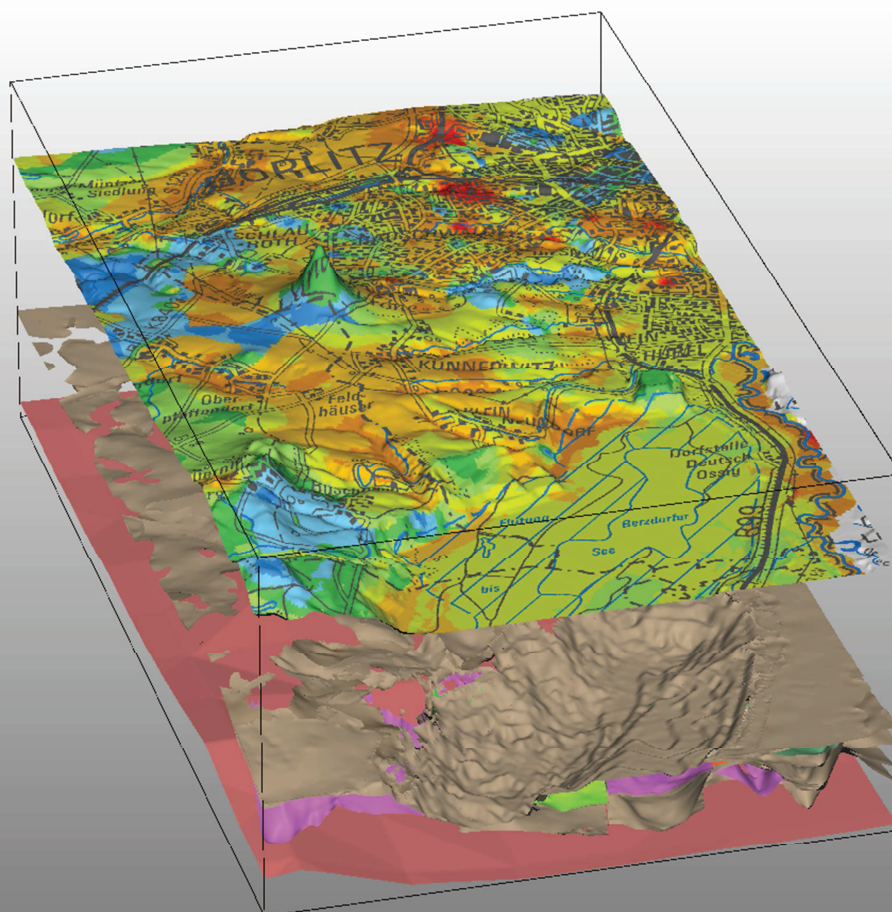


## Handbuch zur Erstellung von geothermischen Karten auf der Basis eines grenzübergreifenden 3D-Untergrundmodells





## **Inhaltsverzeichnis**

1	Einführung / Zielstellung	7
2	Verwendete Software	9
3	Datengrundlagen	9
3.1	Datengrundlagen in Sachsen	9
3.1.1	Punktdaten	9
3.1.2	Liniendaten	10
3.1.3	Flächendaten	10
3.2	Datengrundlagen in Polen	11
4	Kartierungsgrundlagen	13
4.1	Geologisches Strukturmodell	13
4.2	Generallegende	13
4.3	Normalprofil	14
4.4	Geologische Schnitte	15
5	Datenvorbereitung	16
5.1	Plausibilitätsprüfung	16
5.1.1	Höhenprüfung der Bohrungen	16
5.1.2	Koordinatenprüfung	17
5.1.3	Stratigraphie- und Petrographieprüfung	17
5.2	Punktdaten	17
5.2.1	Bohrungen	17
5.2.2	„Künstliche“ (virtuelle) Stützstellen	21
5.3	Liniendaten	22
5.3.1	Basis- und Mächtigkeitsisolines von Schichtlagerungskarten	22
5.3.2	Tektonische Elemente	23
5.3.3	Geologische Schnitte	24
5.4	Flächendaten - Erstellung der Verbreitungen	25
6	3D-Modellierung	27
6.1	Mastergrid	27
6.2	Modellbegrenzung	27
6.2.1	Erstellung der Modelloberfläche aus einem digitalen Höhenmodell	27
6.2.2	Erstellung der Modellbasisfläche aus der Modelloberfläche	29

6.2.3	Seitenbegrenzung und „äußerer“ Puffer	29
6.2.4	„Innerer“ Puffer	30
6.3	Kriterien der Konstruktion	31
6.3.1	Allgemeine Kriterien	31
6.3.2	Flächengrößenkriterium	31
6.3.3	Randanpassung	31
6.3.4	Anthropogene Auffüllungen	33
6.3.5	Auenbildungen	34
6.4	Modellerstellung in GoCAD	34
6.4.1	Transformation der Grundlagendaten in GoCAD-kompatible Formate	34
6.4.2	Konstruktionsansätze	35
6.4.3	Interpolation	37
6.5	Überführung des GoCAD-Modells in das Rasterformat	38
6.6	Plausibilitätsprüfung	40
7	Hydrogeologische Themen	41
7.1	Berechnung des Grundwasserflurabstands	41
7.2	Hydrogeologische Beschreibung der HGE	45
7.3	Schutzgebiete	46
8	Erstellung der geothermischen Karten	47
8.1	Wärmeleitfähigkeiten der HGE	47
8.2	Berechnung der geothermischer Karten	48
9	Bereitstellung der digitalen Daten	52
9.1	Datengrundlagen	52
9.2	Modelldaten	52
9.3	Geothermische Karte der Gesteinswärmeleitfähigkeiten	52
9.4	Karte des Grundwasserflurabstandes	52
10	Literatur	52
11	Verwendete Begriffe	54

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Ablaufschema der 3D-Modellierung und der Erzeugung geothermischer Karten.	8
Abbildung 2: Geologischer Schnitt als Grundlage der 3D-Modellierung (10-fach überhöht)...	15
Abbildung 3: Lage und Verteilung der codierten Bohrungen im Kartiergebiet <i>TransGeoTherm</i> . .....	19
Abbildung 4: Verwendung von Höhenlinien der Basis geologischer Einheiten für die 3D-Modellierung. ....	23
Abbildung 5: Einbindung von geologischen Schnitten in die Software GoCAD als Modelliergrundlage. Die Schnitte überspannen den polnischen Teil des Kartiergebietes und den gemeinsamen inneren Pufferbereich entlang der Neiße (dünne graue Linie). Die dickere rote Umrisslinie umfasst das gemeinsame Kartiergebiet, die dickere graue den äußeren Pufferbereich um das Projektgebiet. .....	24
Abbildung 6: Schema der Erzeugung aktualisierter Verbreitungsflächen.....	26
Abbildung 7: Kartiergebiet <i>TransGeoTherm</i> mit den Pufferbereichen und den Blattschnitten 1 : 25.000. ....	30
Abbildung 8: Schematische Untergliederung und Korrelation von Ablagerungen der Kreidezeit nach lithologischen und chronostratigraphischen Aspekten im sächsisch-polnischen Grenzgebiet. Die untergliederten Einheiten sind entsprechend dem Normalprofil des Kartiergebietes <i>TransGeoTherm</i> bezeichnet mit dem HGE-Code.....	32
Abbildung 9: Ausschnitt aus dem 3D-Modell mit Darstellung der Störungen im Grundgebirge. Die bunten Störungsflächen sind grünlich-durchscheinend überlagert mit der Fläche des digitalen Höhenmodells (Modelloberfläche).....	36
Abbildung 10: Ausschnitt aus dem 3D-Modell: Dargestellt sind die modellierten Basisflächen der quartären Einheiten Auenkies der Neiße (blau) und Höhere Niederterrasse (kupferfarben) mit Lage der zur Modellierung verwendeten Bohrungen in der Höhe der Schichtunterkante der betreffenden HGE. ....	38
Abbildung 11: Überführung der geometrischen Eigenschaften von Modellobjekten in ein regelmäßiges Punktraster.....	39

Abbildung 12: Beispiel eines Ablaufschemas zur Erstellung eines GW-Flurabstandsgrids als Berechnungsgrundlage der geothermischen Karten. ....	42
Abbildung 13: Verfügbare Eingangsdatendaten und Endergebnis der Flurabstandsberechnung für die Gebiete mit Grundwasserleiter am Beispiel der Region Ödernitz. In diesem Gebiet standen zwar ALS-Daten zur Verfügung, konnten aber für die Interpolation nicht verwendet werden, da die Gewässer nicht an den betrachteten Grundwasserleiter angebunden sind. ....	45
Abbildung 14: Schematische Übersicht der petrografiebezogenen Zuweisung von Wärmeleitfähigkeiten am Beispiel einer Bohrung mit unterschiedlich codierten HGE.....	49
Abbildung 15: Geothermische Karte der mittleren Gesteinswärmeleitfähigkeiten in $W/(m \cdot K)$ für das Modellgebiet Berzdorf für das Tiefenintervall 0 – 70 m .....	51

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Anzahl der im Projekt <i>TransGeoTherm</i> zur Modellierung verwendeten Bohrungen .....	17
Tabelle 2: Verwendbarkeit und Transformation der Datengrundlagen für die Modellierung in GoCAD. ....	34
Tabelle 3: Gliederung der Gesteinsdurchlässigkeit für Lockergesteine (BGR, 1997). ....	46
Tabelle 4: Ausgewählte Beispiele für die Attributierung von Gesteinsschichten polnischer Aufschlüsse mit Petrographieschlüsseln der Aufschlussedatenbank des LfULG...	47

## 1 Einführung / Zielstellung

Dieses Handbuch beschreibt am Beispiel des EU-Projektes *TransGeoTherm*, wie geothermische Karten auf der Basis eines 3D-Untergrundmodells, des Grundwasserflurabstandes und der Wärmeleitfähigkeiten der anstehenden Gesteine erstellt werden. Es basiert auf Arbeiten, die im Rahmen des Projektes *TransGeoTherm – Geothermale Energie für die grenzübergreifende Entwicklung der Neiße-Region – Pilotprojekt* auf der Grundlage der sächsischen Methodik der Hydrogeologischen Spezialkartierung in Sachsen (HyK50) durchgeführt wurden. Dieses Projekt wurde durch das *Operationelle Programm der grenzübergreifenden Zusammenarbeit Sachsen-Polen 2007-2013* von der Europäischen Union gefördert und durch ein Team aus Geowissenschaftlern des Polnischen Staatlichen Geologischen Institutes – Staatliches Forschungsinstitut, Niederschlesische Sektion (PIG-PIB OD) und des Sächsischen Geologischen Dienstes – Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie bearbeitet. Das Projektgebiet umfasst 8 Messtischblätter (1 : 25.000) im deutsch-polnischen Grenzbereich im Raum Görlitz/Zgorzelec. Die im Ergebnis der 3D-Modellierung erzeugten geothermischen Karten dienen als Planungsgrundlage für die Errichtung und Dimensionierung von Erdwärmeanlagen.

Hauptarbeitsschritte:

1. Bestandsaufnahme der verfügbaren Daten
2. Erstellung eines prinzipiellen Strukturmodells (Normalprofil, geologische Schnitte)
3. Datenvorbereitung (Punktdaten, Liniendaten, Flächendaten)
4. 3D-Modellierung von Geoobjekten
5. Export von Grids der Oberflächen der hydrogeologisch-geothermischen Einheiten (HGE)
6. Erstellung eines Grids des Grundwasserflurabstandes
7. Zuweisung der Wärmeleitfähigkeiten zu den codierten Schichtdaten von Bohrungen
8. Berechnung der geothermischen Karten der Gesteinswärmeleitfähigkeiten

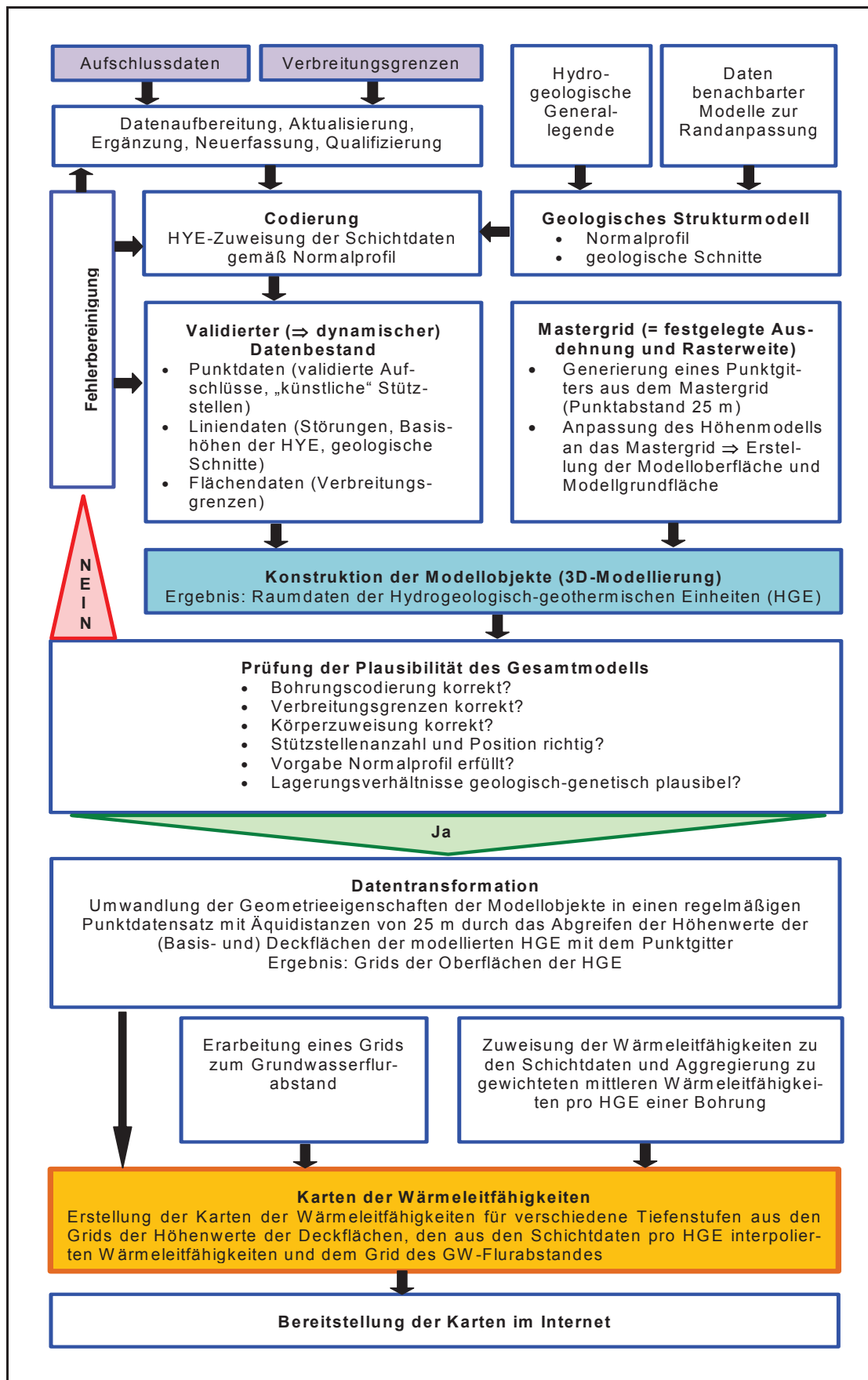


Abbildung 1:

Ablaufschema der 3D-Modellierung und der Erzeugung geothermischer Karten.



## **2 Verwendete Software**

Folgende Software-Produkte wurden für die Datenbearbeitung eingesetzt:

- ACCESS 2010 (Microsoft)
- ArcGIS 9.3 und 10.0: ArcView mit Erweiterung Spatial Analyst und 3D-Analyst (Esri)
- Geomedia Professional
- GoCAD 2009.4 und SKUA-GoCAD 2011.3 (Paradigm)
- GeODIN 7 (Fugro Consult GmbH)
- Surfer 8 (Golden Software)
- Python 2.6.x
- IE Geothermie für ArcGIS 9.3 und 10.1 (HGC Hydro-Geo-Consult GmbH)

## **3 Datengrundlagen**

### **3.1 Datengrundlagen in Sachsen**

Folgende Datengrundlagen finden in Sachsen für eine 3D-Modellierung Verwendung. Die Liste erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. In der Regel gibt es regionale Unterschiede der Datenverfügbarkeit. Die Daten sind inhaltlich und zeitlich (Aktualität) auf Plausibilität zu prüfen. Erfahrungsgemäß treten Fehler der Lage, der Ansatzhöhe, der Stratifizierung sowie Abweichungen zu den Originalunterlagen auf. Gegebenenfalls muss eine Priorisierung der Verwendung festgelegt werden. Die Daten müssen in digitaler Form vorliegen oder in eine digitale Form gebracht werden.

#### **3.1.1 Punktdaten**

- Stamm- und Schichtdaten von Bohrungen in tabellarischer Form (Mindestinformation: Bezeichnung, Koordinaten, Höhe des Bohransatzpunktes, Höhenangaben der angetroffenen Schichten, Petrographie- und Stratigraphieangaben der Schichten, Grundwasserinformationen)
- Informationen zu Altlastenstandorten (in Sachsen beispielsweise aus dem SALKA)
- Grundwasserstände aus Grundwasserbeobachtungen

- Punktdaten entlang der Gewässerverläufe (z. B. aus Höhenmessungen mit Airborn Laser Scanning)
- Punktdaten zu anthropogenen Ablagerungen (z. B. SALKA)

### 3.1.2 Liniendaten

- Geologische Schnitte
- Störungen
- Seismische Profile
- Isohypsen von Basishöhen geologischer Einheiten
- Isohypsen der Grundwasserhöhe

### 3.1.3 Flächendaten

- Topographische Karten in den Maßstäben 1 : 10.000, 1 : 25.000 und 1 : 50.000
- Digitales Geländemodell DGM (Rasterweite 2 – 25 m)
- Digitales Landnutzungsmodell DLM/ATKIS
- Geologische Karten mit unterschiedlichem Maßstab je nach Verfügbarkeit und Modelliergenauigkeit (Beispiele: GK100, GK50, GK25, Lithofazieskarten Quartär und Tertiär, regionale Karten)
- Vorhandene Übersichten zur Grundwasseroberfläche (z. B. Grids der Grundwasserhöhe oder des Flurabstandes)
- Flächenhafte Übersichten zu den Grundwasserspannungsverhältnissen
- Hydrogeologische Karten
- Flächenhafte Übersichten zu anthropogenen Ablagerungen
- Flächenhafte Übersichten zur Bergbautätigkeit und Rohstoffgewinnung
- Bodenkarten
- Luftbilder
- Lage des Bearbeitungsgebietes
- Angaben zu Grubengebäuden

### 3.2 Datengrundlagen in Polen

In Polen steht zur Erstellung von geothermischen Karten ein komplexes Informationssystem des Staatlichen Geologischen Institutes – Staatliches Forschungsinstitut, (PIG-PIB) zur Verfügung. Daten sind in verschiedenen thematischen Datenbanken abgelegt. Die umfangreichsten sind die Zentrale Geologischen Datenbank (CBDG) und die Zentrale Hydrogeologische Datenbank – HYDRO Bank. Beide Datenbanken sind öffentlich verfügbar auf dem Online-Portal des PIG-PIB unter der folgenden Adresse:

<http://www.pgi.gov.pl/pl/geologiczne-bazy-danych.html>.

Die entsprechenden Rechtsvorschriften zur Einsicht und Bereitstellung dieser Daten sowie von Archivunterlagen sind ebenfalls auf dem Online-Portal einzusehen.

