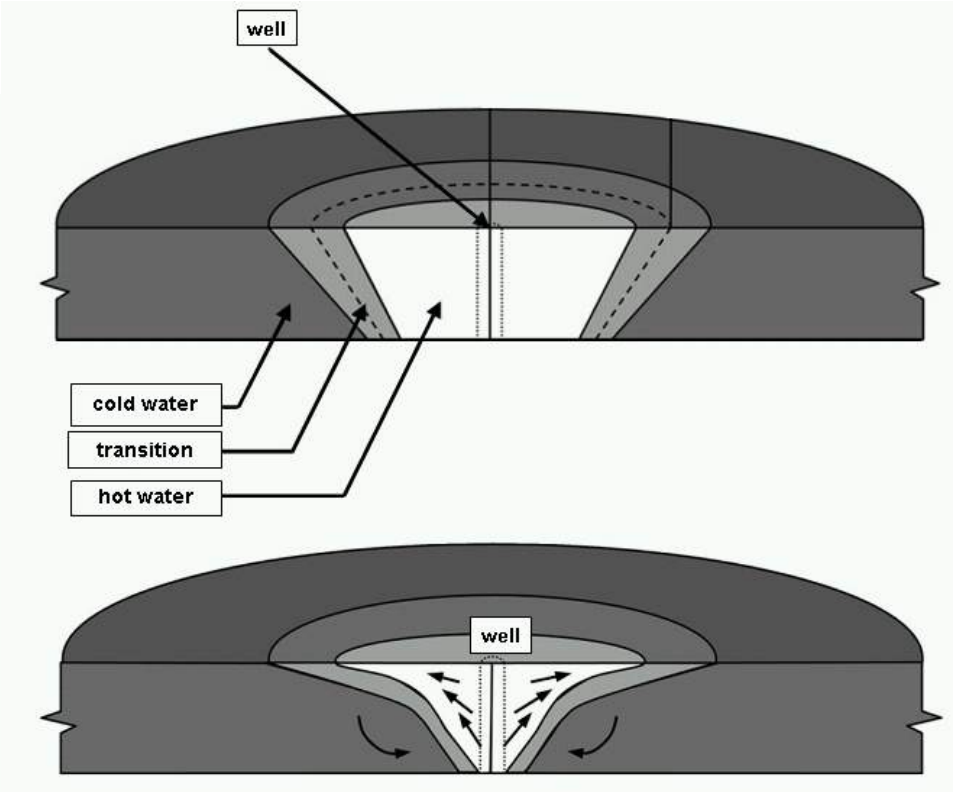



[Cabeza 2015]

# Speichereffektivität

## Dichte getriebene Strömung - Tilting



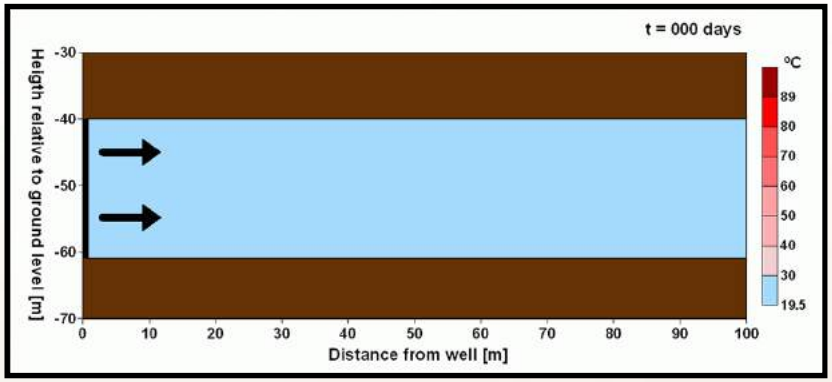




[Ward et al. 2007]

