

Analyse und Modellierung des Schweremaximums bei Ober-Ramstadt, Hessen

Abschlussbericht für das
Hessische Landesamt für
Naturschutz, Umwelt und
Geologie

--- Teil 1: Analyse ---

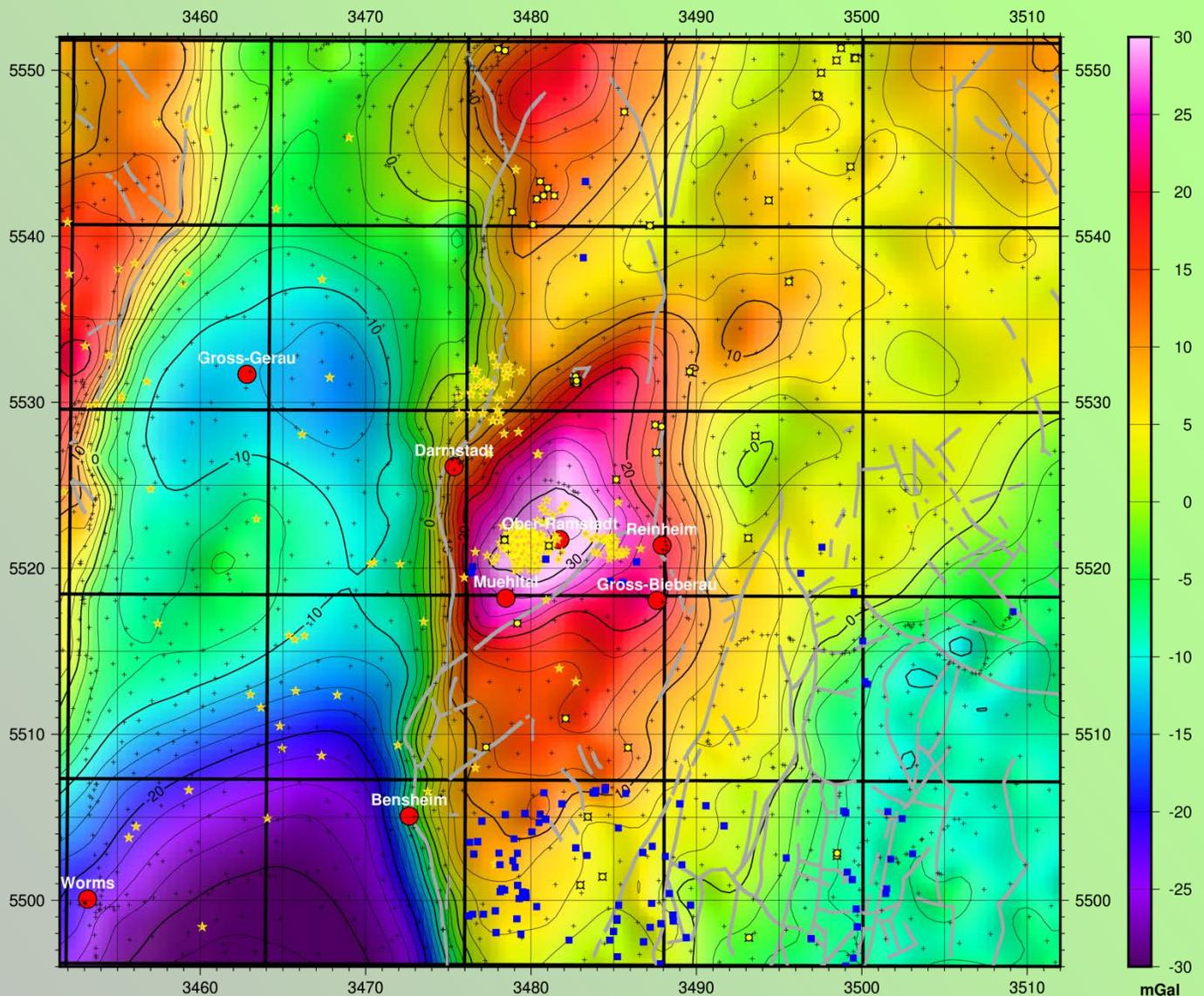
Mai 2018

- » Einleitung (3)
- » Gravimetrie (4-8)
 - » Filterungen (9-21)
 - » Feldtransformationen (22-33)
 - » Krümmungen (34-39)
 - » Andere Attribute (40-42)
 - » Schwere und Oberflächengeologie (43-45)
 - » Tiefenabschätzung (46-64)
- » Geologisches Modell (65-69)
- » Magnetik (70-72)
 - » Filterungen (73-84)
 - » Feldtransformationen (85-91)
 - » Krümmungen (92-97)
 - » Andere Attribute (98-99)
 - » Magnetik und Oberflächengeologie (100-102)
- » Schwere und Magnetik (103-105)
- » Zusammenfassung (106-107)
- » Appendix: Overlay mit Lineamenten (108-109)

- » Das Ziel dieser Arbeit ist es, die Ursache des Schwere-maximums bei Ober-Ramstadt, Hessen, besser zu verstehen. Dafür sollen zunächst die vorhandenen Schweredaten analysiert werden, ergänzt durch eine Analyse der magnetischen Daten.
- » Erste Hinweise auf die mögliche Tiefenlage des Quellkörpers können mit sogenannten direkten Verfahren wie z. B. der Euler-Dekonvolution erzielt werden.
- » Ein 3D Modell, welches mit Hilfe von geologischen Modellen und weiteren (bekannten oder vermuteten) Strukturen aufgebaut wird, soll schließlich eine fundierte Einschätzung des Volumens und der Tiefe des Störkörpers liefern.
- » Der Schwerpunkt dieses ersten Teils liegt auf der Analyse der Schwere- und Magnetikdaten. Es wird außerdem ein Eindruck von den Arbeiten in 3D vermittelt.