Die **Zentrale Geologische Datenbank (CDBG)** ist in verschiedene Kategorien untergliedert, z.B. *Bohrungen*, *Archivarische Bearbeitungen*, *Geophysik* und *Rohstofflagerstätten*.

Bis zum heutigen Tag enthält die Kategorie *Bohrungen* lediglich für die tieferen Bohrungen detaillierte Informationen zur Lithologie und Stratigraphie, zu geophysikalischen Untersuchungen sowie erhaltenen Bohrkernen.

Die Kategorie *Archivarische Bearbeitungen* umfasst die Katalogdaten der geologischen Bearbeitungen (Dokumentationen). Über sie ist der Zugriff auf die Dokumentationen im Geologischen Nationalarchiv (NAG) in Warschau und seinen Zweigstellen in den regionalen Sektionen des PIG-PIB und in anderen Archiven im Land möglich. Sie können geologische Schnitte und Daten zu Bohrungen, die bis jetzt in der CBDG und der HYDRO Bank nicht erfasst wurden, enthalten. Die Bereitstellung von Texten und graphischen Anlagen aus Archivbeständen ist derzeit in Online-Form noch nicht möglich.

Die Kategorie *Geophysik* besteht aus Daten zu durchgeführten geophysikalischen Untersuchungen mit der Aufteilung der Quelldokumente in die Themen Geophysik allgemein, Gravimetrie, Magnetik, Radiometrie, Seismik und Spektrometrie.

Die Kategorie *Rohstofflagerstätten* ist eine Spezialanwendung unter dem System MIDAS des Geoportals. Es sind drei Informationsebenen verfügbar: Lagerstätten, Grubenfelder und Bergbaugebiete, die jeweils Bohrungen und geologische Schnitte einschließen.

Die **Zentrale Hydrogeologischen Datenbank – HYDRO Bank** sammelt Daten zu hydrogeologischen Bohrungen, Grundwasserfassungen und Quellen (normales, mineralisches und thermales Grundwasser) landesweit. Die HYDRO Bank enthält die Daten von über 140 000 hydrogeologischen Objekten. Für die Erstellung der geothermischen Karten ist die Kenntnis der Lage von Wasserschutzgebieten und Heil- und Mineralwasservorkommen wichtig, da dort Verbote oder Beschränkungen für Bohrarbeiten zur Erdwärmenutzung existieren.

Das PIG-PIB führt außer den zwei Hauptdatenbanken CBDG und Hydro Bank auch die **Datenbank der Ingenieurgeologischen Atlasse für die Ballungsgebiete**. Diese Datenbanken enthalten Daten der Schürflöcher sowie der Bohrungen und Sondierungen, die zur Erstellung dieser Atlasse niedergebracht wurden.

Weitere landesweite Datenbanken des PIG-PIB sind die **Datenbank des Bergsturzschutzes (SOPÖ)** und die **Datenbank „Höhlen Polens“**. Sowohl die Gebiete mit vorhandener oder potentieller Massenbewungsgefahr, als auch diejenigen, unter denen sich Höhlen befinden, sollten auf den geothermischen Karten als Ausschlussgebiete für Erdwärmeanlagen markiert werden.

Nachstehend sind die geologischen und thematischen Karten im Maßstab 1 : 50 000 aufgelistet, die in Polen die wichtigsten Flächendaten zur Kartierung des geothermischen Potenzials darstellen:

- Ausführliche Geologische Karte Polens (SMGP)
- Hydrogeologische Karte Polens (MHP)
- Wirtschaftlich-Geologische Karte Polens (MGGP)
- Umweltgeologische Karte Polens (MGP)

Weitere nutzbare Kartenwerke in anderen Maßstäben sind:

- Ausführliche Geologische Karte der Sudeten im Maßstab 1 : 25 000
- Ausführliche Geologischen Karte der Tatra im Maßstab 1 : 10 000
- Geologische Karte Polens im Maßstab 1 : 200 000, herausgegeben in zwei Versionen: A – verdeckte geologische Karte und B – abgedeckte geologische Karte, ohne quartäre Formationen
- Geologischer Atlas des Niederschlesischen Kohlenreviers im Maßstab 1:100 000

- Atlas der Geologie und Lagerstätten des polnischen und tschechischen Teils des Oberschlesischen Kohlenreviers
- Geologische Karte Lausitz – Iser – Riesengebirge (ohne känozoische Formationen) im Maßstab 1:100 000

Der Haupthersteller und Verleger dieser Karten ist das PIG-PIB. Weitere Informationen zum Bestand und Erwerb der Karten und ihrer Erläuterungen sind auf der Internetseite des PIG-PIB verfügbar.

Über die Bestände an topographische Karten sowie digitalen Geländemodellen (NMT) unterschiedlichen Maßstabes und ihre Bereitstellung informieren das zentrale Zentrum und die regionalen Zentren (Woiwodschaften) für Kartographie und Vermessung. Hier sind auch hydrographische Karten, Umweltschutzkarten, Orthophotokarten und anderes Kartenmaterial erhältlich.

## **4 Kartierungsgrundlagen**

### **4.1 Geologisches Strukturmodell**

Vor Beginn der Modellierung müssen prinzipielle Vorstellungen zum strukturgeologischen Aufbau des Bearbeitungsgebietes bestehen. Das betrifft sowohl die lithologisch-stratigraphische Situation als auch die tektonische Entwicklung. Die Vorstellung zum geologischen Strukturmodell wird auf das zu konstruierende hydrogeologisch-geothermische Modell übertragen. Bei Landesgrenzen übergreifenden Bearbeitungen müssen die geologischen Einheiten in der Regel erst korreliert werden.

### **4.2 Generallegende**

Zu Beginn der Arbeiten empfiehlt sich die Erarbeitung einer hydrogeologisch-geothermischen Generallegende in Form einer Datenbank. Sie enthält alle im Projektgebiet oder den Projektgebieten vorhandenen geologischen Einheiten und regelt die Zusammenfassung zu den hydrogeologisch-geothermischen Einheiten (HGE). Jeder HGE wird eine Code-Bezeichnung zugewiesen, mit der später die Schichten der Bohrungen belegt werden.

In der Datenbank werden auch die Informationen zu den HGE wie z. B. Werte der hydraulischen Leitfähigkeit oder spezifischen Wärmeleitfähigkeit abgelegt.

### 4.3 Normalprofil

Für das zu bearbeitende Projektgebiet wird ein geologisches Normalprofil (NP) erstellt. Es beinhaltet alle geologischen Bildungen bis in die jeweils vorgegebene relevante Teufe, möglichst in ihrer chronostratigraphischen Reihenfolge. Die geologischen Einheiten werden dann unter Berücksichtigung der Generallegende (siehe 4.2) zu den HGE zusammengefasst und mit dem entsprechenden Code benannt. Im Normalprofil ist die Korrelation von geologischen Einheiten unterschiedlicher Kartengrundlagen ersichtlich. Es stellt die 3D-Kartiergrundlage dar.

Das Normalprofil enthält folgende Informationen:

- Code der HGE
- erklärende Bezeichnung der HGE
- Kennung (Legenden-ID) der geologischen Einheit der verwendeten digitalen Karte
- Signatur der chronostratigraphischen Einheit (z. B. gfE2v = glazifluviatile Vorschüttbildungen der Elster2-Kaltzeit)
- verbale Beschreibung der jeweiligen geologischen Einheiten gemäß Kartenwerk
- entsprechende Informationen weiterer verwendeter Kartenwerke...
- farbliche Kennzeichnung der Lockergesteinskörper als Grundwasser-Leiter bzw. Grundwasser-Geringleiter sowie der Festgesteinsporengrundwasserleiter (optional)

Die Festlegung der HGE erfolgt grundsätzlich nach chronologisch-stratigraphischen, hydrogeologischen und geothermischen Kriterien in der gewünschten Auflösungsstufe. Hierfür sind alle geologischen, genetischen, strukturellen, petrografischen, faziellen und petrophysikalischen Merkmale heranzuziehen. Die einzelnen Kriterien unterliegen bezüglich ihrer Anwendung einer Hierarchie. Bei der Aggregation ist darauf zu achten, dass keine Inkonsistenzen an Bearbeitungsgrenzen (z. B. Blatträndern) erzeugt werden.

Wenn für geologische Einheiten nur ein geringer Kenntnisstand vorliegt und ihre Kartierung aufgrund der kleinräumigen Variabilität oder aufgrund zu geringer Mächtigkeiten nicht möglich ist, werden sie zusammengefasst (z. B. paläozoische Einheiten im Görlitzer Schiefergebirge, tertiäre Bildungen, u.s.w.).

## 4.4 Geologische Schnitte

Als Arbeitsgrundlage für die Konstruktion des Modells empfiehlt es sich, **mindestens** drei geologische Profilschnitte (siehe Abb. 2) pro Kartenblatt im Maßstab 1 : 50.000 zu erstellen. Sie visualisieren die räumlichen Lagerungsverhältnisse der HGE und ermöglichen das frühzeitige Erkennen von Problemgebieten. Die Schnittverläufe werden so gewählt, dass sie alle für die Kartierung relevanten geologischen Einheiten erfassen. Die inhaltliche Anpassung zu Profilschnitten bereits bearbeiteter Nachbargebiete und von Projektpartnern ist zu gewährleisten.

Die Auflösung der geologischen Profilschnitte muss mindestens die Detailliertheit der im Normalprofil dargestellten HGE bis zur Modellbasis widerspiegeln. Die vertikale Überhöhung sollte dem jeweiligen Relief und den gegebenen Mächtigkeiten der HGE, der horizontale Maßstab der Zielauflösung angepasst werden.

Für die Neiß-Region eignet sich bei einem Horizontalmaßstab von 1 : 25.000 für das kanozoische Deckgebirge eine Überhöhung von 1 : 10, für das Grundgebirge von 1 : 5. Die Schnitte werden mit einer geeigneten Graphik-Software (z. B. GeODin) zeichnerisch ausgearbeitet. Die graphische Angleichung der Schnitte der Projektpartner ist über die Erstellung und den Austausch einer Signaturenpalette möglich.

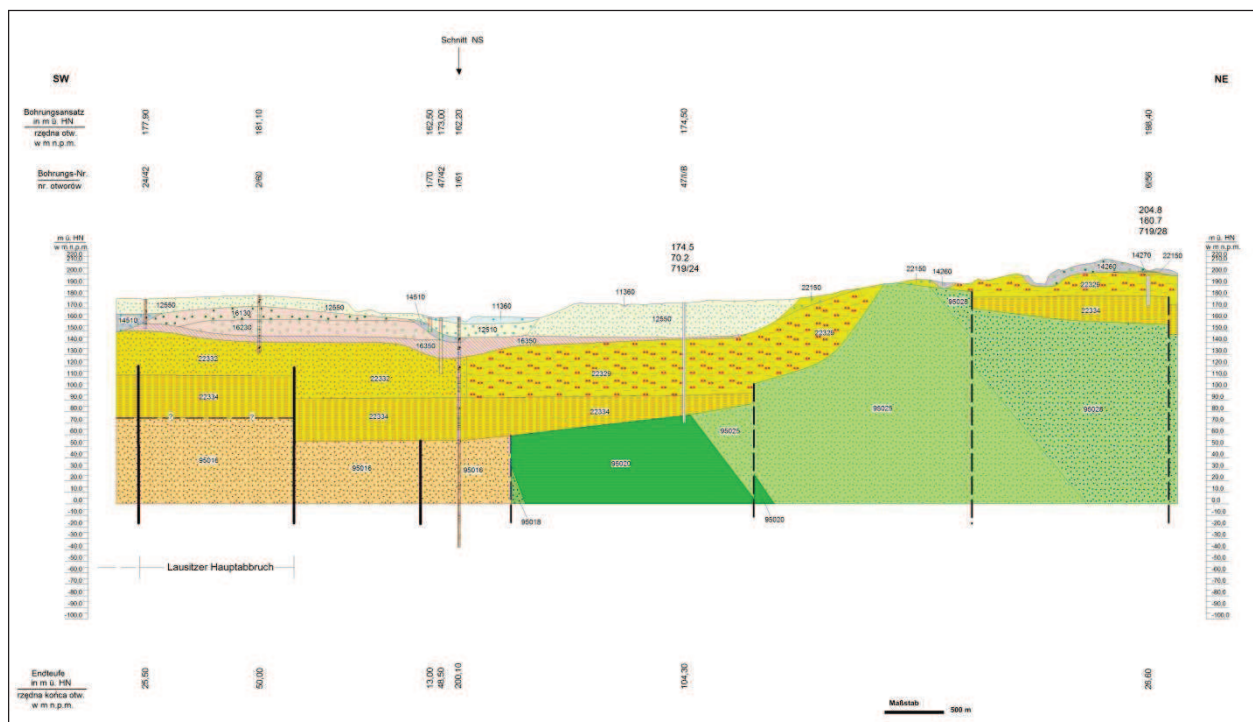


Abbildung 2: Geologischer Schnitt als Grundlage der 3D-Modellierung (10-fach überhöht).

## 5 Datenvorbereitung

Jeder Projektpartner führt die Datenvorbereitung aufgrund der dafür erforderlichen Regionalkenntnisse in seinem Gebiet durch.

Für jede zu konstruierende HGE müssen eine Verbreitungsgrenze (Maximalverbreitung der HGE in Horizontalprojektion) sowie ein zugehöriger konsistenter Datenbestand aus Punkt- und Liniendaten vorliegen. Aus diesem nach festgelegten Kriterien aggregierten, aktualisierten und qualifizierten Datensatz lässt sich die Raumlage der Geoobjekte eines 3D-Modells errechnen.

Ein einheitliches räumliches Bezugssystem ist Grundvoraussetzung für die Nutzung der unterschiedlichen Daten. Für das Projekt *TransGeoTherm* werden gebietsübergreifend UTM-Koordinaten mit Bezug auf das Referenzsystem ETRS89 Zone 33 verwendet.

### 5.1 Plausibilitätsprüfung

Die Prüfung auf Fehler in den digitalen Punktdaten ist ein iterativer Prozess, welcher über alle Bearbeitungsphasen reicht. Manche Unstimmigkeiten zeigen sich erst bei der dreidimensionalen Betrachtung. Kann der Fehler nicht korrigiert werden, muss auf die Verwendung der Bohrung verzichtet werden.

#### 5.1.1 Höhenprüfung der Bohrungen

Um Unplausibilitäten bezüglich der Höhenlage von HGE bei der 3D-Modellierung zu vermeiden, ist eine Prüfung der dokumentierten Ansatzhöhen der Bohrungen mit dem aktuellsten und genauesten zur Verfügung stehenden DGM erforderlich. Erfahrungsgemäß werden für eine große Anzahl von Bohransatzhöhen deutliche Abweichungen festgestellt. Sie beruhen auf Erfassungsfehlern, Unterschieden in den verwendeten Höhenmodellen, aber auch auf dem ständigen Wandel der Erdoberfläche. Hier ist über die Art der Verwendung und Anpassung der betroffenen Bohrungen oder Schichten zu entscheiden.

Bei der Prüfung wird die Ansatzhöhe mit dem nächstgelegenen Rasterwert des Höhenmodells verglichen. In ArcGIS kann die Funktion „Extract value to points“ (Spatial Analyst Tools / Extraction) auf das DGM angewendet werden, die ein Punktgitter liefert. Anschließend wird die Differenz aus der Höhe des Ansatzpunktes der Bohrung und des nächstgelegenen Gitterpunktes errechnet. Für Höhendifferenzen größer als 1 m und kleiner als -1 m wird eine Einzelfall-Prüfung zur Verwendung der Bohrung durchgeführt. Bei Differenzen



zwischen -1 und 1 m werden die Höhenwerte ohne zusätzliche Prüfung durch die Rasterwerte der Modelloberkante (siehe 6.2.1) ersetzt.

#### 5.1.2 Koordinatenprüfung

Zur Bewertung, ob Koordinatenfehler vorliegen, werden umliegende Bohrungen herangezogen. Eine Möglichkeit, solche Bohrungen zu korrigieren, ist die Auswertung von Lagebeschreibungen und Ortsangaben.

#### 5.1.3 Stratigraphie- und Petrographieprüfung

Treten in den Schichtdaten Fehler in der stratigrafischen Einstufung und der Gesteinsbeschreibung auf, sind die digitalen Daten mit den Originalunterlagen abzugleichen.

### 5.2 Punktdaten

#### 5.2.1 Bohrungen

In Abhängigkeit von der konkreten geologischen Naturraumausstattung sind für die fachlich angemessene Konstruktion der HGE eines Kartenblattes im Maßstab 1 : 50.000 mindestens 4.000 für die jeweilige geologische Situation günstig verteilte Aufschlüsse erforderlich. Dabei muss berücksichtigt werden, dass nicht alle Aufschlüsse alle abzubildenden Schichten durchteufen, so dass die notwendige absolute Zahl auch höher sein kann. Es gilt der Vorrang der Verwendung einer höheren Bohrungsanzahl bei Verfügbarkeit gegenüber der Erzeugung „künstlicher“ Stützstellen.

Grundsätzlich gilt: Je mehr Bohrungen in die Modellierung einfließen, desto genauer können die HGE aufgelöst werden. Es empfiehlt sich daher, besonders im Bereich von Verbreitungsgrenzen und bei kleinräumiger struktureller Variabilität, eine ausreichende Anzahl von Bohrungen heranzuziehen.

Die Anzahl verwendeter Bohrungen (ohne Bohrungen mit ausschließlich codierter „Anthropogener Auffüllung“) beträgt im Projekt *TransGeoTherm* für die Fläche von zwei Kartenblättern im Maßstab 1 : 50.000 beispielsweise **7.154** (siehe Abb. 3). Diese verteilen sich auf die verschiedenen Teilgebiete wie folgt:

Tabelle 1: Anzahl der im Projekt *TransGeoTherm* zur Modellierung verwendeten Bohrungen

Teilgebiet	Anzahl der Bohrungen mit verwendeten Schichten
Spezialgebiet Berzdorf	2.015

Teilgebiet Sachsen (ohne Berzdorf)	3.874
Teilgebiet Polen	1.265

Die Aufstellung macht deutlich, dass vor allem im polnischen Teilgebiet Polen aufgrund der geringeren Bohrungsdichte der Erstellung von „künstlichen“ Stützstellen eine besondere Bedeutung zukommt.

Zur Auswahl der Bohrungen ist eine sinnvolle Bewertung nach folgenden Kriterien erforderlich:

- HGE wurde erbohrt
- Aufschluss durchteuft die HGE
- Aufschluss repräsentiert die ortsübliche Mächtigkeit der HGE

Eine grobe Auswahl der Bohrungen kann über die Kriterien „Endteufe“ und „Detailliertheit“ der Schichtendokumentation erfolgen. Im Anschluss muss jedoch in Abhängigkeit der so erreichten Datendichte entsprechend der Verbreitung jeder HGE mit weiteren Bohrungen verdichtet werden. Bereiche hoher Aufschlussdichte weisen häufig eine hohe Variabilität der Mächtigkeiten und Teufen der Schichtunterkanten auf. Hier müssen die **repräsentativen** Aufschlüsse ermittelt werden und wenn nötig ein Austausch der vorausgewählten Bohrungen vorgenommen werden.

Es besteht zudem die Möglichkeit nur einzelne Schichtglieder einer Bohrung für die Modellierung zu verwenden. Die Repräsentanz und Verwendbarkeit einzelner Schichtglieder in einem Schichtenverzeichnis für die HGE ist jedoch im Einzelfall zu bewerten. So können Bohrungen einen hohen Informationsgehalt besitzen (Schichtenverzeichnis komplett nutzbar) oder aber nur Teilfragestellungen (z. B. Quartärbasis, Locker- / Festgesteinsgrenze) untersetzen. Aus interpolationstechnischen Erwägungen kann es sinnvoll sein, unbrauchbar bewertete Anteile einer Schichtenfolge durch eine „künstliche“ Stützstelle (siehe 5.2.2) zu ersetzen.