# Speichereffektivität

## Dichte getriebene Strömung

$k_h$ = 50 D
$k_v$ = 25 D



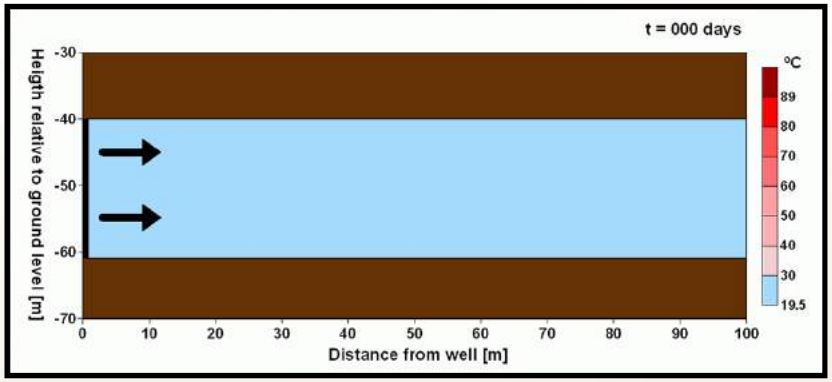



JENA GEOS Ingenieurbüro GmbH

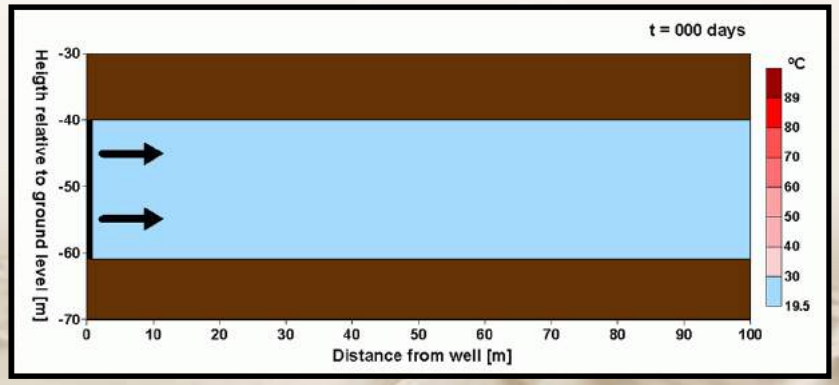
# Speichereffektivität

## Dichte getriebene Strömung

$k_h$ = 50 D
$k_v$ = 25 D




$k_h$ = 15 D
$k_v$ = 1,5 D



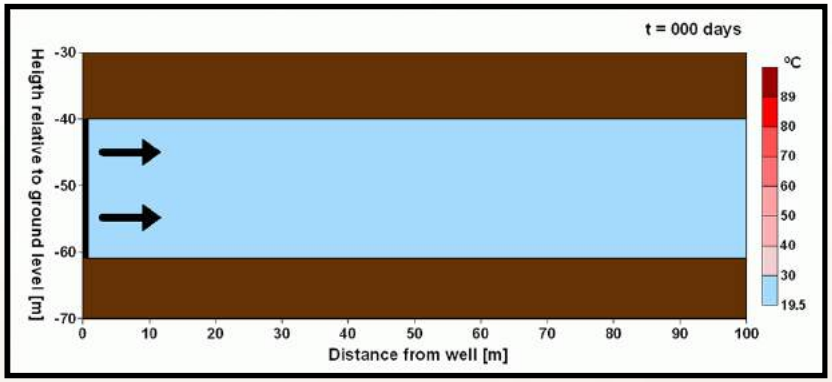



JENA GEOS Ingenieurbüro GmbH

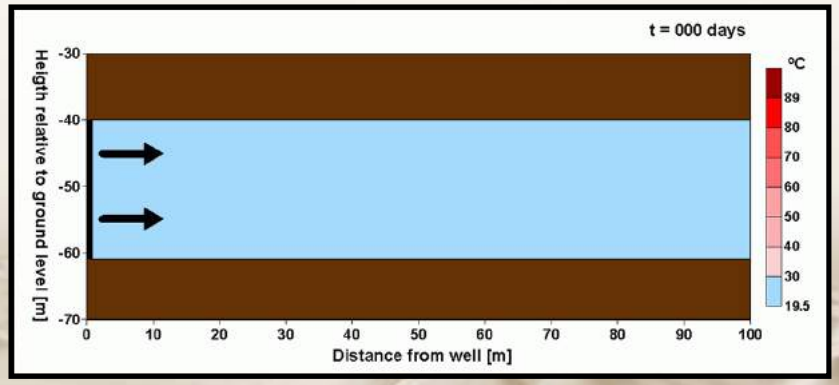
# Speichereffektivität

## Dichte getriebene Strömung

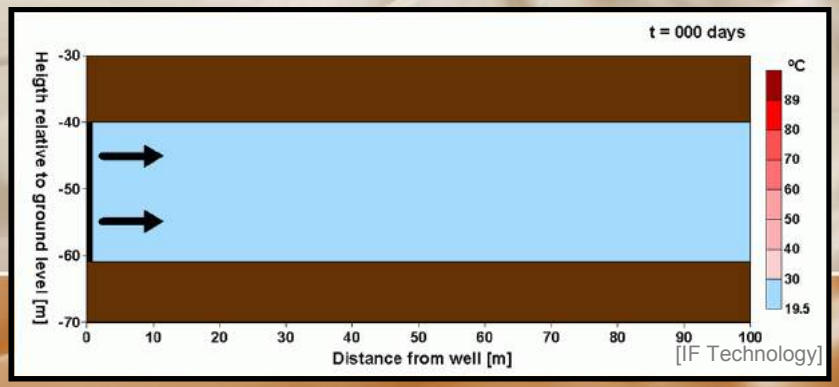
$k_h$ = 50 D
$k_v$ = 25 D




$k_h$ = 15 D
$k_v$ = 1,5 D




$k_h$ = 0,5 D
$k_v$ = 0,1 D




[IF Technology]

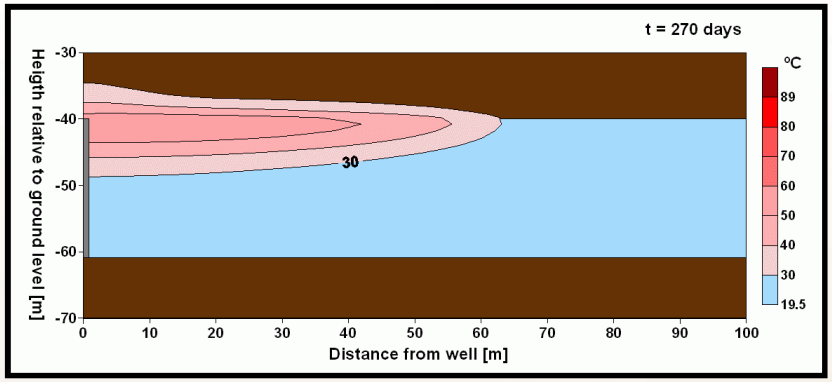


JENA GEOS Ingenieurbüro GmbH

# Speichereffektivität

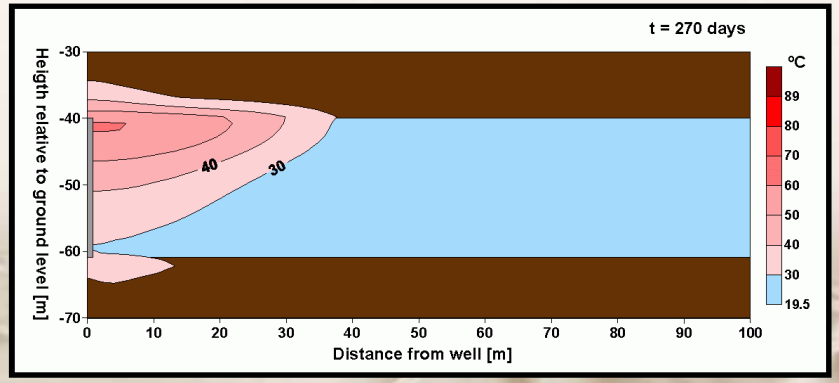
## Dichte getriebene Strömung

$k_h$ = 50 D
$k_v$ = 25 D



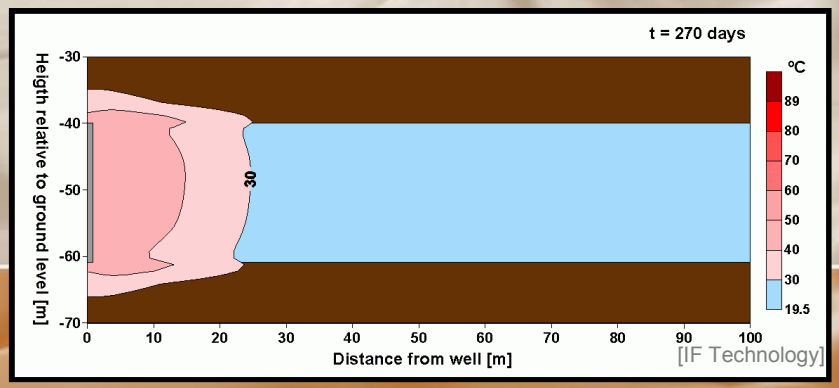

ε (year 1) = 31%
ε (year 4) = 41%

$k_h$ = 15 D
$k_v$ = 1,5 D




ε (year 1) = 57%
ε (year 4) = 64%

$k_h$ = 0,5 D
$k_v$ = 0,1 D

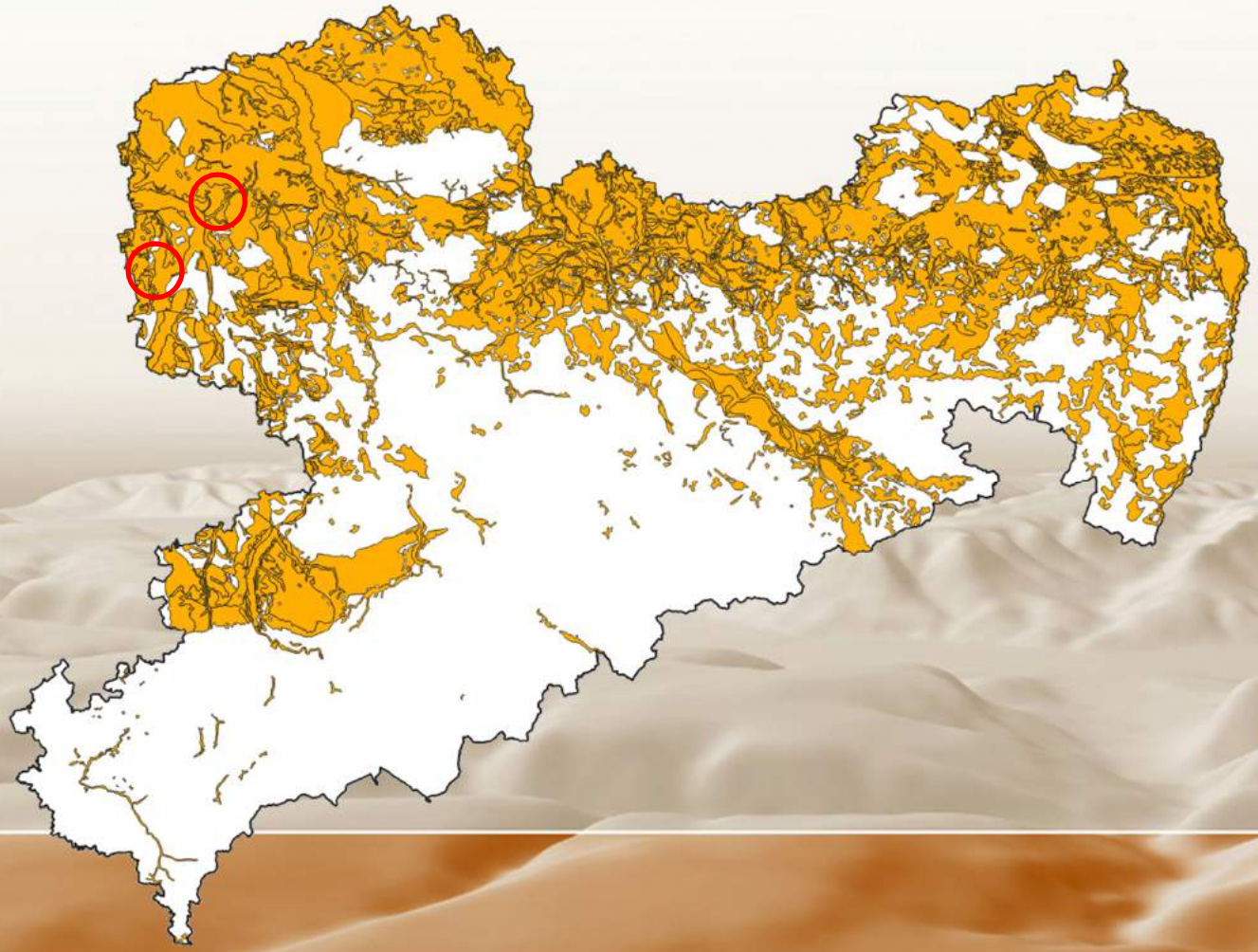



[IF Technology]