- » Die Koordinaten an den Karten beziehen sich auf Gauß-Krüger, Zone 3, und tragen die Einheit Kilometer.
- » Sofern nicht anders in der Bildunterschrift ausgewiesen, beruhen die gezeigten Bilder auf der Bouguerschwere mit der Reduktionsdichte 2670 kg/m^3 .

- » Die erhaltenen gravimetrischen Daten beinhalten alle üblichen Reduktionen (Normalschwere-, Freiluft- und Geländereduktion) sowie die Berechnung der Bouguerschwere mit Reduktionsdichte 2670 kg/m^3 . Die Bouguerreduktion entfernt topografische Effekte aus dem Schwerefeld, so dass dieses zur Interpretation von verborgenen Strukturen genutzt werden kann. Wenn die verwendete Reduktionsdichte jedoch stark von der tatsächlichen Dichte abweicht, wird die Bouguerschwere trotzdem Teile der Topografie widerspiegeln. Der Fehler ist umso größer, je höher einerseits die Abweichung zur realen Dichte ist und andererseits je größer die Variation in den topografischen Höhen ist.
- » Da die Oberflächendichten eine recht hohe Variationsbreite besitzen, wurde zusätzlich zu der erhaltenen Bouguerschwere eine mit niedrigerer und eine mit variabler Reduktionsdichte berechnet. Zur Probe wurden auch einige Attribute mit diesen alternativen Bouguerschweren berechnet. Damit konnte bestätigt werden, dass sich die Interpretation im Hauptinteressengebiet nicht verändert; am süd-östlichen Rand des Modellierungsgebietes, wo die Topografie stark ausgeprägt ist und niedrigere Oberflächendichten erfasst worden sind, hat eine veränderte Reduktionsdichte jedoch einen merklichen Effekt.