Zur Verwendung der Schichtdaten von Bohrungen für die Modellierung müssen die Einzelschichten den HGE zugewiesen werden (Codierung entsprechend dem Normalprofil, siehe 4.3). Es ist darauf zu achten, dass keine unplausiblen Mächtigkeiten erzeugt werden. Wenn Schichten nicht differenziert genug aufgenommen sind, müssen diese auf mehrere HGE aufgeteilt werden. Dies kann durch ein Ersetzen der jeweiligen Schicht durch eine „künstliche“ Stützstelle erfolgen. So kann bei einer Lehmschicht verfahren werden, die aus Löss-, Gehänge-

oder Geschiebelehm und lehmigem Zersatz von Festgestein besteht.

Die Codierung der Schichtdaten erfolgt auf der Grundlage der bestehenden Karten. Ergebnisse benachbarter Bohrungen müssen einbezogen werden, um ein objektives und räumlich konsistentes Ergebnis zu erzielen. Die Bereitstellung von sehr gut stratifizierten, lokal repräsentativen Leitprofilen ist zu empfehlen. An ihnen können sich die Bearbeiter bei der Codierung orientieren, was die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse gewährleistet.

Die petrographischen Angaben zu den Schichten dürfen nicht im Widerspruch zur den hydrogeologischen und geothermischen Eigenschaften der zugewiesenen HGE stehen. Ausnahmen dürfen nur geringmächtige Zwischenlagen sein, die der umlagernden HGE zugeschlagen werden.

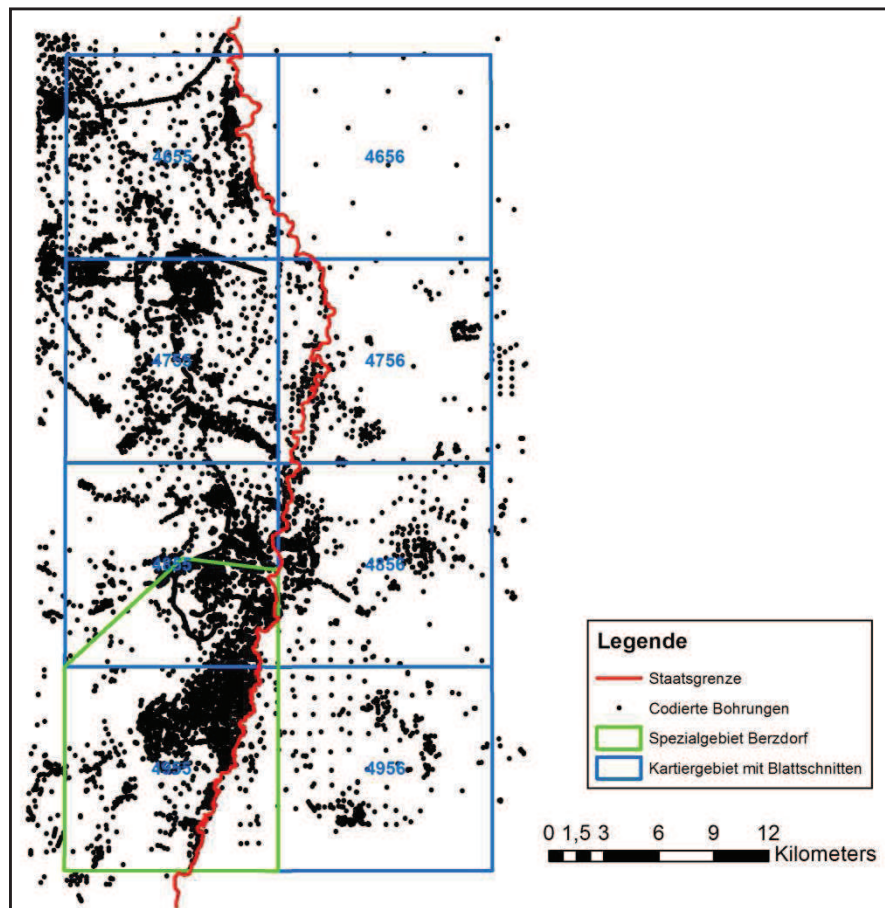


Abbildung 3: Lage und Verteilung der codierten Bohrungen im Kartiergebiet *TransGeoTherm*.

### Technische Vorgehensweise in Polen

Die Konstruktion des 3D-Modells und der resultierenden geothermischen Karten basiert zu einem großen Teil auf Informationen aus Bohrungen. Diese Bohrungen sollten in einer

Datenbank abgelegt werden, die mit der Zentralen Geologischen Datenbank des PIG-PIB kompatibel ist, z.B. als ACCESS-Datenbank (im Folgenden nur DB genannt), so dass man die Daten von der Zentralen Geologischen Datenbank des PIG-PIB importieren kann und nach der Modellierung wieder zurückführen kann. Nachfolgend ist ein Beispiel für eine solche DB beschrieben, die aus drei Tabellen mit folgenden Informationen besteht:

1. Tabelle mit den Stammdaten der Bohrungen:

Bezeichnung (Name) der Bohrung, Kennzeichen der Bohrung in der Zentralen Geologischen Datenbank, Nummer des Kartenblattes, Nummer der Bohrung, administrative Daten, Ziel des Bohrens, Tiefe der Bohrung

2. Tabelle mit den lithologischen Daten der Bohrungen:

Tiefe der Schichtober- und -unterkanten, lithologische Beschreibung, Grundlage der Beschreibung

3. Tabelle mit den stratigraphischen Daten der Bohrungen:

Tiefe der Schichtober- und -unterkanten, stratigraphische Beschreibung

Die Tabellen der DB sind über eine eindeutige ID verknüpft. Der entworfene Tabellensatz erlaubt, neue Bohrungen, die in den Beständen der Zentralen Geologischen Datenbank des PIG-PIB noch nicht erfasst sind, problemlos zu ergänzen.

Die Informationen zu neuen Bohrungen können aus geologischen Archivunterlagen (s. Abschnitt 2.1) entnommen werden. Der analog oder gescannt vorliegende Inhalt des lithologischen Profils wird in der DB mit einem Verweis auf das Originaldokument digital erfasst und ist dann über ein Bearbeitungsfenster editierbar. Die DB bietet Werkzeuge zur Auswahl, Filterung und Prüfung der Bohrungen sowie zur Codierungsunterstützung (z.B. Umkreisanalyse) an.

Mehrere Bearbeiter können parallel auf die im Netzlaufwerk abgelegten Tabellen über ihr eigenes Formular zugreifen. Bei jedem schichtbezogenen Eintrag in die Tabellen der DB wird zusätzlich ein Verweis auf den Bearbeiter gespeichert. In der DB gibt es zudem die Möglichkeit, den Codierungsfortschritt abzufragen. Die Nutzung der DB hat die Kommunikation zwischen den Bearbeitern während der Klärung von Zweifelsfällen erheblich erleichtert.

Zur Erarbeitung des geologischen 3D-Modells wurden Punktdatensätze aus Bohrungsinformationen erstellt. Dazu wurden die Schichten der Bohrungen mit Hilfe der

Benutzeroberfläche der DB mit dem HGE-Schlüssel und der Stratigraphieinformation des Normalprofils, die als Liste zur Auswahl in der Datenbank hinterlegt sind, codiert.

#### Technische Vorgehensweise in Sachsen

Nach einer Analyse der in der Schichtdatentabelle vorhandenen Kombinationen aus Stratigraphie und Petrographie, gegebenenfalls in Verbindung mit der Lage in einer geologischen Einheit auf der geologischen Karte 1 : 50.000, werden Schichten zu Gruppen zusammengefasst. Für diese Gruppen werden dann Kriterien für die Zuweisung des Codes festgelegt, mit denen dann in ACCESS Datenbank-Abfragen auf die Schichtdatentabelle formuliert werden (gruppierte Codierung). Dies ist nur möglich, wenn eine genaue Stratifizierung (mindestens entsprechend der Genauigkeit der definierten HGE) **und** eine Beschreibung der Petrographie vorliegen. Für alle Schichtdatensätze ist dies nicht gegeben. Danach erfolgt die Überprüfung der gruppierten Codierung sowie die schrittweise Codierung der restlichen Schichten mit Hilfe der geologischen Karten und mit umgebenden Bohrungen.

Der Vorteil der gruppierten Codierung besteht in der schnellen Codierung einer großen Anzahl von Schichten. Da es jedoch in vielen Fällen nicht möglich ist, die gesamte Schichtenfolge mit den Abfragen zu erfassen, ist eine Überprüfung und Nachbearbeitung aller gruppiert codierten Bohrungen unumgänglich, was ebenfalls einen erheblichen Zeitaufwand erfordert. Daher muss je nach Datenlage, Zeitrahmen und Genauigkeitsanforderung abgewogen werden, welcher Codierungsweise (gruppiert + schichtweise oder gezielt aufschlussweise) der Vorrang gegeben werden soll.

Der codierte Bohrdatensatz des polnischen und des deutschen Teams wird dann mit Hilfe eines Python-Skriptes in eine GoCAD-kompatible Textdatei (.py) überführt, die zu den HGE nur folgende Informationen enthält: Bezeichnung, Koordinaten, Ansatzhöhe, Code sowie Unterkanten und Mächtigkeiten.

#### 5.2.2 „Künstliche“ (virtuelle) Stützstellen

Für die Konstruktion der HGE finden nur Schichten Verwendung, die die Basis der Einheiten erreichen. Dadurch dezimiert sich die Anzahl der verwendbaren Bohrungen mit der Tiefe und ist für eine 3D-Modellierung oft nicht ausreichend. In diesem Fall muss mit Hilfe von Expertenwissen auf „künstliche“ (virtuelle) Stützstellen zurückgegriffen werden. Diese werden sowohl als Einzelschichten als auch als Schichtenfolge („virtuelles Bohrprofil“) angelegt. Es werden neue „virtuelle Bohrprofile“ erzeugt oder vorhandene Bohrungen verlängert. Die

Erstellung von örtlich konsistenten Schichtenfolgen ist der Verwendung von verteilten Stützstellen, die nur aus der einzelnen Schichtinformation bestehen, vorzuziehen, da auf die letztgenannte Weise die Möglichkeit besteht, dass problematische Interpolationsergebnisse erzeugt werden (z. B. Durchdringungen von interpolierten Flächen). Bei der Verlängerung von bestehenden Bohrprofilen kann die Zusatzinformationen der Mächtigkeit nicht durchteufter Schichten genutzt werden. Beachtet man diese „unscharfe“ Information nicht, kann es in den betroffenen Bereichen zur Interpolation einer zu geringen Schichtmächtigkeit kommen.

Für die Stützstellen einer HGE oder HGE-Folge werden Koordinaten, eine Ansatzhöhe sowie eine Schichtunterkante und/oder eine Mächtigkeit definiert. Diese Informationen zu den „künstlichen“ Stützstellen werden, wie die Bohrdaten, mit Hilfe eines Python-Programms in eine GoCAD-kompatible Textdatei (.py) überführt.

Abbildung 6 gibt ein Beispiel wie innerhalb der Verbreitung einer HGE Stützstellen einerseits gleichmäßig zwischen die verfügbaren Bohrungen und andererseits verdichtet entlang der Verbreitungsgrenze gesetzt wurden.

## **5.3 Liniendaten**

### **5.3.1 Basis- und Mächtigkeitsisolines von Schichtlagerungskarten**

Die Verwendung von Basis- oder Mächtigkeitsisolines geologischer Einheiten, wie sie auf Schichtlagerungskarten dargestellt werden, wird ausdrücklich empfohlen, da räumliche Strukturen, wie quartäre Rinnen oder Terrassen entlang von Gewässern nur allein mit einer unregelmäßig verteilten Bohrdatengrundlage mit Punktabständen von in der Regel 100-500 m nicht plausibel abgebildet werden können. Es wäre die Verwendung einer Vielzahl von Stützstellen erforderlich. Sie müssen jedoch vor Verwendung, wie auch die Verbreitungen, an den aktualisierten Bohrdatenbestand angepasst werden. Es kann auch sinnvoll sein, ergänzend Höhenlinien der Basis der Zieleinheit mit einer GIS-Software selbst zu erarbeiten.

Die folgende Abbildung 4 zeigt Basisisolines aus der Lithofazieskarte Quartär 1 : 50.000 Blatt Niesky innerhalb der Verbreitung elsterzeitlicher fluvialer Terrassenschotter (Mittlere Mittelterrasse). Während die Teilverbreitung der fluvialen Bildung rechts im Bild gut mit durchteuften Bohrungen belegt ist, sind die Teilverbreitungen in der Bildmitte nur schlecht belegt und die Bohrungen zudem ungünstig verteilt. Die Modellierung dieser Teilobjekte der HGE würde ohne die Verwendung der Information aus den Basisisolines der Einheit kein plausibles Ergebnis ergeben. Die Basisisolines können sowohl in die 3D-Software GoCAD als



Linien-Shape importiert und direkt zur Konstruktion der Basisflächen der HGE verwendet werden als auch in eine Punktreihe mit Höhenattribut umgewandelt werden, um die Punktdatenbasis der „künstlichen“ Stützstellen zu ergänzen.

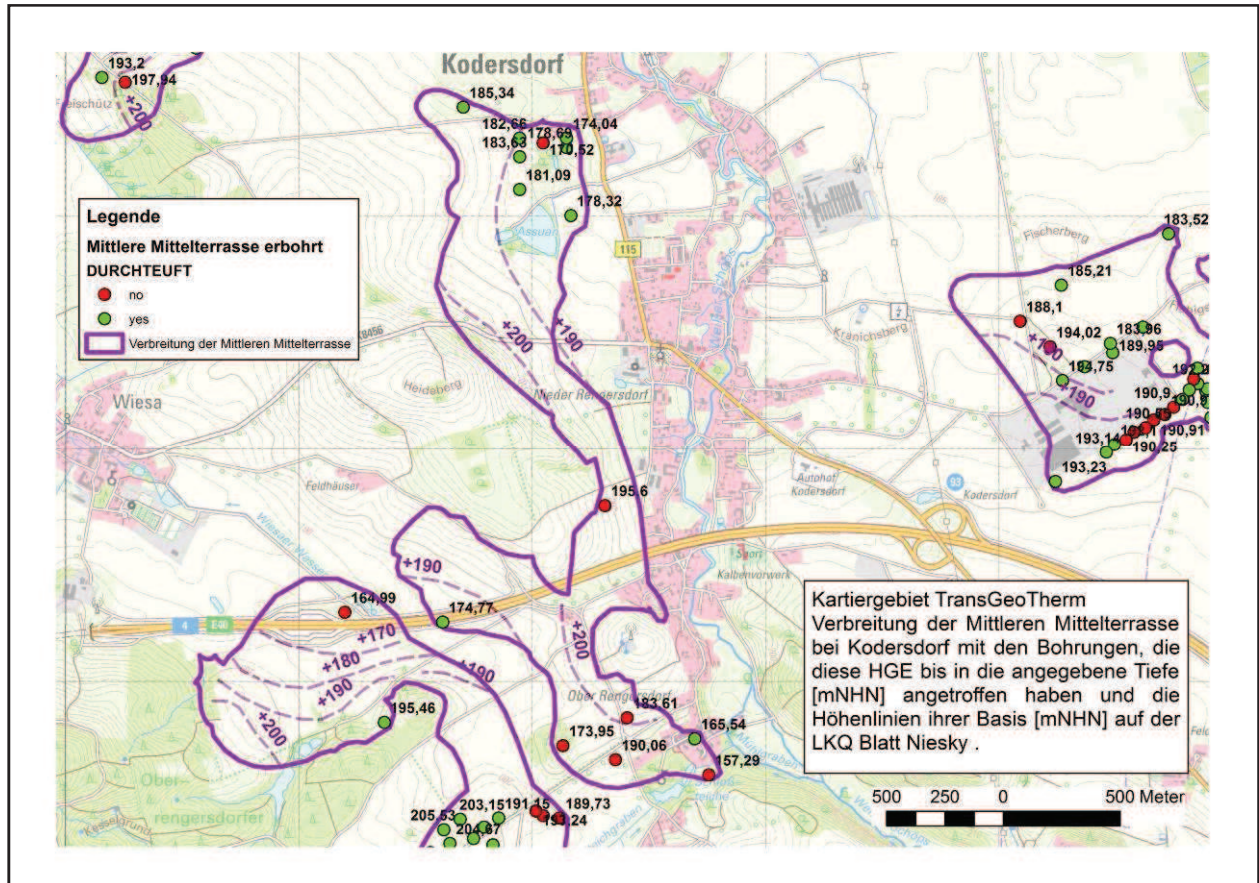


Abbildung 4: Verwendung von Höhenlinien der Basis geologischer Einheiten für die 3D-Modellierung.

### 5.3.2 Tektonische Elemente

Der Verlauf tektonischer Elemente wird als Linieninformationen aus den geologischen Karten übernommen. In unterschiedlichen Kartenwerken und Maßstäben können sie unterschiedlich dargestellt sein. In der Regel müssen Informationen aus mehreren Karten hinsichtlich der Zielauflösung („Zielmaßstab“) ausgewählt und homogenisiert werden. Im Projekt *TransGeoTherm* werden nur Störungen mit relevanten Versätzen der HGE dargestellt.

Zu tektonischen Liniendaten aus Kartenwerken liegt nicht immer eine Information zum Einfallen der Störungen vor. Diese ist jedoch für die Erstellung eines 3D-Modells unumgänglich. Daher müssen zu Beginn der Bearbeitung die relevanten Störungselemente bestimmt und mit einem Attribut des Einfallwinkels versehen werden. Dieser kann auch 90° betragen und wird in der Regel verwendet, wenn keine weiteren Informationen vorliegen.

### 5.3.3 Geologische Schnitte

Geologische Schnitte können in der 3D-Umgebung zur Konstruktion der HGE verwendet werden. Sie werden als Bilder (z. B. im jpg-Format) in das GoCAD geladen (siehe Abb. 5), auf die Schnittspur projiziert, an den Bohrungen justiert und nachdigitalisiert. Werden in einem Schnitt mit Überhöhung geringmächtige Einheiten dargestellt, ist die Nachdigitalisierung schwierig und führt stellenweise zu Unstimmigkeiten mit dem Punktdatenbestand. Da der Verlauf von geologischen Schnitten in der Regel nach der Lage der Bohrungen und senkrecht zum Einfallen der geologischen Einheiten gewählt wird, weisen die Schnitte meist mehrere Richtungswechsel auf. In GoCAD muss der Schnitt an jedem „Knick“ auf die entsprechende Bohrung bezogen werden. Für das Projekt *TransGeoTherm* steht für diesen aufwendigen Arbeitsschritt eine Python-Programmroutine für die GoCAD Version 2009.2 zur Verfügung. Die Schnitte werden zur besseren Handhabung als schwarz-weißes Bild eingebunden. Der Nutzen der Verwendung des gesamten geologischen Schnittes, ausgewählter Bereiche oder einzelner Elemente sollte aufgrund der oben genannten Probleme im Vorfeld abgewogen werden. Alternativ ist eine Überführung von Schnittinformationen in ein GIS-Format eine weitere Möglichkeit der Datenverdichtung und der gezielten Modellerarbeitung.