ε (year 1) = 68%
ε (year 4) = 78%

# Geologie – Beispiel Sachsen

## Lockersedimente geeigneter Durchlässigkeit

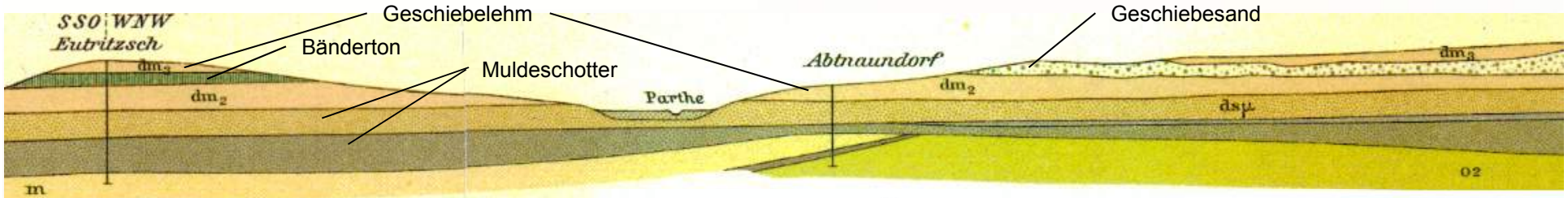


- Überwiegend flächig verbreitete quartäre und tertiäre Ablagerungen
- Potenzielle Gebiete für saisonale geogene Aquiferspeicher



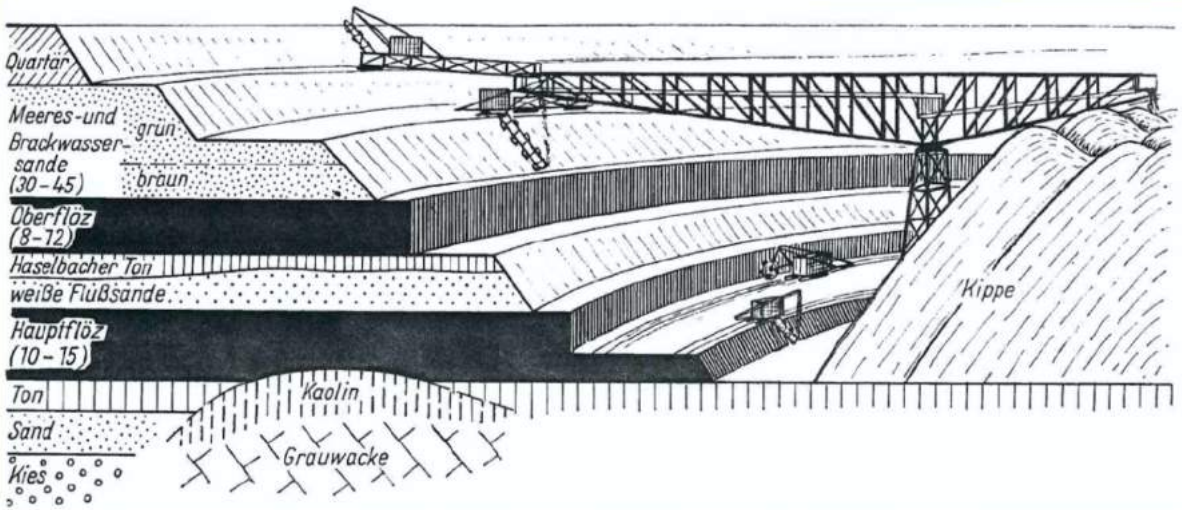
JENA GEOS Ingenieurbüro GmbH

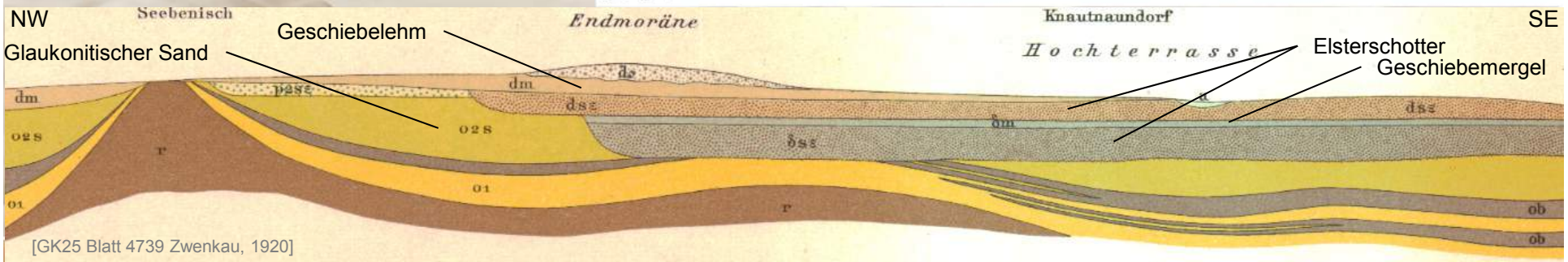
# Geologie – Beispiel Sachsen




[GK25 Blatt 4640 Leipzig, 1924]

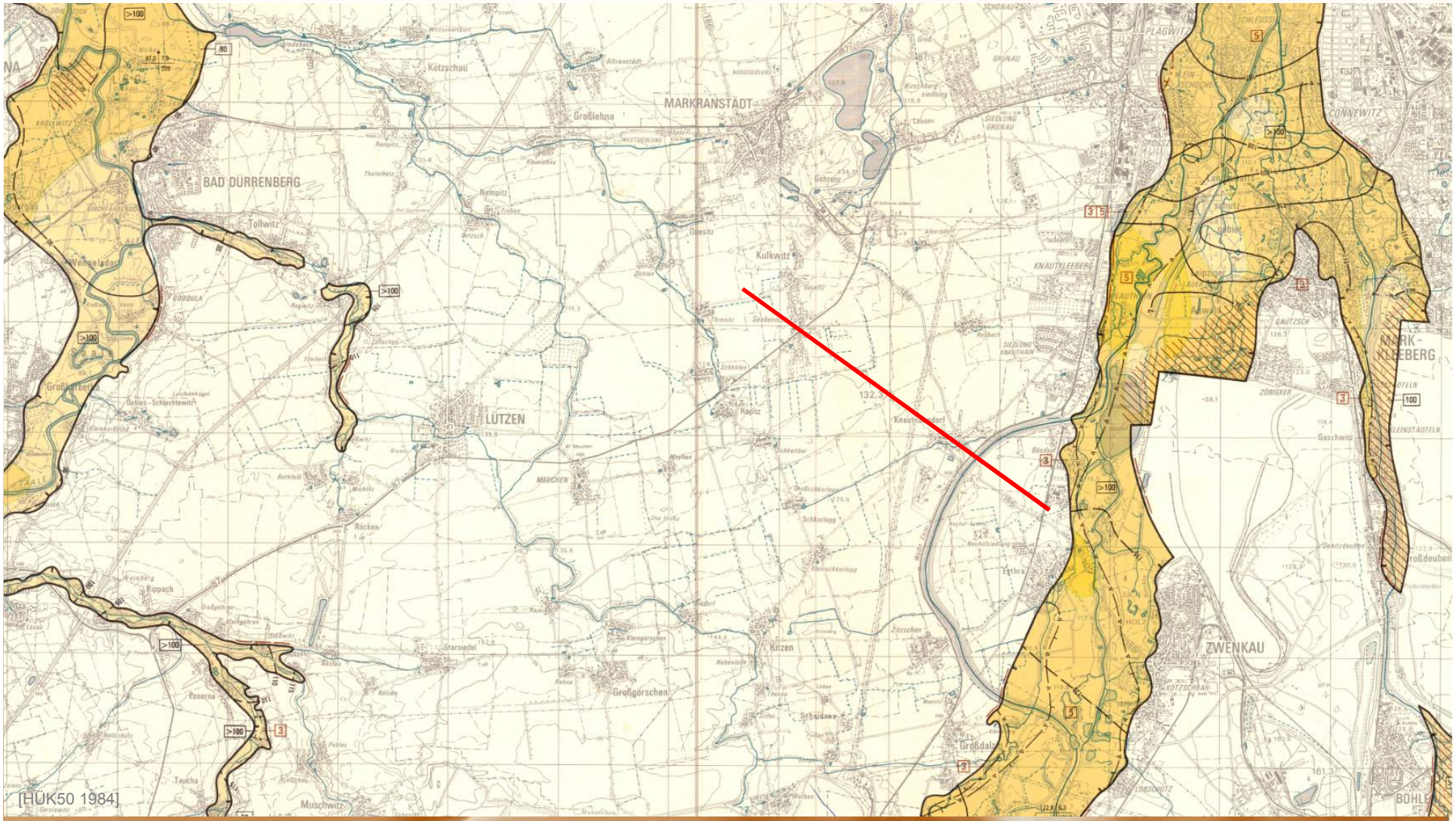
- Durchlässigkeit: 2,5*10$^{-4}$ bis > 1*10$^{-3}$ m/s
- Mächtigkeit: 5 bis 20 m, lokal auch mehr
- GWL 4 & 5 z.T. gespannte Grundwasserverhältnisse