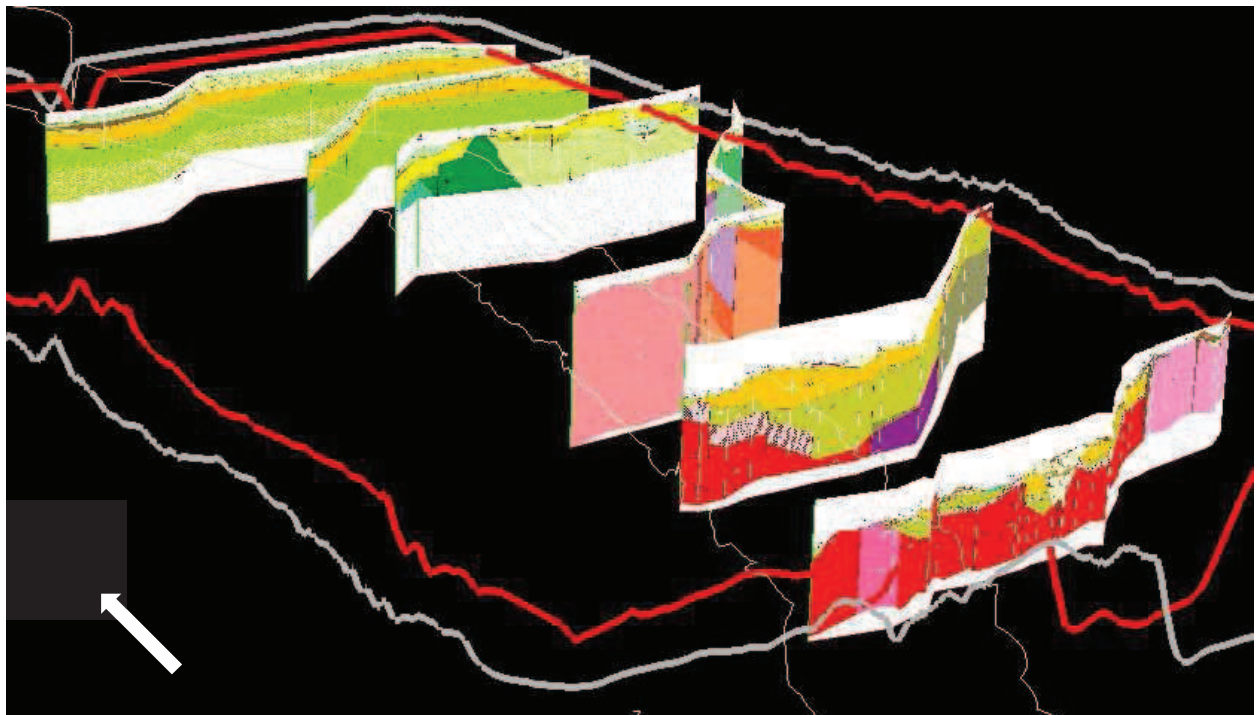


Abbildung 5: Einbindung von geologischen Schnitten in die Software GoCAD als Modelliergrundlage. Die Schnitte überspannen den polnischen Teil des Kartiergebietes und den gemeinsamen inneren Pufferbereich entlang der Neiße (dünne graue Linie). Die dickere rote Umrisslinie



umfasst das gemeinsame Kartiergebiet, die dickere graue den äußeren Pufferbereich um das Projektgebiet.

## 5.4 Flächendaten - Erstellung der Verbreitungen

Verbreitungsgrenzen (Maximalausdehnung einer Modelleinheit in Horizontalprojektion) sind entscheidende Eingangsdaten für die 3D-Modellierung. Sie werden aus den Ausstrichflächen der geologischen Karten, den Verbreitungen der Horizontkarten und dem Bohrungsbestand abgeleitet.

Bevor die Ausstrichflächen von einer geologischen Karte selektiert werden, ist eine Prüfung der Gesamtplausibilität des verwendeten Höhenmodells zur obersten Modelleinheit erforderlich. Für diese Prüfung sollten neben dem Höhenmodell großmaßstäbliche topographische Karten (TK25, TK10) und Luftbilder herangezogen werden. Divergenzen zwischen den Karten und dem Höhenmodell sind oft an den Talrändern zu finden, wo Bildungen am Hang und im Tal aufeinander treffen, die genetisch an die Morphologie gebunden sind. Häufig müssen die auf der geologischen Karte dargestellten Verbreitungen der Talsedimente verkleinert werden.

Zur Anpassung der Kartengrundlagen können GIS-Werkzeuge aus der Kategorie „Topologie“ zum Einsatz kommen mit denen die Ausstrichgrenzen fehlerfrei verschoben werden können. Wenn diese Werkzeuge nicht zur Verfügung stehen, müssen die geologischen Grenzen zeitaufwendig umdigitalisiert werden.

Die Ausstrichflächen und Verbreitungen der HGE werden aus den verschiedenen digitalen Karten über ihr Attribut selektiert und zunächst untereinander verglichen, um inhaltliche Widersprüche zu erkennen und zu klären. Problematisch sind Koordinatenverzerrungen, die für einige Kartenwerke (z. B. LKQ) bekannt sind. Dann folgt der Abgleich mit den validierten codierten Aufschlusssdaten. Ergibt der aktuelle Befund eines Aufschlusses, dass die laut Verbreitungsgrenze anstehende Einheit nicht vorhanden ist, wird die Verbreitung reduziert. Analog werden Verbreitungen erweitert, wenn das Vorkommen nachgewiesen ist. Dieser Arbeitsschritt wird *im Projekt TransGeoTherm* mit einer GIS-Software realisiert, kann aber bei entsprechenden softwareseitigen Voraussetzungen auch innerhalb der 3D-Umgebung erfolgen.

Ein Schema zur Vorbereitung der Punkt- und Flächeninformationen für die 3D-Modellierung zeigt Abbildung 6. Darin ist illustriert, wie zunächst die Verbreitung aktualisiert und anschließend mit Hilfe „künstlicher“ Stützstellen das gesamte Stützpunktnetz so verdichtet

wird, dass anschließend eine sinnvolle und realitätsnahe Konstruktion möglich wird. Der Prozess ist iterativ, d. h. ist bei der Modellierung ersichtlich, dass die Anzahl, Verteilung oder Qualität der Stützpunkte nicht zufrieden stellt, muss der Datensatz überarbeitet und eine neue Berechnung der Geoobjekte durchgeführt werden.

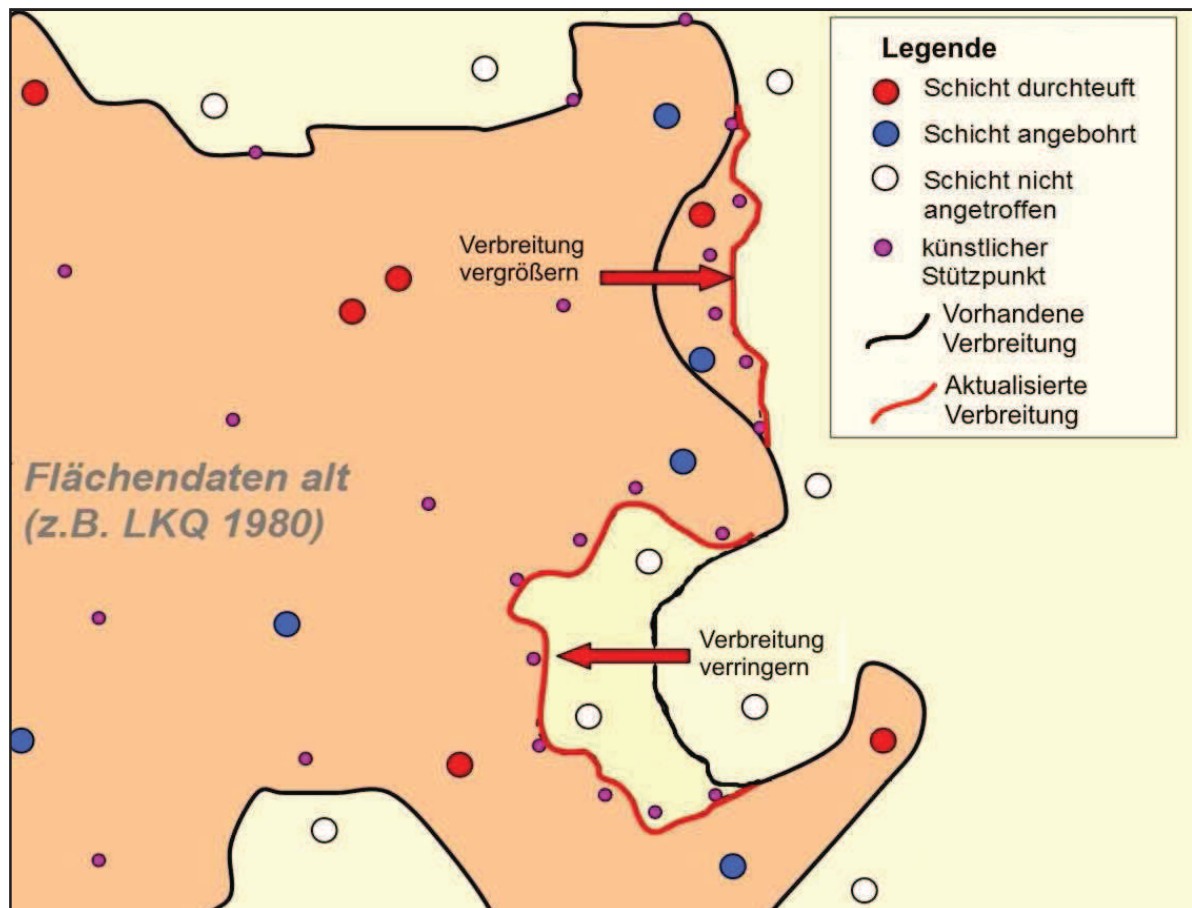


Abbildung 6: Schema der Erzeugung aktualisierter Verbreitungsflächen.

Geringfügige Überlappungen der Verbreitungen (z. B. im Bereich von Einmündungen von Flüssen, im Übergang von Hang- und Talbildungen,...) sollten auf Plausibilität geprüft und möglichst vermieden werden, um die Modellkonstruktion zu vereinfachen.

Im Projekt *TransGeoTherm* werden die Stützpunkte der Verbreitungsgrenzen in GoCAD auf die Hälfte der Rasterweite verdichtet. Dieser geringe Abstand der Stützpunkte ermöglicht eine feine Vermaschung der Dreiecke bei der Flächenkonstruktion und eine rastergenaue Anpassung der Flächen. Verdichtet werden kann mit dem Werkzeug „Densify“ der „Surface-Toolbar“.

## 6 3D-Modellierung

Modelliert werden HGE entsprechend dem Normalprofil. Diese sind geometrisch durch ihre Deck- und Basisfläche in ihrer Verbreitung definiert. Alternativ kann die Definition über eine der Flächen und die Mächtigkeit erfolgen. Mehrere lückenlos sich überlagernde und aneinander grenzende HGE mit gemeinsamer Seitenbegrenzung bilden das 3D-Modell, das zur Berechnung der geothermischen Karten verwendet wird.

### 6.1 Mastergrid

Um einen eindeutigen Bezug zwischen den Bearbeitungsgebieten der Projektpartner herzustellen, wird im Projekt *TransGeoTherm* ein „Mastergrid“ mit einem Raster von 25x25 m und der Erstreckung X [UTM]: 486150-513600 und Y [UTM]: 5647650-5696200 erzeugt und von beiden Projektpartnern verwendet. Dabei trägt der Mittelpunkt der Rasterzelle den Wert. Die Festlegung dieser Randbedingungen ist eine Grundvoraussetzung für die Verschneidung von verschiedenen Grids.

### 6.2 Modellbegrenzung

#### 6.2.1 Erstellung der Modelloberfläche aus einem digitalen Höhenmodell

Die obere horizontale Begrenzung des Modells wurde aus einem DGM2 abgeleitet, das mit dem Werkzeug „Blockstatistik“ der ArcGIS-Erweiterung Spatial Analyst schrittweise in ein DGM25 überführt wurde. Dieses DGM25 wird für die Verwendung als Modelloberfläche modifiziert. Dabei sind sowohl die Gesamtplausibilität als auch signifikante lokale Auffälligkeiten zu prüfen und anzupassen.

Um zu vermeiden, dass kleinräumig geologisch unplausible Mächtigkeitsverteilungen oder Strukturen in den Deckflächen der oberflächennahen HGE entstehen, ist die Eliminierung von Infrastruktur (z. B. Gebäude, Dämme, Straßen, Brücken) notwendig.

Im Bereich von Gewässern stellen Höhenmodelle die Gewässeroberflächen dar. Für die Konstruktion der Modelloberfläche muss daher von dieser Höhe die Gewässertiefe (bekannt oder geschätzt) rastergenau abgezogen werden. Diese Korrektur wird im Bearbeitungsgebiet angewendet auf Fließgewässer mit einer Mindestbreite von 50 m (= 2-fache Rasterweite) und stehende Gewässer mit einer Mindestgröße von 1 ha. Die entsprechenden Gewässerflächen können den Informationsebenen des ATKIS (Amtliches Topographisch-Kartographisches

Informationssystem) entnommen werden, das Flächengrößenangaben zu den Gewässern bereitstellt. Ist kein derartiges Shape vorhanden, müssen die Gewässer anhand einer topographischen Karte digitalisiert werden.

#### Technische Vorgehensweise unter Verwendung von ArcGIS:

Um signifikante Unstimmigkeiten und hervortretende Infrastrukturelemente zu identifizieren wird zuerst eine Schummerungsansicht (Hillshade) für das erzeugte DGM25 des Bearbeitungsgebietes erstellt. Dadurch ist das Relief besser erkennbar. Anschließend wird es mit der transparent eingestellten topographischen Karte 1 : 25.000 überlagert und systematisch, Rasterzeile für Rasterzeile, in einem festgelegten großen Maßstab (z. B. 1 : 2000) mit dieser abgeglichen. Um jede fehlerhafte Stelle wird ein Polygon erzeugt, das den Bereich überspannt. Bei langgestreckten Fehlerbereichen ist es örtlich erforderlich, mehrere Polygone zu erstellen. Die Polygone werden anschließend in ein DGM25-kompatibles Raster („Polygon-Raster“) umgewandelt. Dann werden im DGM25 alle Rasterzellen gelöscht (zu NULL-Werten umgewandelt), die im Bereich der „Polygon-Raster“ liegen. Mit dem Raster Calculator unter Verwendung der „Con“-Funktion (Spatial Analyst Tools / Map Algebra/ Raster Calculator) und der Statistikfunktion „FocalStatistic“ werden die „Löcher“ wieder geschlossen.

Das Ergebnis der Prozedur ist auf Plausibilität zu prüfen. Gegebenenfalls muss der Vorgang wiederholt werden. Wenn sich die modifizierten Bereiche am Rand des DGM befinden, kann es nach der Füllung dazu kommen, dass das DGM25 dort vergrößert wird. Dies kann mit dem Werkzeug „Extract by Mask“ (Spatial Analyst Tools / Extraction / Extract by Mask) mit Hilfe des DGM25-Originaldatensatzes korrigiert werden.

Innerhalb der anzupassenden Gewässerflächen werden mehrere „Ringpuffer“ parallel der Umrisslinie im Abstand der Rasterweite (hier 25 m) erzeugt (Analysis Tools / Proximity / Multiple Ring Buffer). Diesen Ringen werden plausible negative Werte für die Gewässertiefe zugewiesen. Anschließend werden diese Wertebereiche in ein DGM25-kompatibles Raster umgewandelt (Conversion Tools / to Raster / Polygon to Raster mit der Umgebungseinstellung „DGM25 als Fangraster“). Anschließend wird das fehlerbereinigte DGM25 mit dem „Gewässertiefe-Raster“ über die „Con“-Funktion mit dem Raster Calculator aufaddiert (Spatial Analyst Tools / Map Algebra / Raster Calculator).

Bei den verschiedenen Konvertierungsschritten ist auf eine mögliche ungewollte Änderung oder Eliminierung des Dezimaltrennzeichens zu achten.

Das bereinigte DGM25 wird nun auf das festgelegte „Mastergrid“ des Modellgebiets mit Hilfe des Werkzeuges „Resampling“ (Data Management Tools / Raster / Raster Processing / Resample) angepasst. Das Ergebnis ist eine verwendbare Modelloberfläche.

#### 6.2.2 Erstellung der Modellbasisfläche aus der Modelloberfläche

Für die Berechnung der geothermischen Karten mit der verfügbaren GIS-Erweiterung des LfULG (siehe 8.2) ist eine Tiefenerstreckung des 3D-Modells von der Geländeoberfläche bis in 130 m Tiefe erforderlich. Um bestimmte geologische Strukturen und ihre Lagerungsverhältnisse vollständig darzustellen wurde die Modellbasisfläche für die vorliegende Bearbeitung bei 340 m unter der Modelloberfläche angesetzt. Damit werden die tiefen Sedimentationsräume im Kartiergebiet (z. B. Berzdorfer Becken, Becken von Radomierzyce,...) bis zur „Beckenbasis“, ergänzt um 20 m unterlagerndes Grundgebirge, erfasst.

##### Technische Vorgehensweise (ArcGIS, GoCAD):

Zur Erstellung der Modellbasisfläche wird die Modelloberfläche auf 1000 m geglättet (Datamanagement Tools / Raster / Raster Processing / Resample). Anschließend werden in ArcGIS die Rasterwerte um den vertikal zu verschiebenden Wert verringert, in diesem Fall um 340 m. Nach erfolgter Vertikalverschiebung wird das Raster wieder verfeinert. Dies geschieht mit dem Werkzeug Resample (Datamanagement Tools / Raster / Raster Processing / Resample). Die vertikale Verschiebung kann auch in der 3D-Umgebung erfolgen.

Zur Verwendung in GoCAD werden die Rasterdatensätze in Punkt-Shapes umgewandelt.

#### 6.2.3 Seitenbegrenzung und „äußerer“ Puffer

Für das Projekt *TransGeoTherm* wird ein Modellgebiet (siehe Abb. 7) von acht Kartenblättern (4655, 4656, 4755, 4756, 4855, 4856, 4955, 4956) mit dem Maßstab 1 : 25.000 entlang der Neiße bearbeitet. Dabei liegt etwa die Fläche von jeweils vier Kartenblättern auf sächsischem und auf polnischem Gebiet. Das Gesamtgebiet wird aus rechentechnischen Gründen mit einem „äußeren“ Puffer von 2 km versehen und für diesen Bereich ebenfalls eine Datenvorbereitung durchgeführt. Das mit dem Puffer erstellte Modell wird nach Fertigstellung auf die Fläche der acht Kartenblätter beschnitten. Bei internationalen Projekten ist, um Missverständnisse zu vermeiden, darauf zu achten, dass Blattschnitte eines Maßstabs unterschiedlich bemessen sein können.

#### 6.2.4 „Innerer“ Puffer

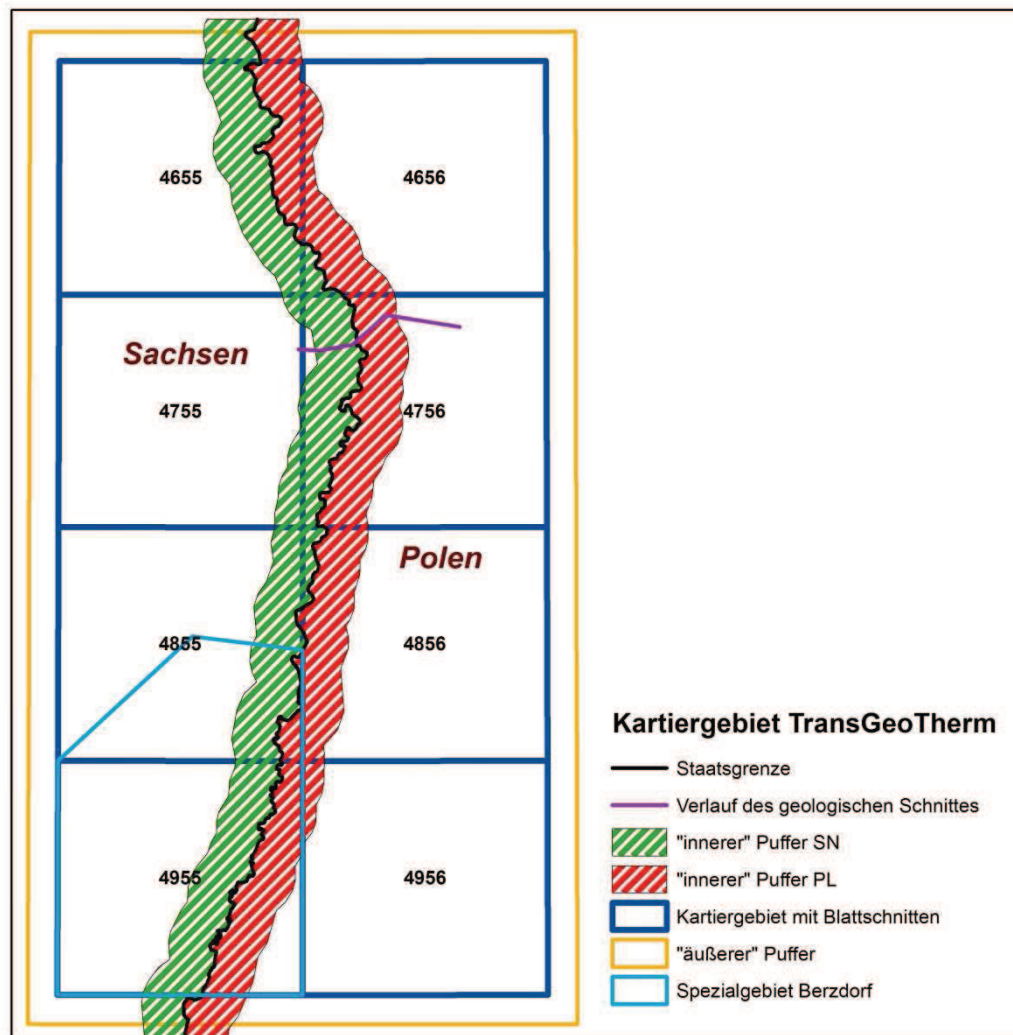


Abbildung 7: Kartiergebiet *TransGeoTherm* mit den Pufferbereichen und den Blattsnitten 1 : 25.000.

Entsprechend den Anforderungen an ein konsistentes Gesamtmodell für die Neiße-Region wird zwischen den Bearbeitungsgebieten der Projektpartner ein 4 km breiter gemeinsamer Pufferstreifen, der „Innere Puffer“, entlang der Neiße definiert, der als Testgebiet für die Umsetzung aller erforderlichen Arbeitsschritte der Modellierung sowie der Sicherstellung eines stetigen Übergangs der Modelle der Projektpartner im Grenzgebiet dient. Er wird zuerst modelliert und gilt für die weiteren Arbeiten als verbindlich (siehe Abb. 7).

Um beiden Partnern gleiche Erfahrungen zu ermöglichen und eine optimale Arbeitsteilung zu gewährleisten, wird der „innere“ Pufferstreifen nach dem Zusammenfügen der dort vorhandenen Verbreitungen in ein nördliches und ein südliches Gebiet aufgeteilt. An der Grenze



von Nord- und Südteil wird zur späteren Randanpassung ein geologischer Schnitt abgestimmt, an den die Einzelmodelle herangeführt werden.

## **6.3 Kriterien der Konstruktion**

### **6.3.1 Allgemeine Kriterien**

Für die Konstruktion der HGE dürfen nur validierte Aufschlüsse aus einem stratigrafisch und petrographisch räumlich widerspruchsfreien Bohrungsdatenbestand verwendet werden, für die eine Einstufung in das Normalprofil erfolgte. Es soll ein topologisch korrektes „Blockmodell“ ohne Lücken und ohne Überlagerungen der Modelleinheiten erzeugt werden. Die Lagerungsverhältnisse müssen mächtigkeits- und schichtgrenzentreu abgebildet werden. Bei der Konstruktion der Geoobjekte dürfen sich Oberflächenformen wie z. B. Flussläufe, Straßenböschungen oder Bahndämme nicht nach unten „durchpausen“.

Zur Berechnung der geothermischen Karten werden die Rasterdatensätze zu den Geoobjekten in einer Auflösung von 25x25 [m] erzeugt. Erfahrungen zeigen, dass mit der Auflösung von 50x50 [m] vor allem bei sehr schmalen Geometrien (z. B. Talsedimente) oder bei starker Hangneigung eine korrekte topologische Abbildung des Untergrundes an Grenzen stößt.

### **6.3.2 Flächengrößenkriterium**

Für die Verbreitungsflächen (Maximalverbreitung der HGE in Horizontalprojektion) wird eine Mindestgröße von 10.000 m<sup>2</sup> (1 ha) je Teilfläche der Einheit festgelegt. Das Kriterium gilt ebenfalls für „Fenster“ in den Verbreitungen. Zu kleine Flächen werden mit dem umgebenden Modellkörper plausibel „verschmolzen“ und Fenster aus den Verbreitungen entfernt.

Langgestreckte Strukturelemente (z. B. Gänge, geringmächtige Einschaltungen, enge Täler) werden kartiert, wenn ihre Breite mindestens 25 m beträgt. Zu beachten ist, dass sie in der Regel in kleinmaßstäblichen Karten (ab 1 : 50.000) überproportional dargestellt sind.

### **6.3.3 Randanpassung**

Soll das Modell ein schon bestehendes Modell ergänzen bzw. das Modell später erweitert werden, ist eine Randanpassung zu berücksichtigen. Die Randanpassung an umgebende Modelle ist im mathematischen Sinne stetig und entsprechend differenziert zu gewährleisten. Es dürfen keine Höhenänderungen (Mächtigkeitssprünge) auftreten und die Neigung von Trennflächen muss sich bei gebietsübergreifenden Modellkörpern kontinuierlich fortsetzen. Dabei sind

angewendete Modellvorstellungen zu übertragen und fortzuführen. Auf Abb. 8 ist dargestellt, wie geologische Einheiten der Kreidezeit über die Grenze Sachsen/Polen korreliert und im Modell kontinuierlich fortgesetzt wurden. Stellenweise kann es erforderlich sein, vorhandene 3D-Modelle im Randbereich zu modifizieren. Arbeiten zur Randanpassung sind zeitaufwendig. Daher sollte eine Aufteilung des Bearbeitungsgebietes in zu viele Teilgebiete möglichst vermieden werden.

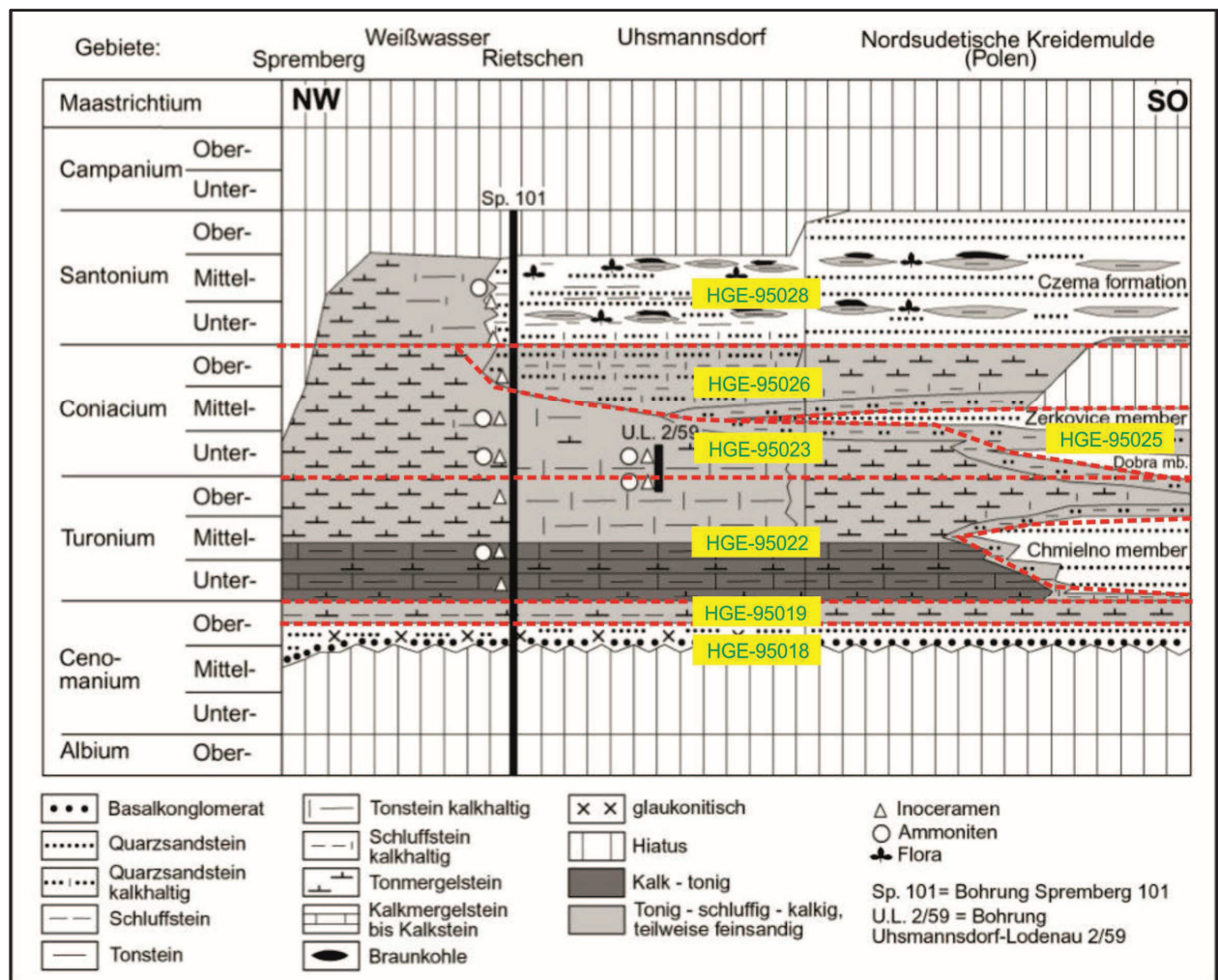


Abbildung 8: Schematische Untergliederung und Korrelation von Ablagerungen der Kreidezeit nach lithologischen und chronostratigraphischen Aspekten im sächsisch-polnischen Grenzgebiet. Die untergliederten Einheiten sind entsprechend dem Normalprofil des Kartiergebietes TransGeoTherm bezeichnet mit dem HGE-Code.



#### 6.3.4 Anthropogene Auffüllungen

Folgende Daten sind Bearbeitungsgrundlage für die Konstruktion der HGE „Anthropogene Auffüllung“:

- vorhandene Bohrungen
- aktuelles feinaufgelöstes DGM
- Geologische Karten (GK50, GK25, LKQ,...)
- Geometrien zu Rohstoffbetriebsstellen des SOBA
- Berichte und Gutachten
- Großmaßstäbliche topographische Karten (z. B. 1 : 10.000)
- Luftbilder
- TK-Internetanwendung der Landesvermessungsdienste
- Altlasteninformationen
- Digitale Landschaftsmodelle (z. B. ATKIS-DLM)

Die verschiedenen Daten werden auf **Plausibilität** und **Aktualität** geprüft, untereinander abgeglichen und zu sinnvollen Verbreitungen nach aktuellem Kenntnisstand verarbeitet.

Deponien, Halden, Aufschüttungen, Verfüllungen von Hohlformen werden in der Regel als Einzelobjekte konstruiert. Als Grundlage für die eingesetzten Mächtigkeiten dienen Unterlagen der Bergbehörden, Landratsämter und Betreiber bzw. Rechtsträger der Objekte. Sind diese nicht verfügbar, wird im Bereich von Halden und Deponien eine plausible Basisfläche der Auffüllung angesetzt und daraus sowie aus den Originaldaten des Höhenmodells die Mächtigkeit abgeleitet.

In urbanen Zentren mit dichter Bebauung ist es von Vorteil die anthropogene Auffüllung flächenhaft darzustellen, wobei in nicht erkundeten Bereichen eine Mindestmächtigkeit (hier 2 m) angesetzt wird. Grünflächen für die keine anthropogene Beeinflussung bekannt ist, werden aus der „Innenstadtfläche“ ausgenommen. Die äußere Abgrenzung der Innenstadtfläche und die Identifizierung der relevanten Grünflächen erfolgt in Anlehnung an die Flächendatensätze „SDE\_ATKIS\_Sie\_Ortslage\_F“ und „SDE\_ATKIS\_Sie\_FreiflaecheGrd\_F“ des ATKIS-DLM. Mit der „Innenstadtfläche“ verbundene kleinere Ortslagen in der Umgebung werden abgetrennt, kleinstrukturierte Bereiche örtlich manuell geglättet. Unter Umständen können hier „Glättungswerkzeuge“ einer GIS-Software zum Einsatz kommen, wobei jedoch auf die

Plausibilität der Ergebnisse zu achten ist. Natürliche Gewässer werden aus der „Innenstadtfläche“ ausgenommen.

Bei einer separaten Konstruktion der Auffüllkörpers und anschließendem „Ausstanzen“ desselben aus den unterlagernden Modellkörpern, wie bei der Bearbeitung des Spezialgebietes Berzdorf, darf nicht der Fall eintreten, dass unplausible Mächtigkeiten entstehen oder nachgewiesene bzw. zu erwartende Teile der „natürlichen“ Modellkörper danach fehlen.

#### 6.3.5 Auenbildungen

Aus hydrogeologischen Erwägungen ist eine Trennung der Schichtfolgen der oberflächennahen Talbildungen des Spätpleistozäns bis Holozäns in rollige und bindige, respektive Grundwasser leitende und Grundwasser geringleitende Anteile erforderlich. Schwierig ist diese Trennung in den mittleren und kleinen Tälern, da die Datenbelegung der kleinen Täler meist schlecht ist, die Mächtigkeiten gering sind und kleinräumige Fazieswechsel auftreten. So werden in der großen Talaue der Neiße die HGE „Auenlehm“ und „Auenkies/-sand“ getrennt konstruiert. In den kleinen und mittleren Tälern wird hingegen ein Mischkörper aus diesen Ablagerungen gebildet.

### 6.4 Modellerstellung in GoCAD

#### 6.4.1 Transformation der Grundlagendaten in GoCAD-kompatible Formate

In der Regel müssen die Daten für die Verwendung in der 3D-Umgebung vorbereitet werden. Die vorbereiteten Daten werden vor der Konstruktion der HGE in der 3D-Umgebung auf ihre Konsistenz untereinander geprüft, um im Vorfeld Fehler abzufangen, die in einer 2D-Darstellung nicht ersichtlich sind.

Für die Verwendung der Daten in GoCAD sind folgende Transformationen erforderlich:

Tabelle 2: Verwendbarkeit und Transformation der Datengrundlagen für die Modellierung in GoCAD.

Datentyp	verfügbares Datenformat	verwendetes GoCAD-Datenformat
Bohrungen	ACCESS-Tabelle	Textdatei (.py)
„künstliche“ Stützstellen	ACCESS-Tabelle	Textdatei (.py)
Modellober- und Modellbasisfläche	ESRI-Grid	Punktshape des Gridgitters

Störungen	Linien-Shape	Linien-Shape
Geologische Schnitte	GeODIN-Datei (.ggf)	.jpg-Datei
Schnittspuren	Linien-Shape	Linien-Shape
Verbreitungsgrenzen	Polygon-Shape	Polygon-Shape
Basisisolinen	Linien-Shape	Linien-Shape oder Punkt-Shape

#### 6.4.2 Konstruktionsansätze

Methodisch können verschiedene Herangehensweisen bei der Modellierung gewählt werden:

##### Erstellung eines 3D-Modells durch geologische Begrenzungsflächen

1. Erstellung von Verbreitungsgrenzen (Maximalverbreitung der HGE in Horizontalprojektion) oder Verwendung von Ausstrichflächen
2. Input des analogen regionalgeologisch-genetischen Kenntnisstandes in Form von z. B. Verlauf, Einfallwinkel und Einfallrichtung der geologischen Grenzen oder typischen, genetisch bedingten Strukturformen
3. Manuelle Konstruktion von Begrenzungsflächen oder Verwendung von „Workflows“ in GoCAD-SKUA
4. Umwandlung der modellierten Flächen in „Solids“ (optional)

Die Modellobjekte des Prätertiärs werden überwiegend mit senkrecht einfallenden geologischen Grenzen und der Prätertiäroberfläche bzw. der Modellbasisfläche erzeugt (siehe Abb. 9). Einige HGE des Prätertiärs werden mit Hilfe einfallender Störungsflächen konstruiert. Die Störungslinien werden in diesem Fall auf die Prätertiäroberfläche oder auf die Oberfläche des jeweils jüngsten tertiären Modellkörpers, die von der Störung geschnitten wird, projiziert. Anschließend erfolgt eine Duplizierung der Störungslinie und die Verschiebung der duplizierten Linie in Abhängigkeit des Einfallwinkels um bestimmte Beträge in X-, Y- und Z-Richtung. Aus beiden Linien wird dann eine Fläche erzeugt, die die HGE begrenzt. Bei dieser „schematischen“ Weise der Erstellung der Flächen ist auf die Berücksichtigung der in Bohrungen nachgewiesenen Schichtgrenzen zu achten.

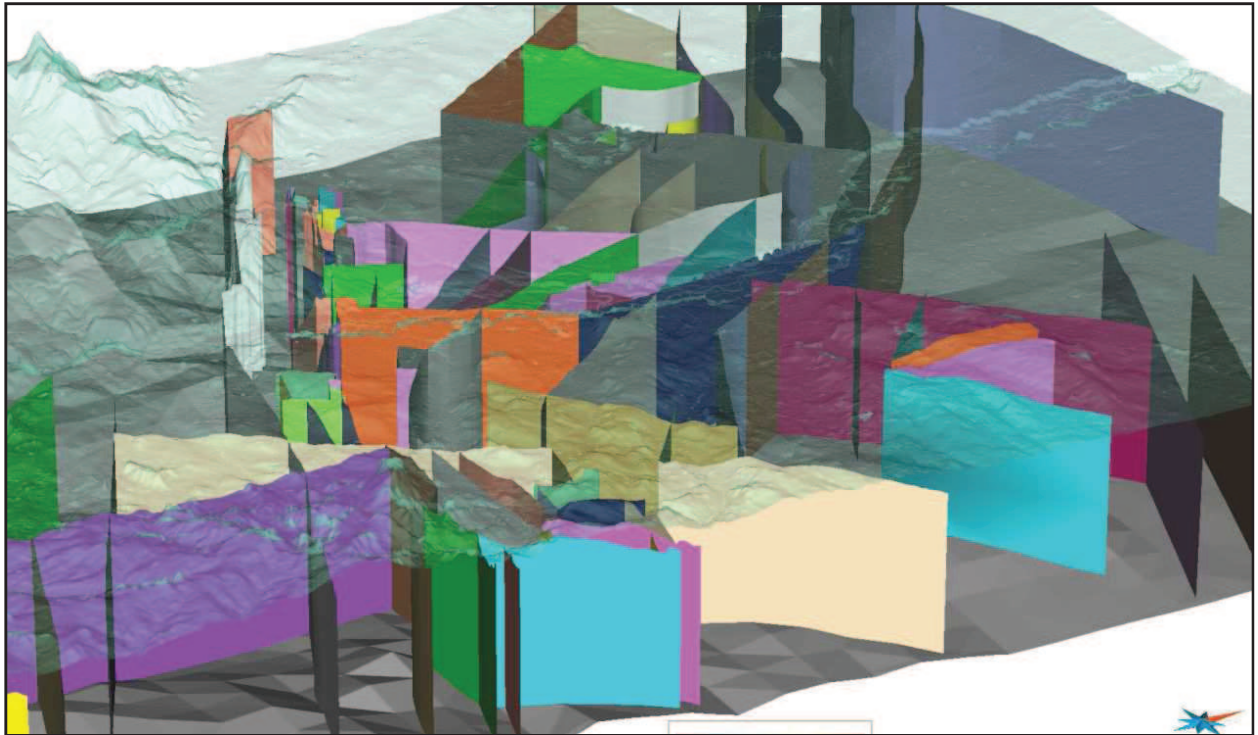


Abbildung 9: Ausschnitt aus dem 3D-Modell mit Darstellung der Störungen im Grundgebirge. Die bunten Störungsflächen sind grünlich-durchscheinend überlagert mit der Fläche des digitalen Höhenmodells (Modelloberfläche).