[GK25 Blatt 4739 Zwenkau, 1920]

# Geologie – Beispiel Sachsen

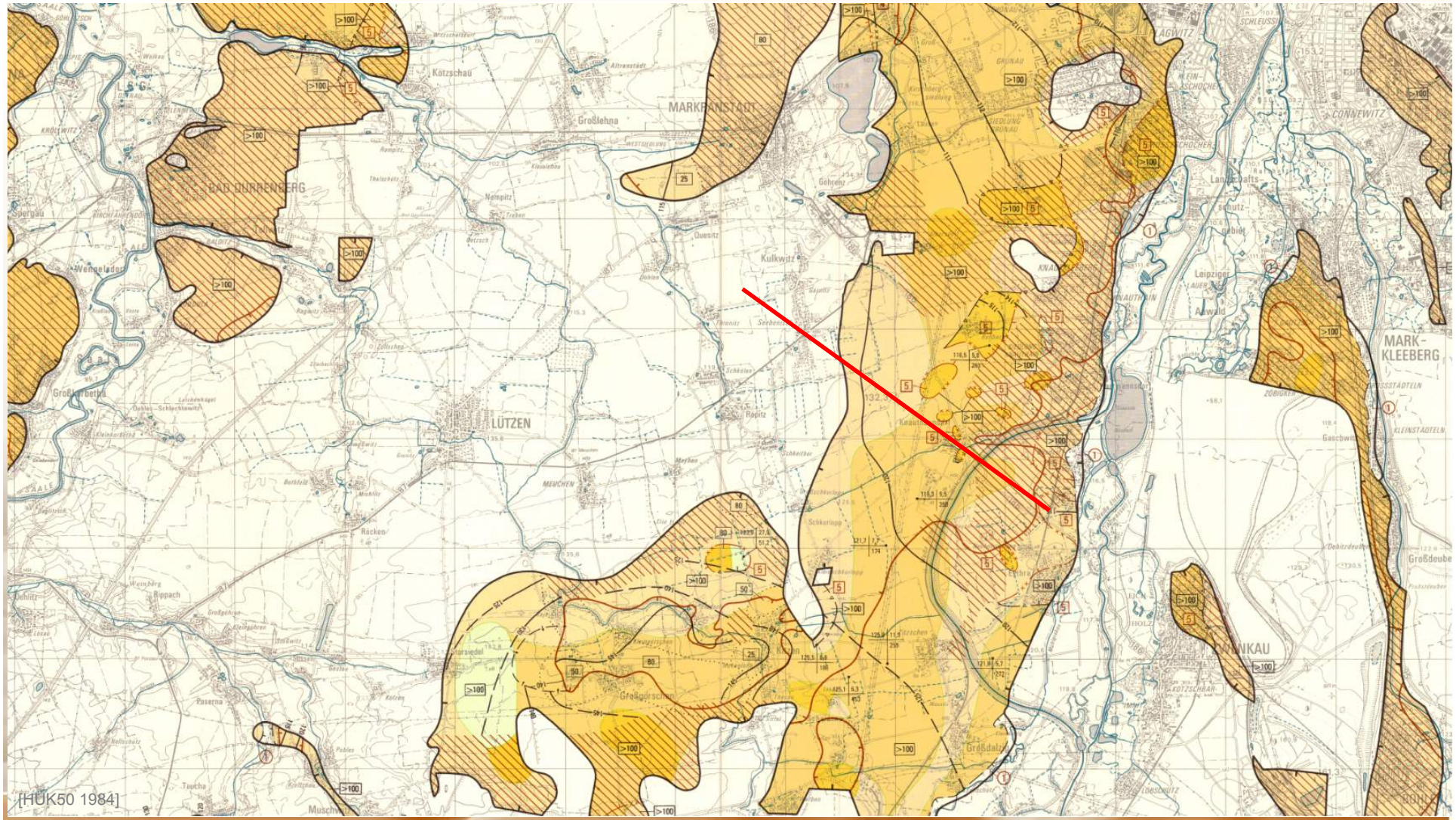



GWL 1 (W – Ho)