#### Erstellung eines 3D-Modells durch Interpolation

1. Erstellung von Verbreitungsgrenzen (Maximalverbreitung der HGE in Horizontalprojektion)
2. Manueller Input des regionalgeologisch-genetischen Kenntnisstandes: Konstruktion von virtuellen Stützstellen für die Gesamtverbreitung der HGE unter Berücksichtigung lokal nachgewiesener Schichtmächtigkeiten und der räumlichen Variabilität der Bohrungsdaten
3. (Geostatistische) Interpolation von Schichtmächtigkeiten und/oder Basisflächen unter Verwendung aller geeigneten Aufschlussdaten, virtuellen Stützstellen und bekannten Basisisolinen
4. Konstruktion des Modells über die Basisflächen der Modellkörper
5. Umwandlung der modellierten Flächen in „Solids“ aus Deck- und Basisflächen (optional)
6. Bei der Konstruktion oberflächennaher geringmächtiger Einheiten (Auenlehm, Auffülle) ist aufgrund der Unschärfen im Höhenmodell der Interpolation der Mächtigkeit der Vorrang einzuräumen. Dies darf allerdings nicht dazu führen, dass sich Oberflächenformen (z. B. Flussläufe) auf tiefer liegende Schichtflächen durchpausen, was bei der Subtraktion einer

regionalisierten Mächtigkeit von erzeugten Basisflächen überlagernder Einheiten vorkommen kann. Für die tiefer liegenden Schichten wird daher die Konstruktionsweise mit Schichtunterkanten empfohlen. Dies vermeidet zudem eine Verschleppung und Aufsummierung von Abweichungen zwischen den „harten“ Daten und den Interpolationsergebnissen nach unten.

Bei den verschiedenen Modellieransätzen können topologische Fehler (z. B. Durchdringungen mit überlagernden Flächen,...) auftreten. Diese müssen in jedem Fall vermieden werden. Wird beispielsweise bei der Interpolation eine Mindestmächtigkeit vorgegeben, können Durchdringungsfehler abgefangen werden. Eine weitere Möglichkeit besteht in der Verdichtung der Daten durch zusätzliche Stützstellen.

#### 6.4.3 Interpolation

3D-Softwareprodukte verfügen in der Regel über verschiedene geostatistische Interpolationsalgorithmen. Zur Auswahl der geeigneten Methode wird auf die Fachliteratur zur Geostatistik verwiesen. Der Einfluss des gewählten Algorithmus tritt meist jedoch gegenüber der Güte der Ausgangsdaten in den Hintergrund.

Zielstellung ist, dass der berechnete Wert exakt dem örtlich gemessenen oder beobachteten Wert entspricht (siehe Abb. 10). Dies darf jedoch nicht zur Folge haben, dass an den Orten von Bohrungen und virtuellen Stützstellen Aufwölbungen („Noppen“) oder Einsenkungen in den modellierten Flächen entstehen. Derartige Phänomene sind meist Folgen von falsch definierten Interpolationsparametern oder einer zu gering bemessenen Stützstellenanzahl.

Der überwiegende Teil der HGE des Känozoikums wurde im Projekt *TransGeoTherm* über den Ansatz der „Basisflächenmodellierung“ mit der in GoCAD verfügbaren Interpolations-Methode DSI erzeugt. DSI (Discrete Smooth Interpolation) erzeugt eine mittlere Trendfläche mit kleinster Abweichung zu den Datenpunkten. Über iterative Algorithmen wird diese Fläche dann schrittweise an die Daten bestmöglich angepasst und geglättet.

DSI kann zur Interpolation innerhalb einer Einzelverbreitung oder innerhalb eines Gebietes verwendet werden. Soll innerhalb eines bestimmten Gebietes interpoliert werden, ist die Erstellung einer „Box“ (Voxet) mit definierter Ausdehnung erforderlich. Die Basisflächen der einzelnen Modellkörper können nach erfolgter Interpolation mit den Verbreitungen ausgeschnitten werden, müssen dann aber meist nachbearbeitet werden. Eine Basisfläche kann an den Rand der Basisfläche einer überlagernden HGE (= Verbreitung) „heran interpoliert“

werden (z. B. bei Beckenstrukturen) oder durch eine senkrechte Wand („Tube“) begrenzt werden. Die Steuerung der Interpolation erfolgt mit Hilfe der Definition von „Control Nodes“ und „Control Points“ sowie durch die Definition einer Mindestmächtigkeit.

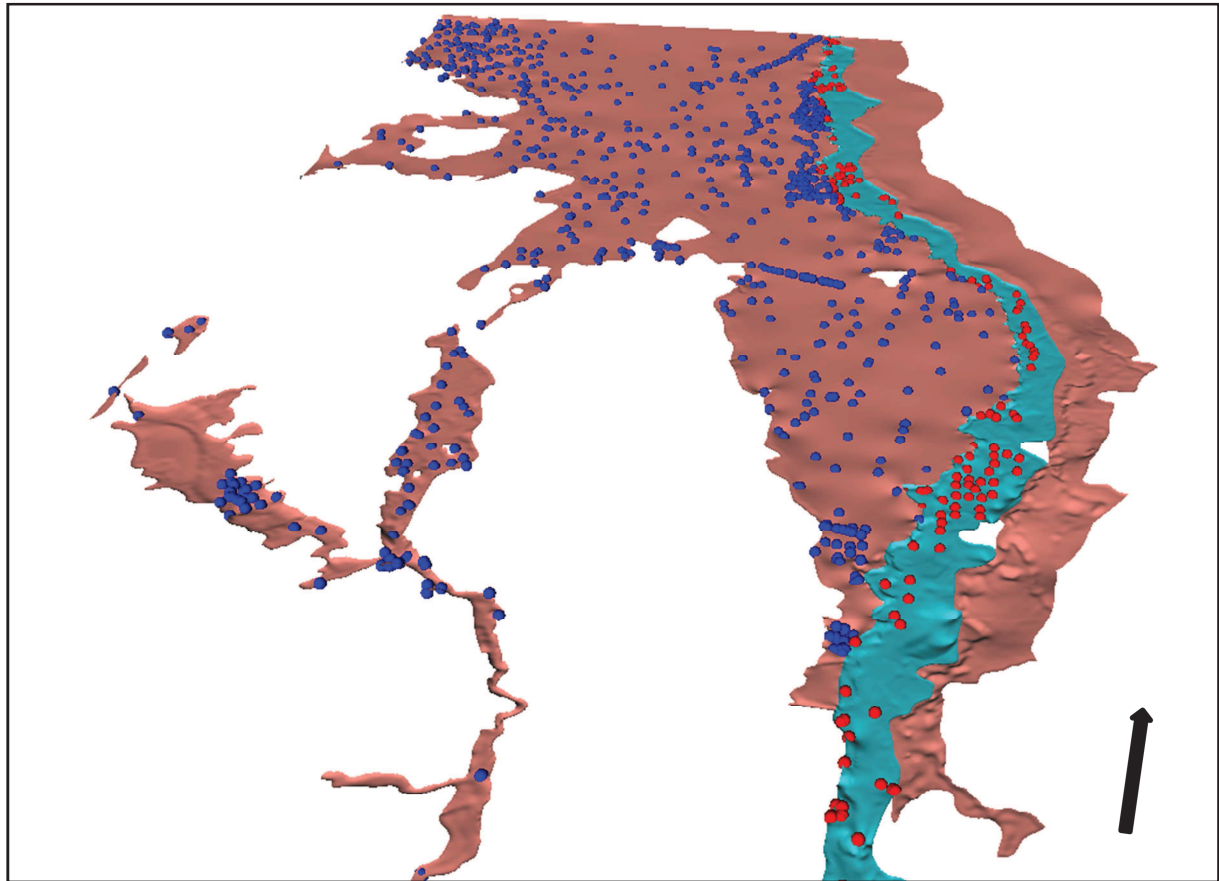


Abbildung 10: Ausschnitt aus dem 3D-Modell: Dargestellt sind die modellierten Basisflächen der quartären Einheiten Auenkies der Neiße (blau) und Höhere Niederterrasse (kupferfarben) mit Lage der zur Modellierung verwendeten Bohrungen in der Höhe der Schichtunterkante der betreffenden HGE.

## 6.5 Überführung des GoCAD-Modells in das Rasterformat

Ein mit der Software GoCAD erarbeitetes 3D-Modell kann entweder in Form dreiecksvermaschter Flächen oder als Modellkörper (sogenannte Solids) vorliegen. Im Projekt TransGeoTherm wurden dreiecksvermaschte Deck- und Basisflächen hydrogeologisch-geothermischer Einheiten (HGE) erzeugt.

Zur Berechnung der geothermischen Karten mit der GIS-Erweiterung IE Geothermie (siehe 8.2) werden die auf den Deckflächen der HGE unregelmäßig angeordneten Netzknoten in



ein regelmäßiges Punktraster mit Äquidistanzen von 25 m (oder anderen Rasterabständen) überführt (siehe Abb. 11).

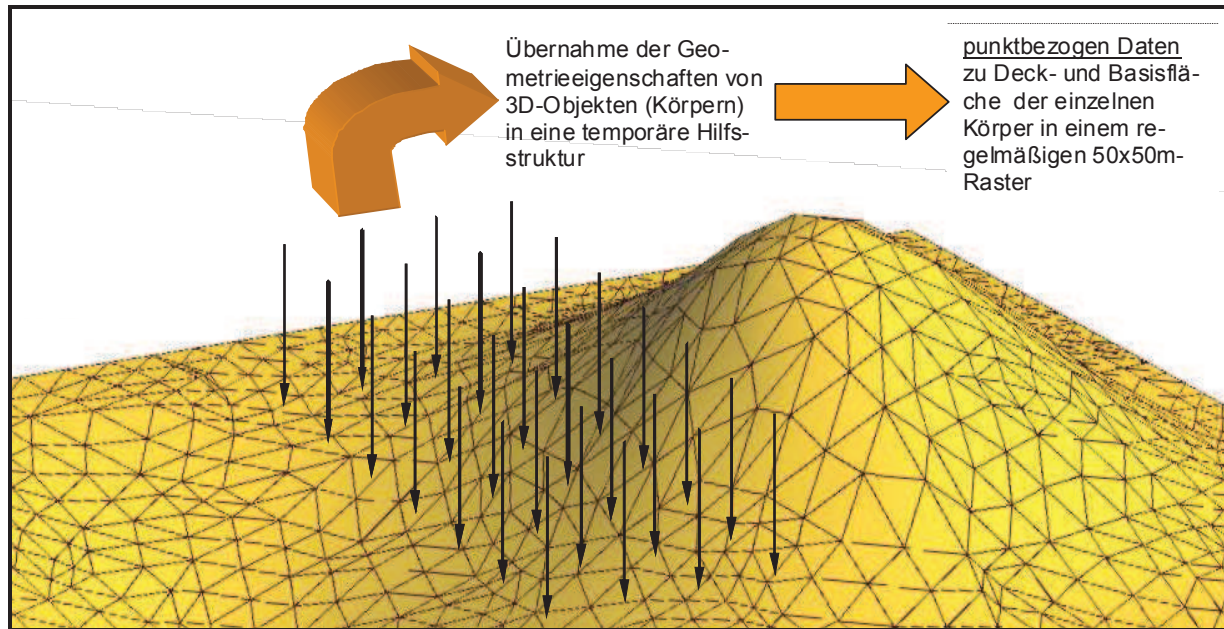


Abbildung 11: Überführung der geometrischen Eigenschaften von Modellobjekten in ein regelmäßiges Punktraster.

Dies wird bei der Bearbeitung des Projektes *TransGeoTherm* mit Hilfe einer Fläche mit regelmäßigen Dreiecken mit einer Kantenlänge von 25 m realisiert. Mit dem Befehl „Remove Crossover“ wird die Fläche auf die jeweilige Deckfläche der HGE projiziert und dann mit der entsprechenden Verbreitung geschnitten. Abschließend werden die beschnittenen Flächen in Punkte umgewandelt und können mit Höhenattribut für die weitere Verwendung exportiert und in ein Raster umgewandelt werden.

Alternativ kann ein Bohrdatensatz erzeugt werden, welcher alle 25 m eine Bohrung besitzt. Diesen „leeren“ Bohrungen werden dann „Marker“ zugewiesen werden, die sich an den Schnittstellen von Bohrungen und modellierter Fläche befinden. Die erstellten „Marker“ werden als ASCII-Datei exportiert und in ein Raster umgewandelt.

Das Ergebnis beider Varianten sind regelmäßige Raster der Höhen der Deckflächen der HGE in ihrer jeweiligen Verbreitung mit der Rasterweite 25 m.

## **6.6 Plausibilitätsprüfung**

Die Konstruktionsergebnisse müssen auf Plausibilität geprüft werden. Die Prüfung kann in der 3D-Umgebung oder an den im Rasterformat exportierten Raumdaten (Deckflächen, Basisflächen, Mächtigkeitsverteilung) erfolgen. Abgleiche sind z. B. anhand bekannter Modelle der Quartär- oder Tertiärbasis oder anderer markanter und gut erkundeter Horizonte möglich. Kleinräumige ausgeprägte Fehler sind meist gut im Grid der Mächtigkeitsverteilung identifizierbar, das aus den Raumdaten abgeleitet werden kann. Auch existiert in GoCAD zur Erstellung virtueller Profilschnitte ein Werkzeug mit dem die Raumlage der konstruierten Modelleinheiten untereinander geprüft werden kann.



## 7 Hydrogeologische Themen

### 7.1 Berechnung des Grundwasserflurabstands

In die Berechnung der geothermischen Karte geht neben den Raumdaten der hydrogeologisch-geothermischen Einheiten die Wassersättigung des Gesteins in Form eines Mastergrid-kompatiblen Rasterdatensatzes des Grundwasserflurabstands ein.

Die verfügbaren Informationen zum Grundwasserstand sind in der Regel in sehr unterschiedlicher Verbreitung, zeitlicher und räumlicher Auflösung sowie Qualität verfügbar. Generell können folgende Datenquellen zur Auswertung genutzt werden:

- vorhandene flächenhafte Berechnungen der Grundwasseroberfläche oder des Grundwasserflurabstands (müssen gegebenenfalls auf ein anderes Raster bezüglich der Lage oder der Rasterweite umgerechnet werden)
- an Grundwassermessstellen gemessene Wasserstände (z. B. staatliches Messnetz, Sondermessnetze)
- im Rahmen von Bohrarbeiten gemessene Grundwasseranschnitte und Wasserstände in Bohrlöchern
- lokale Hydroisohypsenpläne (möglichst aktuelle, ggf. auch historische)
- analoge Daten und Informationen zu Grundwasserständen aus recherchierten Gutachten und Berichten
- ausgewählte Höhen entlang von Gewässern mit Grundwasseranbindung aus einem fein aufgelösten Höhenmodell oder ALS-Messungen
- geschätzte Grundwasserhöhen als zusätzliche „künstliche“ Berechnungsstützstellen

Die hydrogeologischen Daten aus den verschiedenen Quellen unterliegen zeitlichen Schwankungen. Obwohl sie überwiegend untereinander keinen zeitlichen Bezug aufweisen, werden sie zu einem Datensatz kombiniert (siehe Abb. 12).

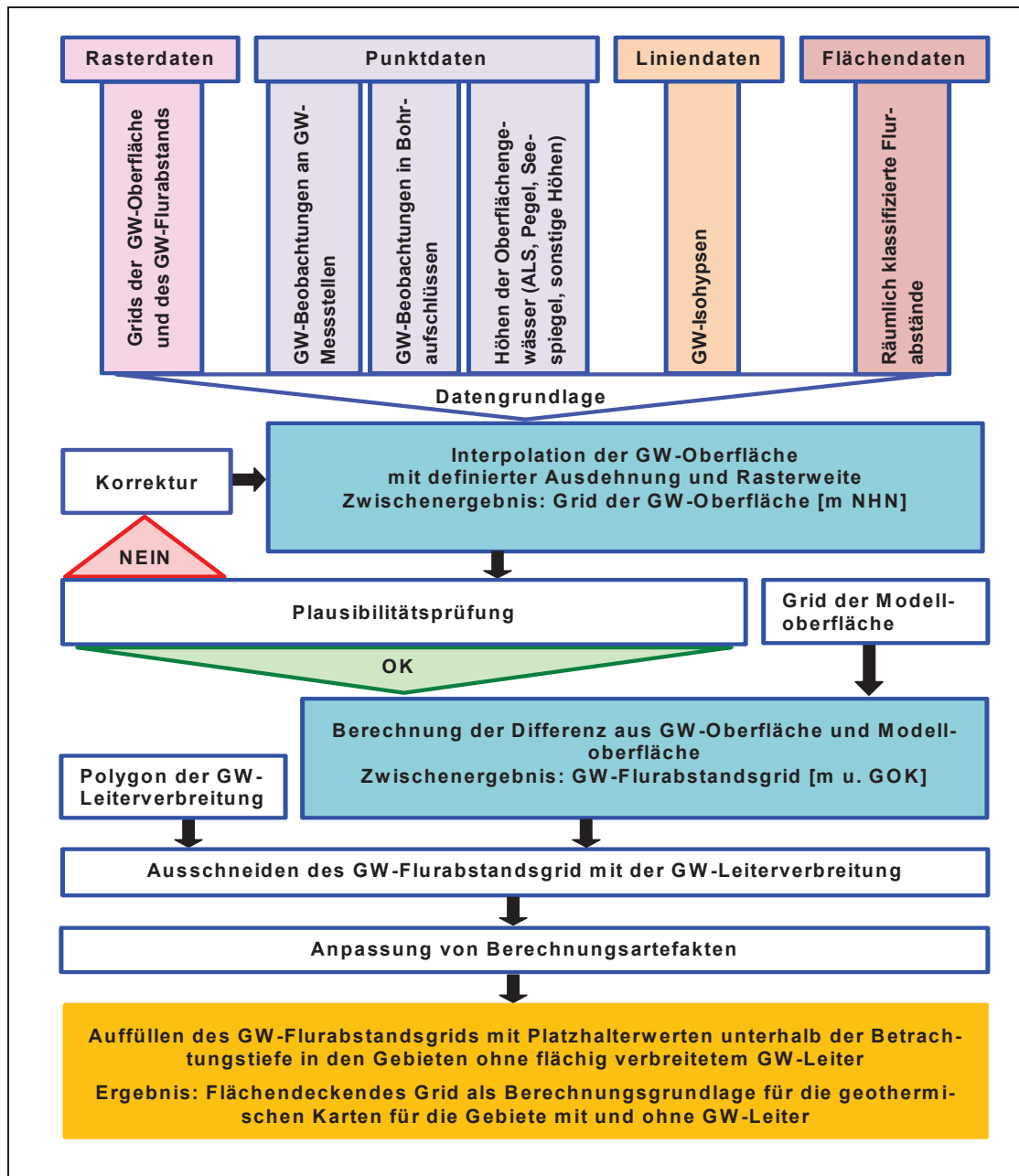


Abbildung 12: Beispiel eines Ablaufschemas zur Erstellung eines GW-Flurabstandsgrids als Berechnungsgrundlage der geothermischen Karten.

Das Projektgebiet wurde mit Hilfe der Verbreitungen der HGE schematisch in einen Bereich mit Grundwasserleiter (GWL) und einen Bereich ohne GWL gegliedert. Für den Bereich mit Grundwasserleiter wird der Flurabstand aus den oben genannten Daten erzeugt (Abb. 13).

Da das Grid des Grundwasserflurabstands im Projekt *TransGeoTherm* ausschließlich zur Berechnung der geothermischen Karten erforderlich ist, wird für Teilarbeitsschritte eine vereinfachte Vorgehensweise gewählt (Flurabstand für Gebiete ohne GWL, Anpassung von

Berechnungsergebnissen über Flur, Stichtagsunabhängige Datenzusammenstellung). Die erzielte Genauigkeit wird fachlich als ausreichend angesehen.

### Bereich mit Grundwasserleiter

Der Bereich mit GWL umfasst alle im Normalprofil als GWL bewerteten HGE (Porengrundwasserleiter der Locker- und Festgesteinseinheiten) sowie „hydrogeologische Mischeinheiten“. Es wird zwischen Gebieten mit gespanntem und ungespanntem Grundwasser unterschieden. So gilt in Gebieten mit ungespanntem Grundwasser die aus Grundwasserstandsdaten interpolierte Grundwasseroberfläche als Bewertungshorizont. In Gebieten mit gespanntem Grundwasser ist aber die Unterkante des den Grundwasserleiter überlagernden Stauers maßgebend.

Für den sächsischen Teil des Kartiergebietes werden die verfügbaren verschiedenen Datengrundlagen zu Punktdaten umgewandelt und zu einem Datensatz von örtlichen Grundwasserhöhen kombiniert. Aus den Daten wird mit Hilfe der Software Surfer mit Kriging eine zusammenhängende Grundwasseroberfläche regionalisiert. Das Grid des Grundwasserflurabstands wird dann durch eine Differenzenbildung mit der Modelloberfläche erzeugt. „Werte über Flur“ stellen bei diesen Berechnungen ein Standard-Problem dar. Hier müsste eine unverhältnismäßig hohe Punktdatendichte erzeugt werden. Daher werden diese unplausiblen Werte nach der Berechnung pauschal auf „0“ gesetzt (Niederungen, Bereich von Hangkanten). Die Prüfung von gespannten und ungespannten Grundwasserverhältnissen erfolgt mit den Deck- und Basisflächen der modellierten HGE entsprechend ihrer Eigenschaft als GWL in der 3D-Umgebung.

Für den polnischen Teil des Kartierungsgebietes werden alle Daten des Grundwasserflurabstandes in Metern unter Geländeoberfläche in die GIS-Software *Geomedia Professional* oder *ArcGis* importiert. Auf ihrer Basis werden anschließend Hydroisobathen des Grundwasserflurabstands gebildet. Im nächsten Bearbeitungsschritt werden diese Liniendaten in Punktdatenreihen umgewandelt und durch die gemessenen Flurabstände an Bohrungen und Brunnen ergänzt. Der kombinierte Punktdatensatz wird dann einer Interpolation mit der Software Surfer nach der Kriging-Methode unterzogen. Das auf diese Weise erhaltene Grid des Grundwasserflurabstandes wird in die Software GoCad importiert. Zur Prüfung wird nun die Grundwasseroberfläche [mNHN] berechnet, indem von der Geländeoberfläche der Grundwasserflurabstand abgezogen wird. Die erhaltene Grundwasseroberfläche wird nun auf

Interpolationsfehler geprüft und korrigiert. Dann werden der erhaltenen Fläche die Werte der Tiefe der Grundwasseroberfläche zugewiesen, die als Differenz zwischen der Grundwasseroberfläche und der Geländeoberfläche zurückgerechnet wurden. Anschließend werden die Werte aus GoCAD exportiert.

#### Bereich ohne Grundwasserleiter

Der Bereich ohne Grundwasserleiter nimmt hingegen die Grundwassergeringleiter (GWGL) des Lockergesteins und die Festgesteinseinheiten auf, die ausschließlich Kluft-Grundwasserleiter sind. In diesem Bereich stellt die Konstruktion des Grundwasserflurabstandes eine besondere Schwierigkeit dar. Es existiert häufig kein zusammenhängender flächig verbreiteter Grundwasserspiegel oder dieser ist nicht ermittelbar. Da bei Kluft-Grundwasserleitern im Festgestein die Wassersättigung bezüglich der Wärmeleitfähigkeit in der Regel keine gewichtige Einflussgröße darstellt, wurden diese Gebiete datentechnisch „ignoriert“. Sie wurden später im erstellten „Grid des Grundwasserflurabstands der Gebiete mit Grundwasserleiter“ in ArcGIS mit dem Wert 200 m unter Geländeoberkante (u. GOK) aufgefüllt (Data Management Tools\Raster\Raster-Dataset\Mosaic to new Raster). Damit liegen sie unterhalb des Tiefenstufenbereiches, für den die geothermischen Karten berechnet werden. Der Wert 200 m ist rein fiktiv und erfüllt nur eine Platzhalterfunktion bei der Berechnung.

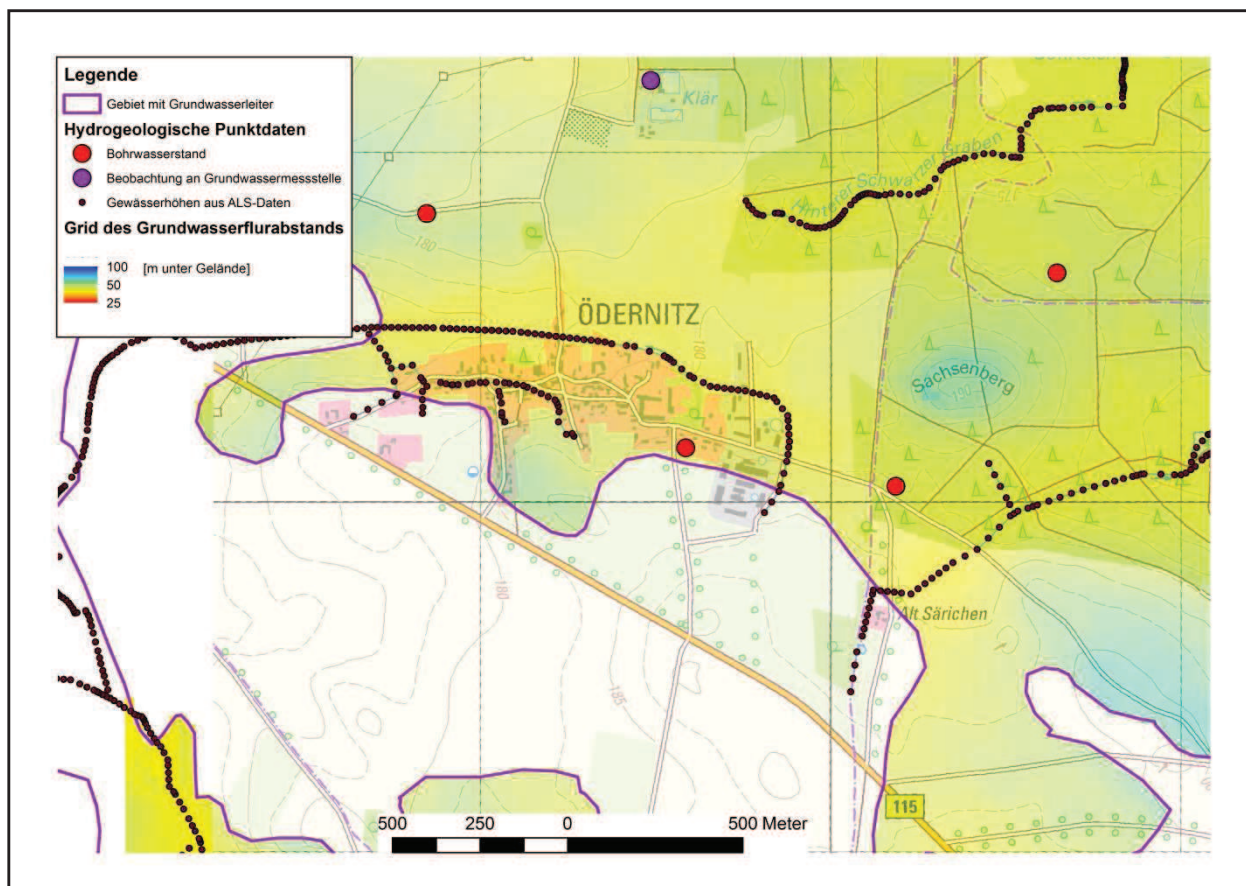


Abbildung 13: Verfügbare Eingangsdatendaten und Endergebnis der Flurabstandsberechnung für die Gebiete mit Grundwasserleiter am Beispiel der Region Ödernitz. In diesem Gebiet standen zwar ALS-Daten zur Verfügung, konnten aber für die Interpolation nicht verwendet werden, da die Gewässer nicht an den betrachteten Grundwasserleiter angebunden sind.

## 7.2 Hydrogeologische Beschreibung der HGE

Modellobjekte können in GoCAD mit numerischen Attributen belegt werden. Diese Möglichkeit wird für die hydrogeologische Charakterisierung und farbliche Darstellung der HGE gemäß der Durchlässigkeitsklasse genutzt. Dazu werden repräsentative Werte für die hydraulische Leitfähigkeit für die HGE des Bearbeitungsgebietes recherchiert und den folgenden Durchlässigkeitsklassen zugeordnet. Für die HGE, für die keine konkreten Werte vorliegen, werden Wertespanssen aus anderen Bearbeitungsgebieten oder der Literatur herangezogen.

Tabelle 3: Gliederung der Gesteinsdurchlässigkeit für Lockergesteine (BGR, 1997).

HK 50 - Vorschlag

Leitertyp	Grundwassergeringleiter					Grundwasserleiter						
Durchlässigkeits- klasse	7 äußerst gering	6 sehr gering		5 gering		4 mäßig		3 mittel		2 hoch		1 sehr hoch
Unterklasse	7	6.2	6.1	5.2	5.1	4.2	4.1	3.2	3.1	2.2	2.1	1
$k_f$ -Wert (Grenzen) [m/s]	$1 \cdot 10^{-9}$	$1 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-5}$	$3 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-2}$	

Es existieren international verschiedene Klassifikationen für hydraulische Leitfähigkeiten. Aufgrund der Kompatibilität mit anderen sächsischen Bearbeitungen wurde im gesamten Bearbeitungsgebiet des Projektes *TransGeoTherm* zur Klassifizierung der hydraulischen Leitfähigkeiten der oben zitierten Empfehlung aus der „Hydrogeologischen Kartieranleitung“ der BGR gefolgt.

### 7.3 Schutzgebiete

Da Wasserschutzgebiete Ausschlussgebiete für die Erdwärmenutzung darstellen, wurden die Geometrien der festgesetzten Wasserschutzgebiete im Bearbeitungsgebiet recherchiert und in die Internetanwendung der geothermischen Karten eingebunden. Ergänzend können die Naturschutzgebiete als Zusatzinformation angezeigt werden.

In Sachsen werden Trinkwasser- und Heilquellenschutzgebiete mit verschiedenen Schutzbestimmungen in Schutzzonen eingeteilt. In Trinkwasserschutzgebieten für Grundwasserfassungen und Talsperren unterscheidet man die Schutzzonen I, II und III, wobei eine weitere Unterteilung der Schutzzone II bei Talsperren bzw. der Schutzzone III bei Grundwasserfassungen in Zonen A und B möglich ist. Weitere Informationen sind auf dem Umweltportal des Freistaates Sachsen zu finden unter:

<http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/wasser/6349.htm>.

In Polen wird in zwei Grundwasserschutzzonen mit folgenden Schutzbestimmungen unterteilt:

- Gebiet unter direktem Schutz: Es umfasst den Untergrund rings um die Fassung im Umkreis von 8 bis 20 m, der ausschließlich zur Wassergewinnung genutzt werden darf. Dieses Gebiet muss einzäunt und gekennzeichnet, sowie mit Informationstafeln ausgestattet werden. Es ist obligatorisch für alle Grundwasser- und Oberflächenwasserfassungen.
- Gebiet unter indirektem Schutz: Es umfasst das Einzugsgebiet der Wasserfassung. Es wird



aufgrund der hydrogeologischen Dokumentation der Fassung festgelegt. Für jedes Gebiet unter indirektem Schutz gelten Gebote und Verbote zur Nutzung des Untergrundes in Abhängigkeit der Bedingungen für die Infiltration von Verschmutzungen in den wasserführenden Horizont. Die Grenzen des Gebietes werden mithilfe von Informationstafeln gekennzeichnet.

In begründeten Fällen (hydrogeologische, hydrologische und geomorphologische Bedingungen, die den Schutz des entnommenen Wassers gewährleisten) kann man lediglich die Zone des direkten Schutzes der Wasserfassung festlegen.

In dem polnischen Untersuchungsgebiet des Projektes TransGeoTherm sind keine Gebiete unter indirektem Schutz vorhanden. Es sind jedoch im Gewässerkataster vier Gebiete unter direktem Schutz eingetragen.

## 8 Erstellung der geothermischen Karten

### 8.1 Wärmeleitfähigkeiten der HGE

Für die in der Geodatenbank des LfULG vorhandenen Petrographieschlüssel liegen spezifische Wärmeleitfähigkeiten für trockenes ( $\lambda_T$ ) und wassergesättigtes ( $\lambda_F$ ) Gestein aus Messungen an Bohrkernen und aus Literaturquellen vor. Zur grenzübergreifenden Nutzung der Datensammlung werden die polnischen Bohrungen mit einem generalisierten Petrographieschlüssel versehen, der mit dem Schlüssel der Geodatenbank des LfULG kompatibel ist. Anschließend werden die Schichtdaten des Gesamtgebietes zusammengeführt, um dann die Zuweisung der  $\lambda$ -Werte zu den codierten Schichten der Bohrungen am LfULG durchzuführen.

Tabelle 4: Ausgewählte Beispiele für die Attributierung von Gesteinsschichten polnischer Aufschlüsse mit Petrographieschlüsseln der Aufschlusssdatenbank des LfULG.

Petrographieschlüssel	Gestein	$\lambda_F$ [W/(m·K)]	$\lambda_T$ [W/(m·K)]
IIPDgD.....	Granodiorit	2,30	2,30
MTSpTs.....	Tonschiefer	2,10	2,10
SKFSWg.....	Grauwacke	2,50	2,50
SKLSsd.....	Sand	2,40	0,40

SKLSt.....	Ton	1,70	0,50
SKLSus.....	Schluff	1,70	0,50
SOLOKo.....	Braunkohle	0,60	0,30

## 8.2 Berechnung der geothermischer Karten

Der für jede hydrogeologisch-geothermische Einheit (HGE) mit trockenen ( $\lambda_T$ ) und wassergesättigten ( $\lambda_F$ ) Wärmeleitfähigkeiten codierte Bohrdatenbestand (siehe 5.2.1, 8.1) sowie Grids der Oberflächen der modellierten Einheiten (siehe 6.5) und des Grundwasserflurabstandes (siehe 7.1) bilden die Basis zur Berechnung von mittleren Wärmeleitfähigkeits- und Wärmeentzugsleistungsverteilungen für definierte Tiefenintervalle (0-40 m, 0-70 m, 0-100 m und 0-130 m). Es liegt folgende Prozedur zu Grunde:

Nach der petrografiebezogenen Zuweisung von spezifischen Wärmeleitfähigkeitswerten an die Schichtdaten der Bohrungen, wird ein nach der Mächtigkeit der HGE gewichteter mittlerer Wärmeleitfähigkeitswert für  $\lambda_T$  und  $\lambda_F$  für jede Bohrung berechnet. Die Wichtung erfolgt über die Schichtenmächtigkeit, d. h. es werden aufschlusskonkret für jede HGE die  $\lambda$ -Werte jeder Schicht mit der Schichtmächtigkeit in Metern multipliziert. Diese Produkte werden addiert und durch die Summe der Schichtenmeter der jeweiligen HGE an der Bohrung geteilt (siehe Abb. 14). Das Resultat sind aufschlusskonkrete mittlere  $\lambda_T$ - und  $\lambda_F$ -Werte für jede an der Bohrung kartierte HGE.

Für die zur Konstruktion der HGE verwendeten „künstlichen“ Stützstellen werden trockene ( $\lambda_T$ ) und wassergesättigte ( $\lambda_F$ ) Wärmeleitfähigkeitswerte geschätzt.

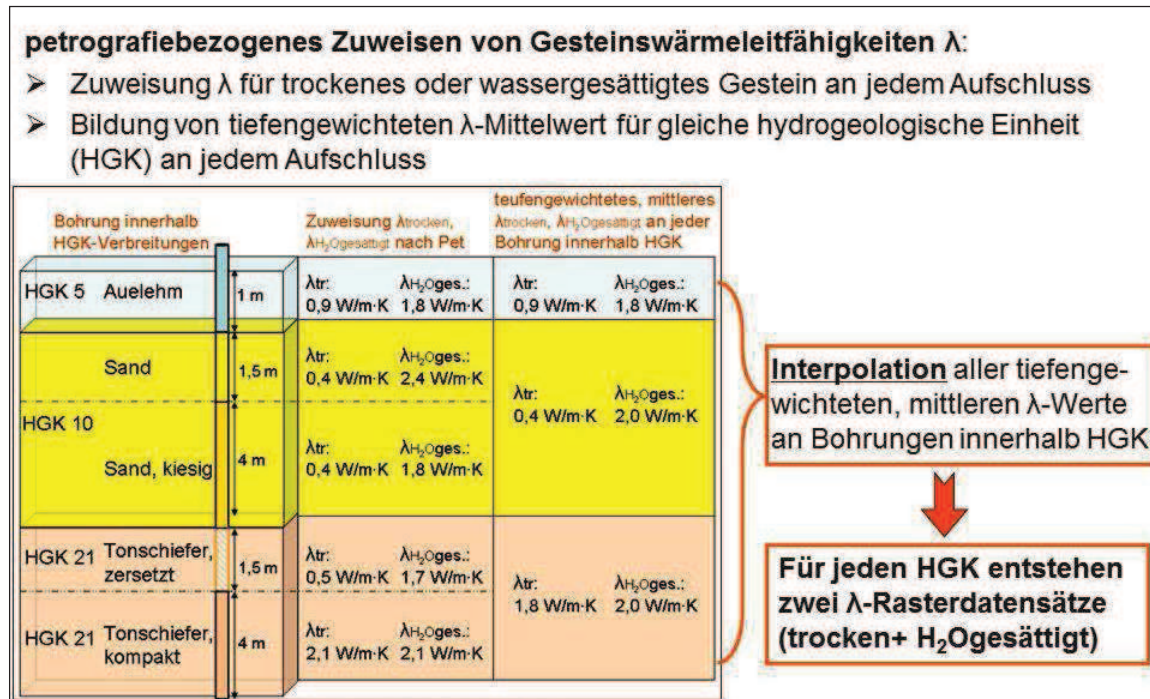


Abbildung 14: Schematische Übersicht der petrografiebezogenen Zuweisung von Wärmeleitfähigkeiten am Beispiel einer Bohrung mit unterschiedlich codierten HGE

Zur Erzeugung von Wärmeleitfähigkeitsrastern erfolgt im Anschluss eine Interpolation der tiefengewichteten mittleren Wärmeleitfähigkeitswerte zwischen den Bohrungen und „künstlichen“ Stützstellen innerhalb jeder HGE-Verbreitung für wassergesättigtes Gestein ( $\lambda_F$ ) und für trockenes Gestein ( $\lambda_T$ ) mit der Methode „Inverse Distanz Wichtung“ (IDW). Mit der entsprechenden Umgebungseinstellung im Menü „Raster Analysis Settings“ werden die Wärmeleitfähigkeitsraster mit der Rasterweite und Ausdehnung der Grids der Oberflächen der HGE erzeugt. Ist die Punktdichte für die Interpolation in einem Verbreitungsgebiet zu gering, müssen in diesem Gebiet über zusätzliche Stützstellen weitere mittlere Werte für  $\lambda_T$  und  $\lambda_F$  ergänzt werden. Da auch Schichtfolgen in die Berechnung einbezogen werden, die die Basis der HGE nicht erreichen, ist zu empfehlen, das Ergebnis der gewichteten Mittelwertbildung auf Repräsentanz zu prüfen und fragliche Werte „nicht durchteufte“ HGE auszuschließen.