JENA GEOS Ingenieurbüro GmbH

# Geologie – Beispiel Sachsen

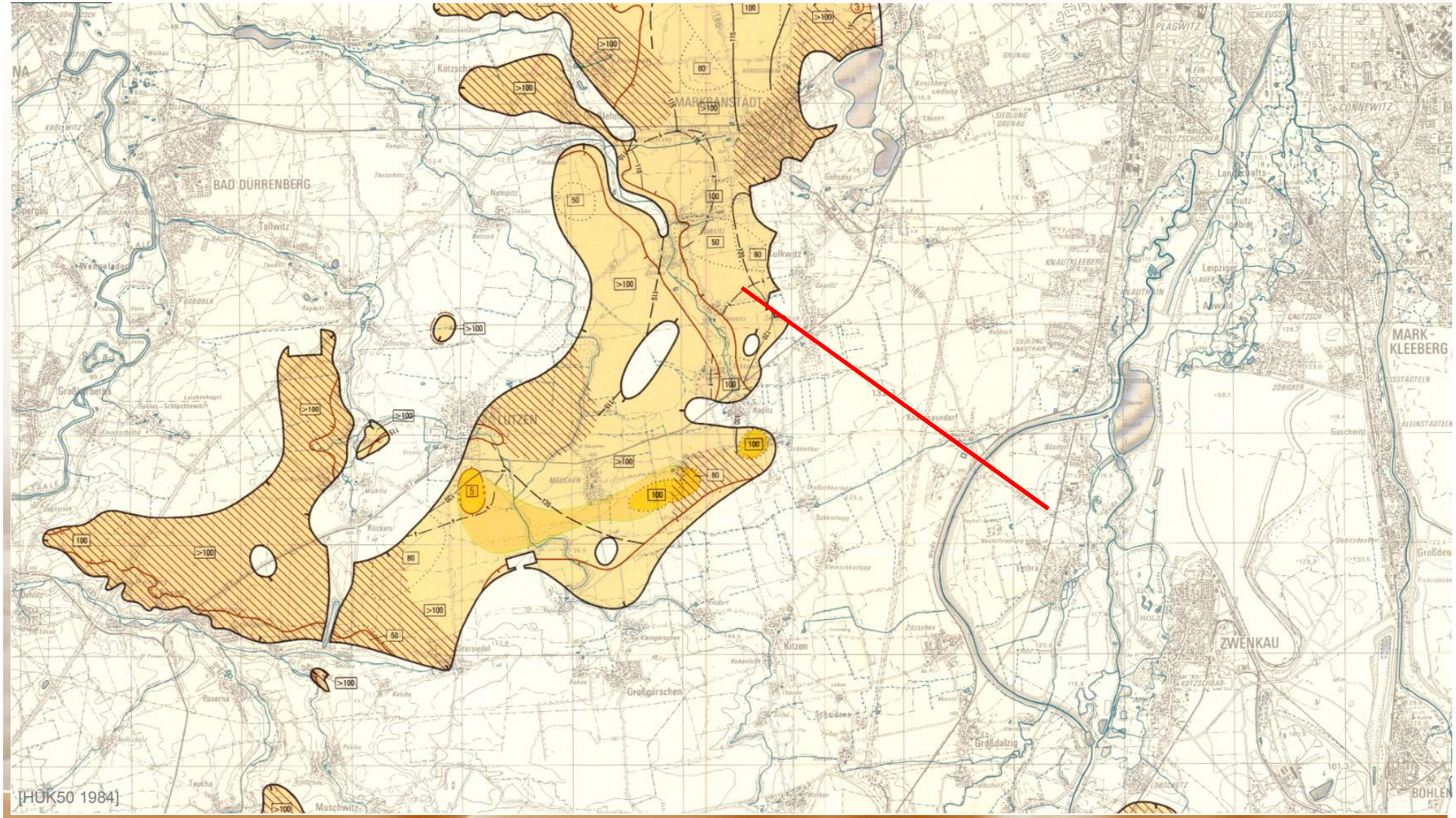



GWL 3 (E2n – S1v)

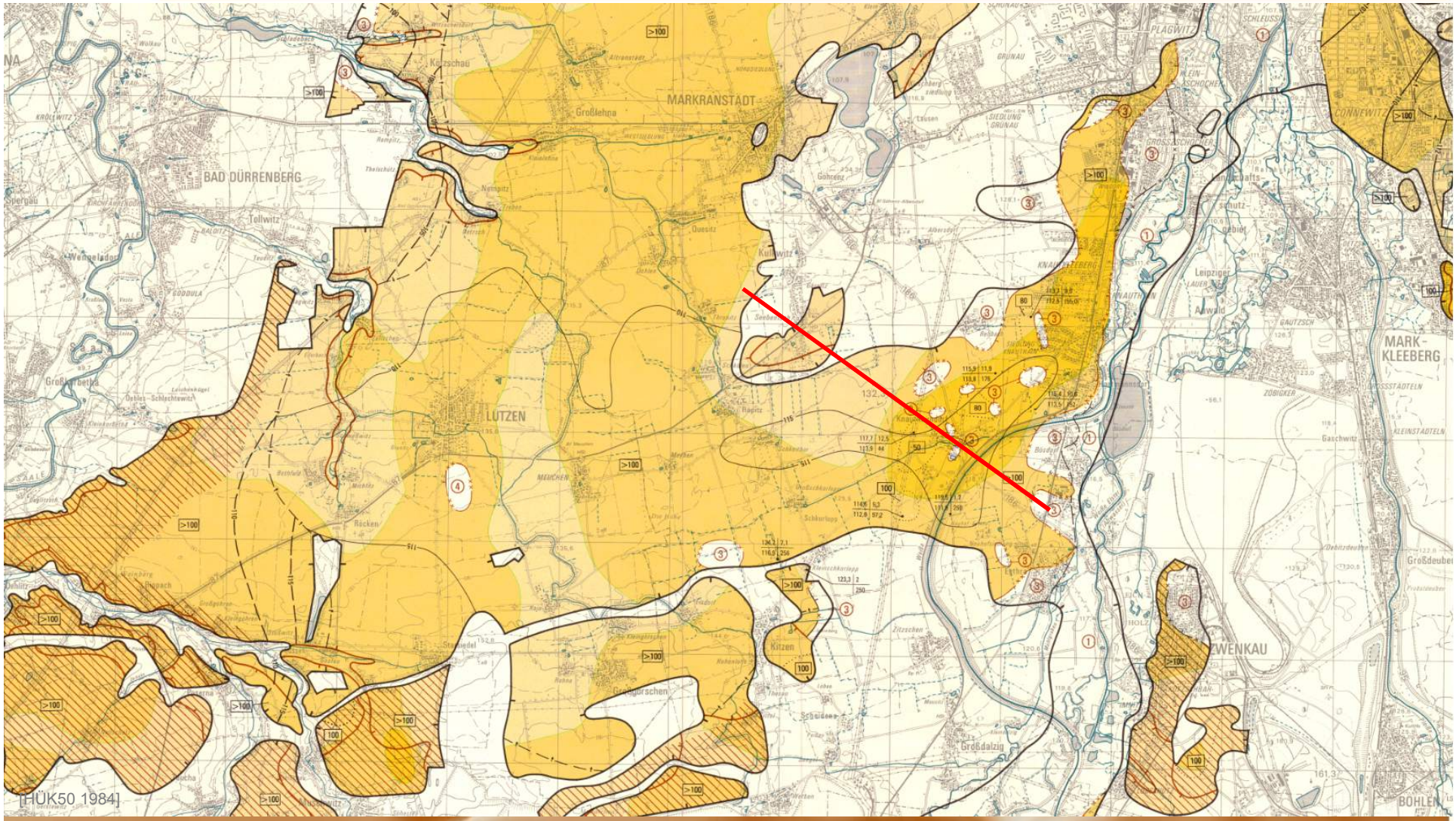


JENA GEOS Ingenieurbüro GmbH

# Geologie – Beispiel Sachsen


BAD DÜRRENBERG
Tollwitz
MARKRANSTÄDT
LÜTZEN
Kitzen
Großgorschen
Großdalzig
ZWENKAU
MARK-
KLEEBERG
PLAGWITZ
CONNEWITZ
KNAUTKLEEBERG
GAUTZSCH
Leipziger
Auwald
Gaschwitz
Muschwitz
Tauchа
Poserna
Starsiedel
Rücken
Radilz
Erthra
Zitzschen
Schkeuditz
Kleinschkeuditz
Kleingorschen
Kötzschen
Nempitz
Gehrenz
Kulkwitz
Lausen
Grünau
Siedlung Grünau
Knautnaundorf
Knautnaundorf
Knautkleeberg
Zöbigker
Großdeuben
Böhlen
Leipzig-Schönefeld
Leipzig-Mockau
Leipzig-Paunsdorf
Leipzig-Leutzsch
Leipzig-Wahren
Leipzig-Lindenthal
Leipzig-Gohlis
Leipzig-Eutritzsch
Leipzig-Reudnitz-Thonberg
Leipzig-Stötteritz
Leipzig-Probstheida
Leipzig-Meusdorf
Leipzig-Connewitz
Leipzig-Plagwitz
Leipzig-Schleußig
Leipzig-Kleinzschocher
Leipzig-Großzschocher
Leipzig-Lindenau

# Geologie – Beispiel Sachsen

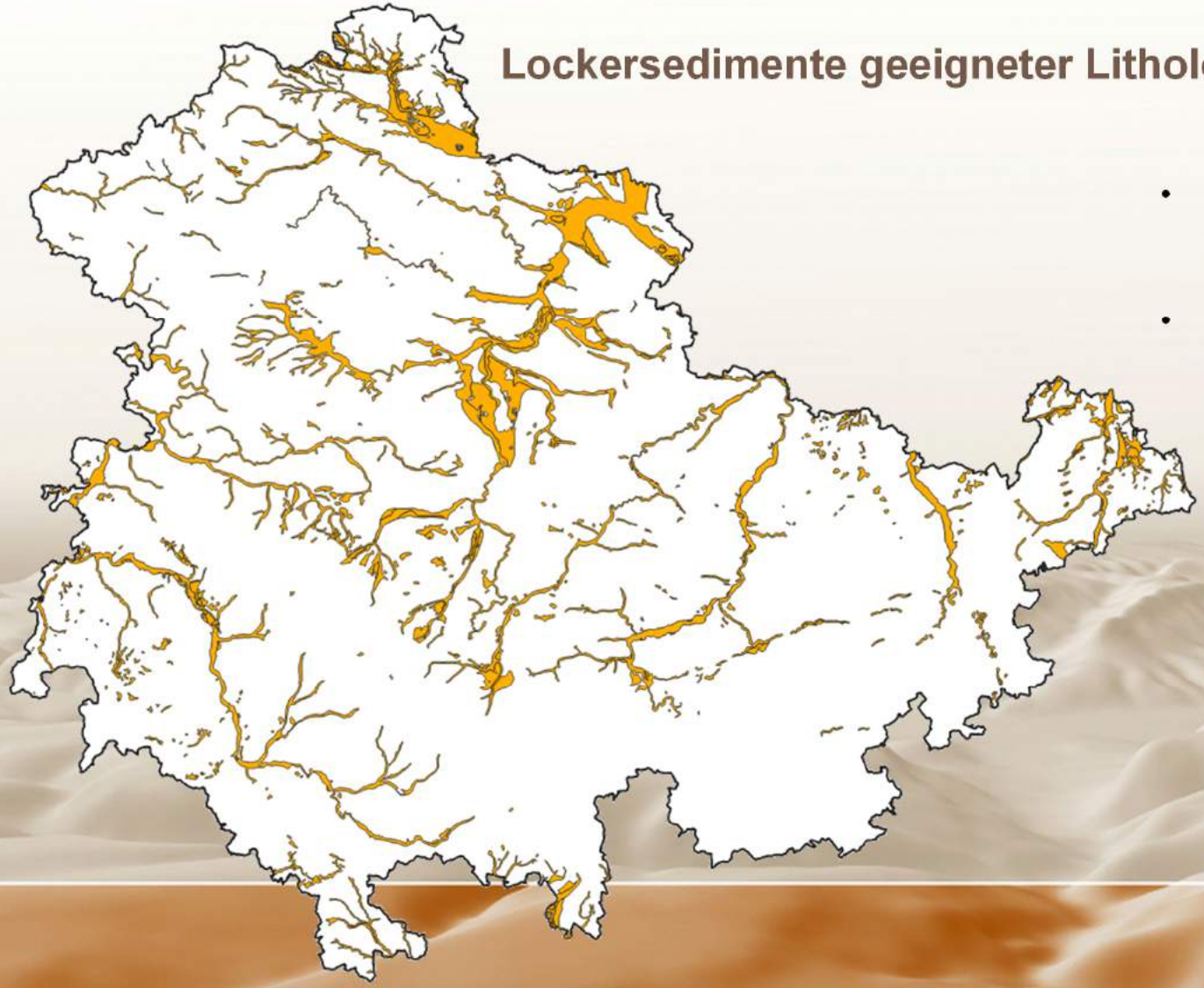



GWL 5 (E1v)



JENA GEOS Ingenieurbüro GmbH

# Geologie – Beispiel Thüringen



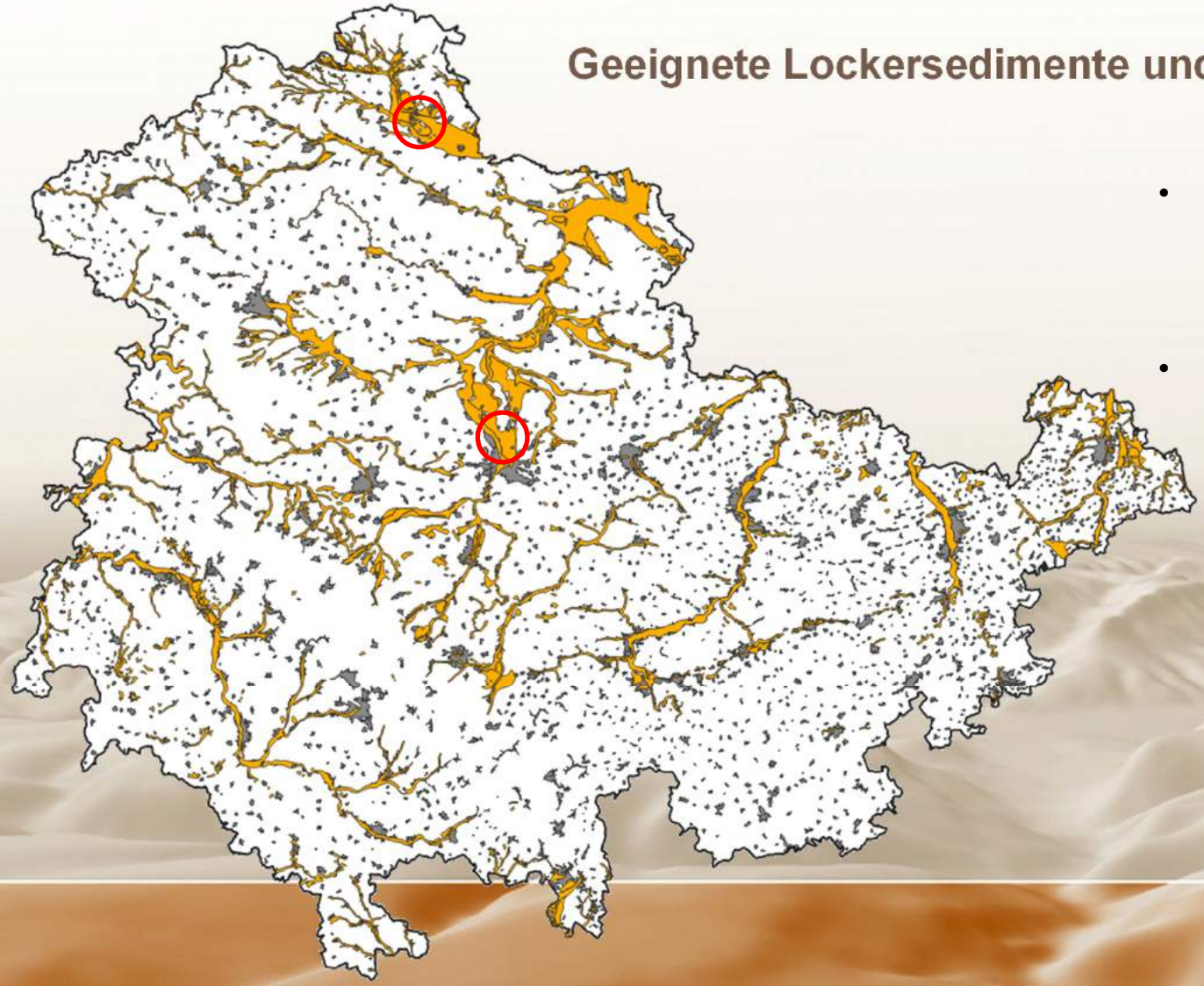
## Lockersedimente geeigneter Lithologie / Stratigraphie