Zur Erstellung des gemeinsamen Kartenwerkes für die Neiße-Region wird die am LfULG verfügbare ArcGIS-Erweiterung IE Geothermie genutzt. Die Grids der Oberflächen der HGE werden mit den ihnen entsprechenden Wärmeleitfähigkeitsrastern („ $\lambda_T$  und  $\lambda_F$ -Grids“) und dem Grid des Flurabstandes über die ArcGIS-Erweiterung IE Geothermie verschnitten. Der Flurabstand dient im Programm als Entscheidungskriterium der Zuweisung von

„wassergesättigtem“ oder „trockenem“ Wärmeleitfähigkeitsraster zur HGE.

In einem letzten Arbeitsschritt werden mithilfe der ArcGIS-Extension IE Geothermie die Verteilungen der tiefengewichteten Mittelwerte der Wärmeleitfähigkeiten in Watt pro Meter und Kelvin oder der Wärmeentzugsleistungen in Watt pro Meter für den ausgewählten Teufenbereich (40 m, 70 m, 100 m und 130 m) berechnet.

Die spezifische Entzugsleistung einer Erdwärmesonde ist umso größer, je höher die Wärmeleitfähigkeit des Untergrundes ist. In die Berechnung der Wärmeentzugsleistung gehen neben der gesteinspezifischen Wärmeleitfähigkeit noch weitere **anlagenspezifische Parameter** ein, wie z. B. technische Daten zu Sonden, spezifische Wärmepumpenangaben, der Haustyp etc.. Dafür wurde eine empirische Formel für den im Freistaat Sachsen („durchschnittlich“) ermittelten Einfamilienhaustyp entwickelt. Mit Hilfe der IE Geothermie wird eine empirische Gleichung zur Berechnung der spezifischen (Wärme-) Entzugsleistung angewendet. Mit dieser Gleichung lässt sich die gewinnbare spezifische geothermische Entzugsleistung für eine jährliche Anlagenbetriebsdauer von 1.800 Stunden in Watt pro Meter Sondenlänge [W/m] für den Fall des ausschließlichen Heizbetriebes berechnen. Ist die Anlage länger in Betrieb, z. B. 2.400 Jahresbetriebsstunden bei zusätzlicher Warmwasserbereitung, reduziert sich die Entzugsleistung um einige Watt pro Meter. Für diesen Fall wurde eine weitere empirische Formel abgeleitet. Eine mögliche starke Grundwasserströmung, die sich positiv auf die Entzugsleistung auswirken kann, wird in dieser Gleichung nicht berücksichtigt.

Die Ergebnisse der Berechnungen werden als Karten des entsprechenden Tiefenintervalls klassiert dargestellt (siehe Abb. 15).

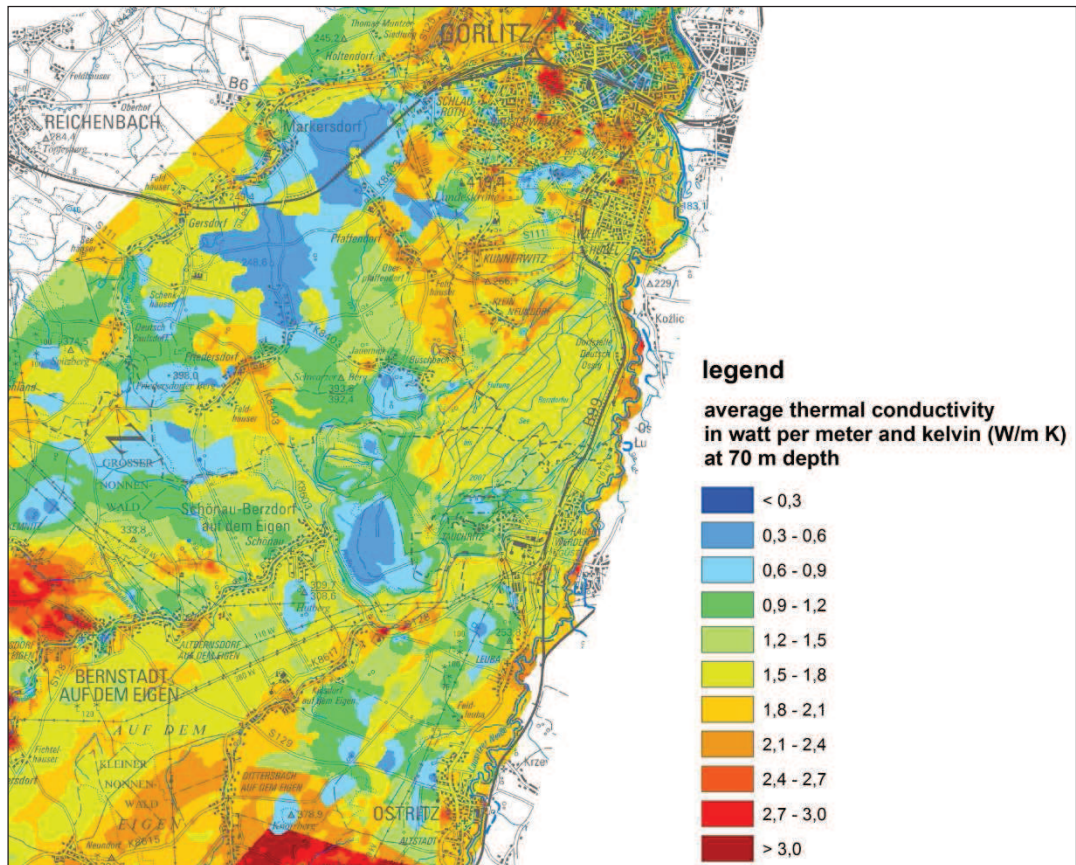


Abbildung 15: Geothermische Karte der mittleren Gesteinswärmeleitfähigkeiten in  $W/(m \cdot K)$  für das Modellgebiet Berzdorf für das Tiefenintervall 0 – 70 m

## 9 Bereitstellung der digitalen Daten

### 9.1 Datengrundlagen

Sämtliche GIS-kompatible Datensätze wie Punkt-, Linien und Flächendaten (Polygone, Grids), die als Grundlage für die Modellierung erstellt oder aus der Modellierung abgeleitet wurden, wurden in einer Geodatabase abgelegt. Sie ist gegliedert in die thematischen Kategorien Geologie, Geothermie, Hydrogeologie und Topographie. Die Datensätze stehen für andere Bearbeitungen oder Aktualisierungen so weiterhin zur Verfügung.

### 9.2 Modelldaten

Die Daten der HGE und die tektonischen Flächen des Modells werden in der GOCAD-kompatible Software GiGa infosystems GST abgelegt. Sie können zur weiteren Verwendung in verschiedenen Formaten wieder exportiert werden oder über einen Viewer im Internet bereitgestellt werden. GST ermöglicht einen schnellen Zugriff auch auf große Datenmengen.

### 9.3 Geothermische Karte der Gesteinswärmeleitfähigkeiten

Die Karten der geothermischen Gesteinswärmeleitfähigkeiten werden im Internet zur Verfügung gestellt. Karte des Grundwasserflurabstandes

### 9.4 Karte des Grundwasserflurabstandes

Die Karte des Grundwasserflurabstandes wird im Internet zur Verfügung gestellt.

## 10 Literatur

ATKIS (2001)	ATKIS DGM – Amtliches Topographisches Informationssystem Digitales Geländemodell 2. - Dokumentations-Faltblatt, Landesvermessungsamt Sachsen, Dresden. 11/2012.
BGR (1997)	Hydrogeologische Kartieranleitung. In: Geologisches Jahrbuch, Reihe G, Heft 2, S. 3-157. Hannover.
BURGER, H. (2004-1)	Schriftliche Empfehlung an das LfULG, Thema: Zur 3D-Verarbeitung von Bohrdaten. - Freie Universität Berlin, FB



	Geowissenschaften.
BURGER, H. (2004-2)	3D-Modelling of stratified sequences under uncertainty. - Freie Universität Berlin, FB Geowissenschaften.
GiGA INFOSYSTEMS (2013)	GST Version 2.5.9, Dokumentation
GOLDEN SOFTWARE, INC. (1993-2002)	Surfer 8, User's Guide
HGC/HGN (2008)	Hydrogeologische Spezialkarte Sachsen M 1 : 50 000, Generallegende.
HGN/HGC (2008)	Methodik Hydrogeologische Spezialkartierung Sachsen Maßstab 1 : 50.000 mit Anhang Methodik Ingenieurgeologie und Modul Geothermie. Torgau/Freiberg [im Auftrag des LfUG, Referat Hydrogeologie] (cum lit.)
HGC (2008)	IE Geothermie für ArcGIS 9.3
HGC (2013)	IE Geothermie für ArcGIS 10.1
LfULG (2012)	Methodik der hydrogeologischen Spezialkartierung (Hyk50)
TU BERGAKADEMIE FREIBERG (2013)	Introduction to 3D Geomodelling with gOcad, short course material, unveröffentlicht

## **11      Verwendete Begriffe**

### **ALK**

Automatisierte Liegenschaftskarte des Staatsbetriebes Geobasisinformation und Vermessung Sachsen (GeoSN)

### **ALS**

Airborne Laser Scanning

### **ATKIS**

Amtliches Topographisch-Kartographisches InformationsSystem

Es beinhaltet folgende Komponenten:

ATKIS-DGM: Digitales Geländemodell

ATKIS-DLM: Digitales Landschaftsmodell

ATKIS-DOP: Digitale Orthophotos

ATKIS-DTK: Digitale Topographische Karte

### **AV-Blattschnitt**

Blattschnitt der TK 1 : 25.000, Ausgabe Volkswirtschaft (Autorenhinweis: DDR-spezifischer Blattschnitt)

### **Basisisolinie**

Höhenlinien der Basis geologischer Einheiten

### **Codierung**

Zuweisung von Zeichenkombinationen zur Benennung von Datengruppen

### **DGM**

Digitales Geländemodell: digitales, numerisches Modell der Geländehöhen

### **DSI**

Disrete Smooth Interpolation: GoCAD-eigene Interpolationsmethode

### **Entzugsleistung**

Die spezifische geothermische Entzugsleistung wird in Watt pro Meter Sondenlänge [W/m] dargestellt. Sie ist eine Funktion der Wärmeleitfähigkeit des Untergrundes. Sie gibt die am Verdampfer der Wärmepumpe zur Verfügung stehende Wärmeleistung wieder.

### **Gespanntes Grundwasser**

Grundwasser, dessen Grundwasseroberfläche und Grundwasserdruckfläche im betrachteten Bereich nicht identisch sind.

### **GW**

Grundwasser: Unterirdisches Wasser, das Hohlräume der Lithosphäre zusammenhängend ausfüllt und dessen Bewegungsmöglichkeit ausschließlich durch die Schwerkraft bestimmt wird (DIN 4094).

### **GWGL**

Grundwassergeringleiter: Gesteinskörper mit einem Durchlässigkeitsbeiwert  $k_f \leq 1 \times 10^{-5}$  m/s

### **GWL**

Grundwasserleiter: Gesteinskörper, der geeignet ist, Grundwasser weiterzuleiten (Durchlässigkeitsbeiwert  $k_f > 1 \times 10^{-5}$  m/s).

### **Grundwasseroberfläche**

Obere Grenzfläche eines Grundwasserkörpers.

### **Grundwasserflurabstand**

Abstand der GW-Oberfläche von der Geländeoberfläche

### **Grid (englisch für Raster)**

Siehe Raster

### **Grundwasserstromlinie**

Abbildung einer idealisierten Bewegungsspur von Grundwasserteilchen im Potentialfeld eines Grundwasserkörpers.

### **Grundwasserüberdeckung**

Gesteinskörper oberhalb einer Grundwasseroberfläche. Grundwasserfreier Raum eines Grundwasserleiters.

### **Grundwasserisohypsen** (Syn. GW-Gleichen)

Linien gleicher Höhen einer Grundwasserdruckfläche. Oberfläche des Grundwassers zu einem bestimmten Zeitpunkt. Die Höhenlage der Grundwasseroberfläche wird in der Regel durch Linien gleicher Höhe (Isolinienpläne) des Grundwasserstandes visualisiert. Ein Grundwassergleichenplan bezieht sich immer auf einen bestimmten Grundwasserleiterkomplex.

### **HGE - Hydrogeologisch-geothermische Einheit**

HGE = aus den geologischen Einheiten aggregierte hydrogeologisch-geothermische Einheit

Eine HGE wird durch real existierende Gesteinskörper beschrieben, die aufgrund ihrer Petrographie, Textur oder Struktur im Rahmen einer festgelegten Bandbreite einheitliche hydrogeologische und geothermische Eigenschaften aufweisen und durch Schichtgrenzen, Faziesgrenzen, Erosionsränder oder Störungen begrenzt sind. Eine HGE kann aus einem einzelnen oder mehreren Gesteinskörpern bestehen.

### **HyK50**

Hydrogeologische Spezialkarte (Sachsen)

### **Kartenwerk**

Ein Kartenwerk ist die fachliche Zusammenfassung mehrerer Karten, die sich durch ihren dargestellten Inhalt (Kartenthemen) unterscheiden, jedoch die gleiche Region, häufig in einem einheitlichen Maßstab abbilden.

### **kf-Wert**

Durchlässigkeitsbeiwert: Quotient aus Filtergeschwindigkeit und zugehörigem Standrohrspiegelgefälle. Der Durchlässigkeitsbeiwert als Maß für die Durchlässigkeit hängt ab von physikalischen Eigenschaften des Wassers (z. B. den temperaturabhängigen Größen Viskosität und Dichte) und Eigenschaften des Grundwasserleiters (Poren, Trennfugen). Bei der Durchlässigkeit wird unterschieden zwischen Porendurchlässigkeit und Trennfugendurchlässigkeit. Beide zusammen bilden in der Regel die anisotrope Gebirgsdurchlässigkeit.

### **LfULG**

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie

### **Mächtigkeitsisolinie**

Linien gleicher Schichtdichte

### **Marker (engl., auch well marker)**

Markierung von Grenzen in Bohrprofilen

### **Profilschnittspur**

Linie auf der Erdoberfläche, für die ein Profilschnitt existiert

### **Raster**

Gitterartige Anordnung von Werten innerhalb einer Fläche festgelegter Ausdehnung

### **SALKA**

Sächsisches Altlastenkataster

### **Schichtlagerungskarten**

Darstellung der Lage von Schichtgrenzflächen durch Höhenlinien über NHN (Isobasen)

### **UHYDRO**

Programm zur externen Erfassung geowissenschaftlicher Daten (SVZ, Ausbau, Hinterfüllung, Wasserstände,

Hydrochemie, Kennwerte, Geophysik, Geochemie) in Sachsen zu deren Speicherung in der Landesdatenbank geologischer Aufschlüsse (GeoDB).

### **Ungespanntes Grundwasser**

Grundwasser, dessen Grundwasseroberfläche und Grundwasserdruckfläche im betrachteten Bereich identisch sind.

### **Verbreitung**

Horizontal projizierte Fläche der von der Teufenlage unabhängigen maximalen Verbreitung eines Körpers.

### **Wärmeleitfähigkeit**

Die Wärmeleitfähigkeit ist das Vermögen eines Stoffes, thermische Energie in Form von Wärme zu transportieren. Die Wärmeleitfähigkeit ( $\lambda$ ) wird hier im Sinne einer temperaturabhängigen Materialkonstante als „spezifische“ Wärmeleitfähigkeit betrachtet und in Watt pro Meter und Kelvin [ $W/(m \cdot K)$ ] angegeben.

## **Impressum**

### **Herausgeber:**

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie  
Pillnitzer Platz 3, 01326 Dresden, Deutschland  
Telefon: + 49 351 2612-0  
Telefax: + 49 351 2612-1099  
[www.smul.sachsen.de/lfulg](http://www.smul.sachsen.de/lfulg)  
Polnisches Staatliches Geologisches Institut –  
Staatliches Forschungsinstitut, Niederschlesische  
Sektion (PIG-PIB OD)  
[www.pgi.gov.pl](http://www.pgi.gov.pl)  
al. Jaworowa 19  
53-122 Wrocław, Polen  
[www.pgi.gov.pl](http://www.pgi.gov.pl)

### **Redaktion:**

LfULG / Team EU-Projekt TransGeoTherm: dr Peter Riedel, Silke Reinhardt, Karina Hofmann  
Halsbrücker Str. 31 a, 09599 Freiberg  
Telefon: + 49 3731 294-1509  
Telefax: + 49 3731 294-1099  
E-Mail: [transgeotherm.lfulg@smul.sachsen.de](mailto:transgeotherm.lfulg@smul.sachsen.de)  
PIG-PIB / Team EU-Projekt TransGeoTherm: Dr Wiesław Kozdrój, dr Maciej Klonowski,  
dr Małgorzata Ziółkowska-Kozdrój, dr Adam Mydlowski, Urszula Domańska  
E-mail: [transgeotherm@pgi.gov.pl](mailto:transgeotherm@pgi.gov.pl)

### **Fotos und Abbildungen:**

LfULG / Team EU-Projekt TransGeoTherm

### **Gestaltung und Satz:**

EU-Projekt TransGeoTherm

### **Redaktionsschluss:**

18.11.2014

### **Bezug:**

[www.transgeotherm.eu](http://www.transgeotherm.eu)

### **Verteilerhinweis**

Diese Informationsschrift wird von der Sächsischen Staatsregierung im Rahmen des EU-Projektes zur Information der Öffentlichkeit herausgegeben. Sie darf weder von politischen Parteien noch von deren Kandidaten oder Helfern zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für alle Wahlen. Missbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen,

an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist auch die Weitergabe an Dritte zur Verwendung bei der Wahlwerbung.

Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die vorliegende Druckschrift nicht so verwendet werden, dass dies als Parteinnahme des Herausgebers zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte.

Diese Beschränkungen gelten unabhängig vom Vertriebsweg, also unabhängig davon, auf welchem Wege und in welcher Anzahl diese Informationsschrift dem Empfänger zugegangen ist. Erlaubt ist jedoch den Parteien, diese Informationsschrift zur Unterrichtung ihrer Mitglieder zu verwenden.