- Überwiegend quartäre Ablagerungen
- Verbreitung entlang von Fließgewässern



JENA GEOS Ingenieurbüro GmbH

# Geologie – Beispiel Thüringen



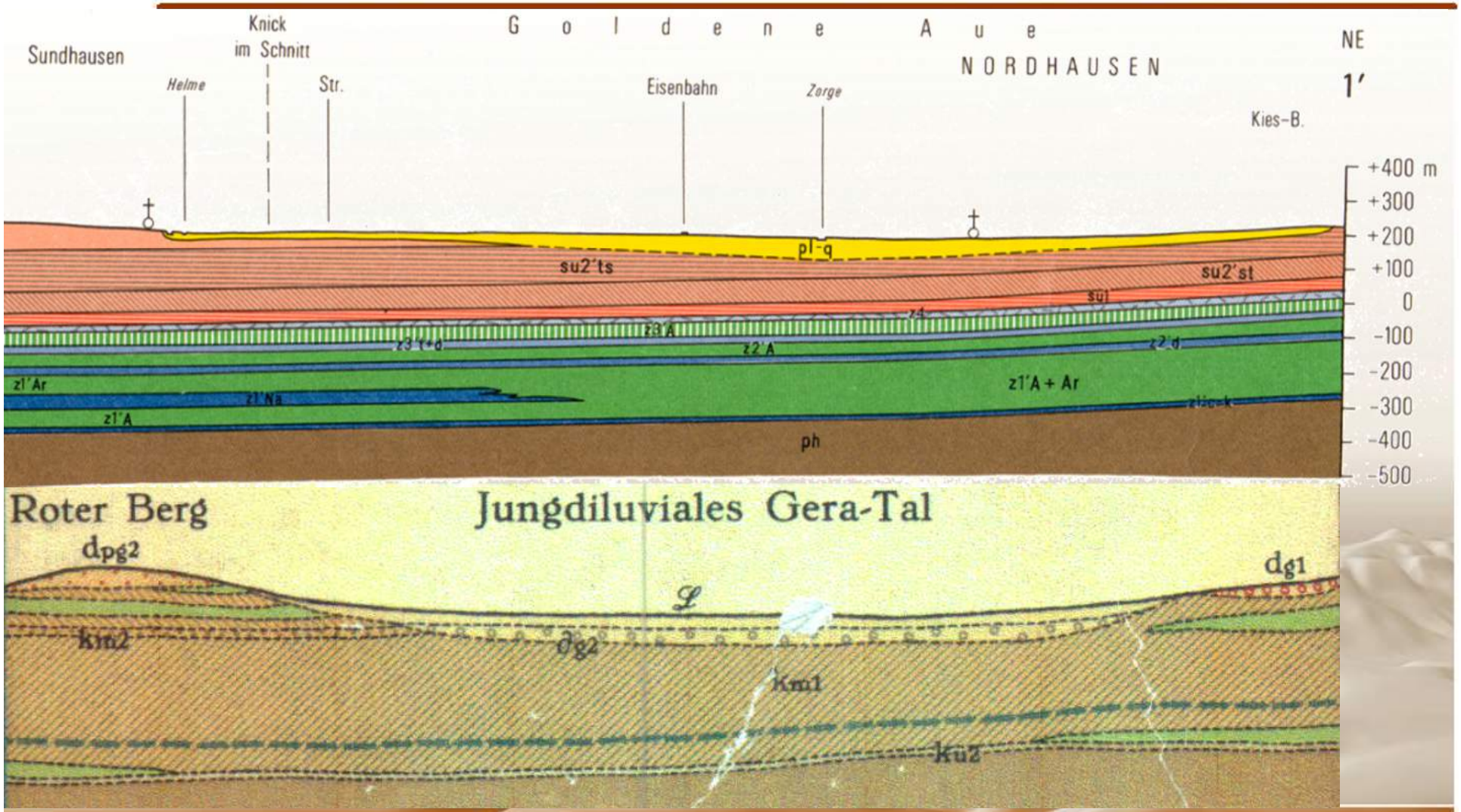
## Geeignete Lockersedimente und Siedlungsgebiete

- Siedlungsgebiete, vor allem Städte entlang der Fließgewässer
- Hohes Potenzial für eine energetische Quartierssanierung



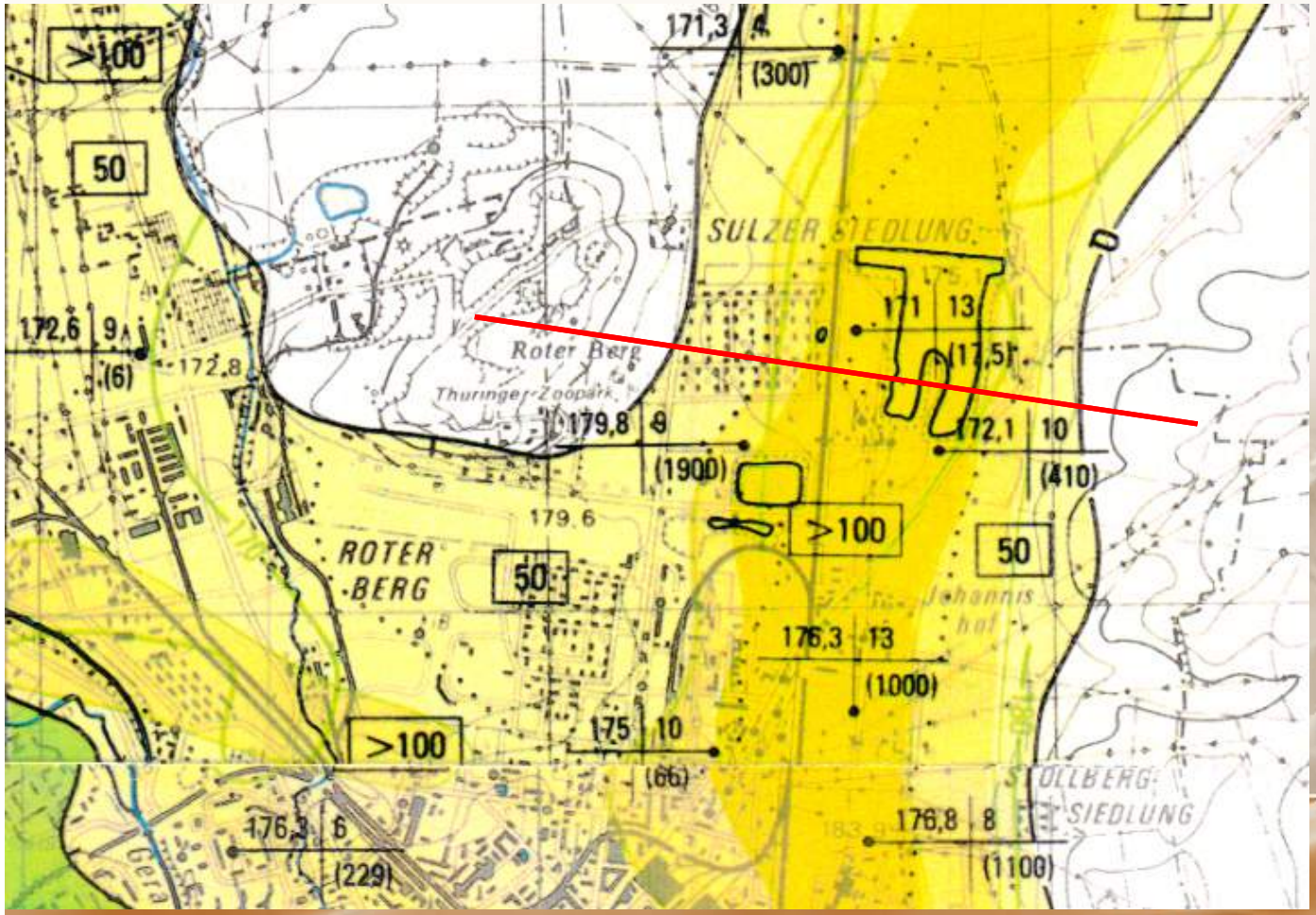
JENA GEOS Ingenieurbüro GmbH

# Geologie – Beispiel Thüringen



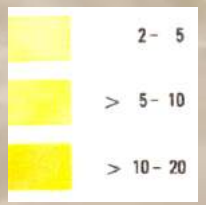
# Geologie – Beispiel Thüringen

## Verlauf der quartären Rinne im Bereich Erfurt-Nord

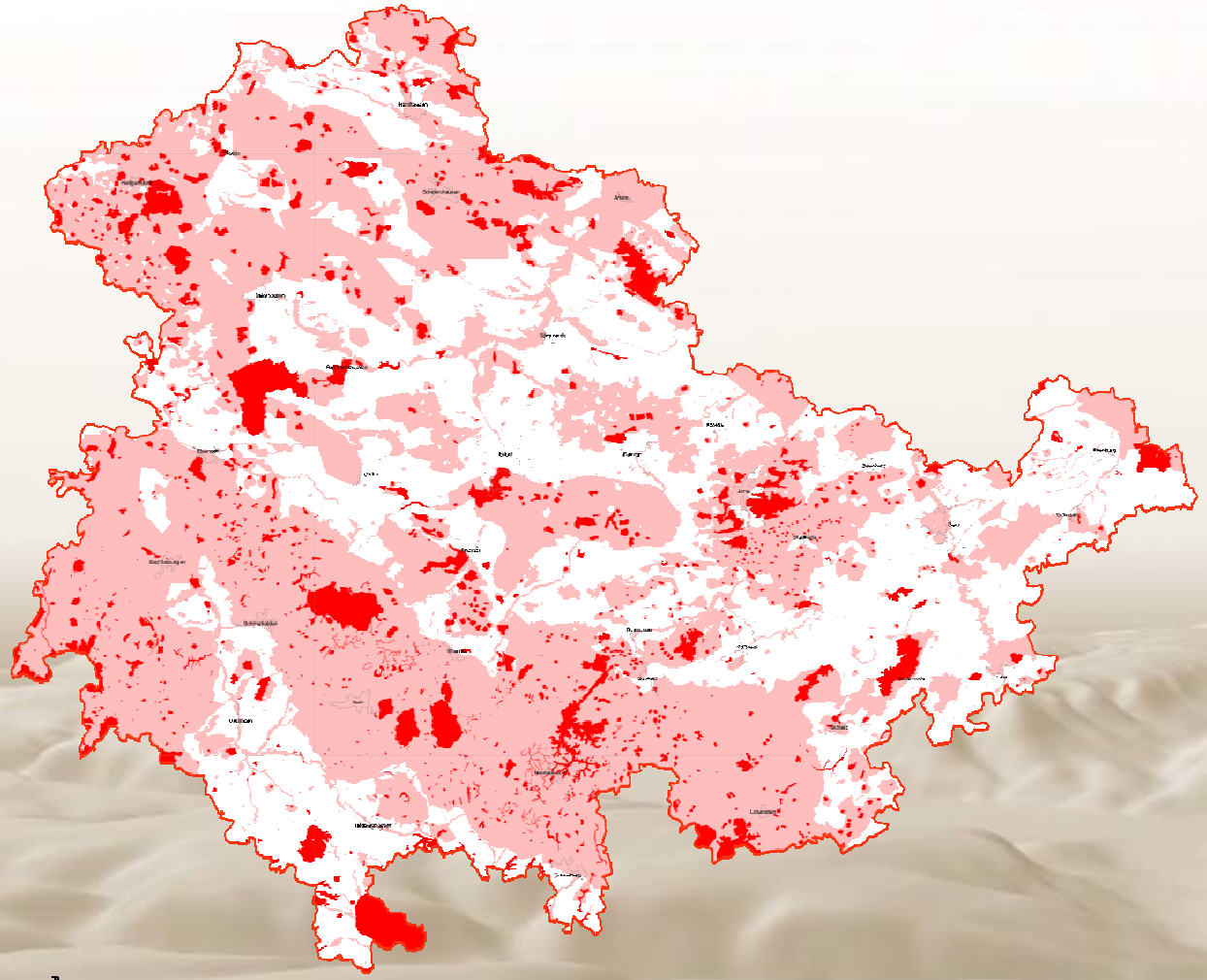



- Durchlässigkeit:
  $5*10^{-4}$ bis > $1*10^{-3}$ m/s
- Mächtigkeit:
  5 bis 20 m
- Flurabstand:
  < 5 m

Mächtigkeit [m]



# Raumwiderstände



**Nutzungsausschluss**

- Wasserschutzzone I + II
- Heilquellenschutzzonen

**Restriktionen, u.a.**

- Wasserschutzzonen III
- Überschwemmungsgebiete
- Artesische Gebiete
- Landschaftsschutzgebiete
- Naturparke
- Netz „Natura 2000“
- Bergbauberechtigungen



JENA GEOS Ingenieurbüro GmbH

# Hydrochemie

## Auswirkungen auf die chemische Zusammensetzung des Grundwassers

- Temperaturänderungen im Untergrund ändern sich die Lösungsgleichgewichte der mineralischen Komponenten
- die chemische Zusammensetzung der Wässer variiert stark und muss im Einzelfall bewertet werden

| Probleme | Ursachen |
|---|---|
| Karbonatverkrustungen im Wärmetauscher | deutlicher Temperaturanstieg oder Druckabfall |
| Verstopfen der Bohrungen durch Partikel oder Ausfällungen (u.a. Verockerungen) | Sandproduktion, Druckabfall, unkontrollierte Belüftung |
| Ausdünnung und Lochfraß in Systemkomponenten | unkontrollierte Belüftung, Materialauswahl oder unsachgemäße Behandlung |

[Anderson et al. 1990]

- PTJ/BMU Anfang 2020 ein spezielles Programm für Machbarkeitsstudien
- im Kontext der Kohlelagerstätten sind mögliche Auswirkungen bei der Nutzung als thermischer Speicher noch zu untersuchen

# Hydrochemie

## Richtwerte wichtiger Wasserinhaltsstoffe für die Nutzung eines Erdwärmebrunnensystems

| Parameter | Grenzwert | Bemerkung |
|---|---|---|
| Partikeldurchmesser | < 1 mm | Ablagerungen im Wärmetauscher |
| pH-Wert | 6,5–9 | mögliche Korrosion von Edelstahl und anderen Werkstoffen |
| Sauerstoff ($O_2$) | < 2 mg/l | Korrosionsgefahr (s. VDI 4640) |
| Leitfähigkeit | < 500 µS/cm | Korrosionsgefahr (s. VDI 4640) |
| Gesamthärte | > 4°dH < 8,5°dH | mögliche Ablagerung durch Karbonatbildung |
| Eisen (Fe) | < 2 mg/l | führt in Verbindung mit Sauerstoff zur Verockerung des Schluckbrunnens |
| Mangan (Mn) | < 1 mg/l | führt in Verbindung mit Sauerstoff zur Verockerung des Schluckbrunnens |
| Aluminium (Al) | < 0,2 mg/l | Korrosionsgefahr für Kupfer; kann in Verbindung mit Sauerstoff zur Verockerung des Schluckbrunnens führen |
| Ammoniak ($NH_3$) | < 2 mg/l | Korrosionsgefahr für Kupfer |
| Sulfat ($SO_4$) | < 70 mg/l | mögliche Korrosion von Edelstahl bei zu hohen Anteilen |
| Chlorverbindungen (Cl) | < 300 mg/l | mögliche Korrosion von Edelstahl bei zu hohen Anteilen |
| gelöste Kohlensäuren ($CO_2$) | < 5 mg/l | Korrosionsgefahr für Kupfer |



JENA GEOS Ingenieurbüro GmbH

# Biochemie

## Auswirkungen auf die Biosphäre im Speicherbereich

- durch Spitzentemperaturen in Bereichen > 60 °C kommt es teilweise zu sterilisierenden Effekten, die jedoch bei Abkühlung bald wieder aufgehoben werden
- durch Verschiebung der mittleren Temperatur kommt es auch zu reversiblen Änderungen in der Artenzusammensetzung der Biozönose

## Auswirkungen auf die Biosphäre über dem Speicher

- Berechnungen und ggf. Messungen während des Betriebes
- keine Beeinträchtigung der Flora und Fauna auf der Oberfläche oder im oberflächennahen Bodenbereich
- Minimierung von Temperaturverschiebungen an der Oberfläche auch eine Steigerung der Effektivität

# Zusammenfassung

- Raumwärmebereitstellung bietet enormes Potenzial zur $CO_2$-Einsparung
- Aquifere Mitteldeutschlands können einen erheblichen Beitrag zur Energieeinsparung durch saisonale Speicherung leisten
- Steigerung der Effizienz der Wärmeversorgung durch erneuerbare Energien vor allem im Verbund mit einer intelligenten Sektorenkopplung
- Einsatz im energetischer Quartiersumbau oder für große öffentliche Gebäude
- nötig sind hierfür „kalte“ bzw. temperaturvariable Netze
- Umsetzung erfordert Aufgrund der stark variablen geogenen Ausprägung des Speichers eine frühzeitige Einbindung in die Planung

# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

**Die Zukunft ist erneuerbar!**

**JENA-GEOS®-Ingenieurbüro GmbH**