Bouguerschwere (2670 kg/m³)

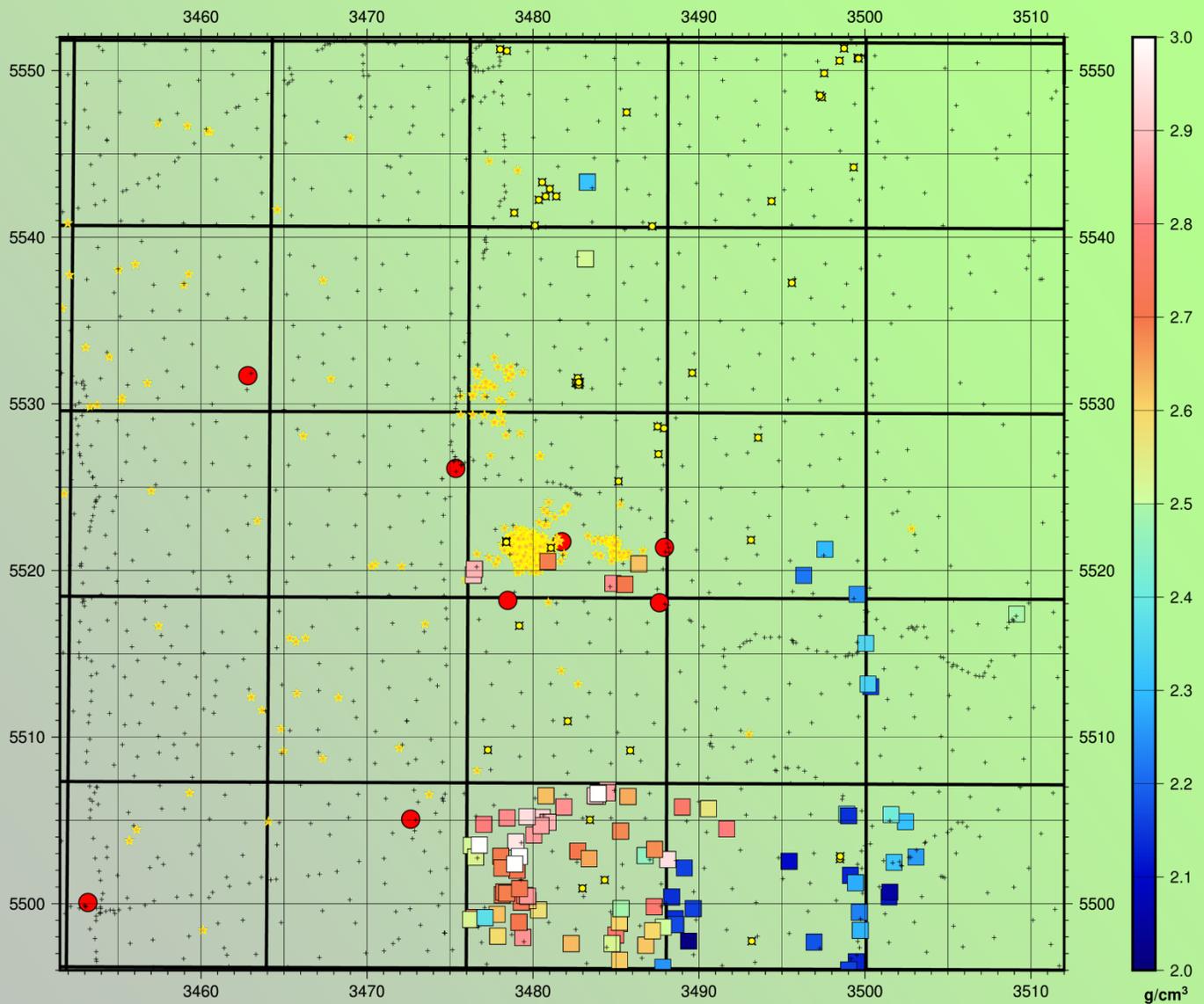


» Bouguerschwere mit Reduktionsdichte 2670 kg/m³

» Das zentrale Schweremaximum um Ober-Ramstadt trifft mit einer Häufung von Erdbebenlokationen zusammen. Eine zweite Häufung gibt es an seinem nordwestlichen Rand, nördlich von Darmstadt.

» Im Westen wird das Maximum vom Oberrheintalgraben begrenzt.

- Tektonik
- Städte
- + Schweremesspunkte
- Dichtemessungen
- ★ Erdbebenlokationen
- TK Blätter
- ⊠ Bohrungen

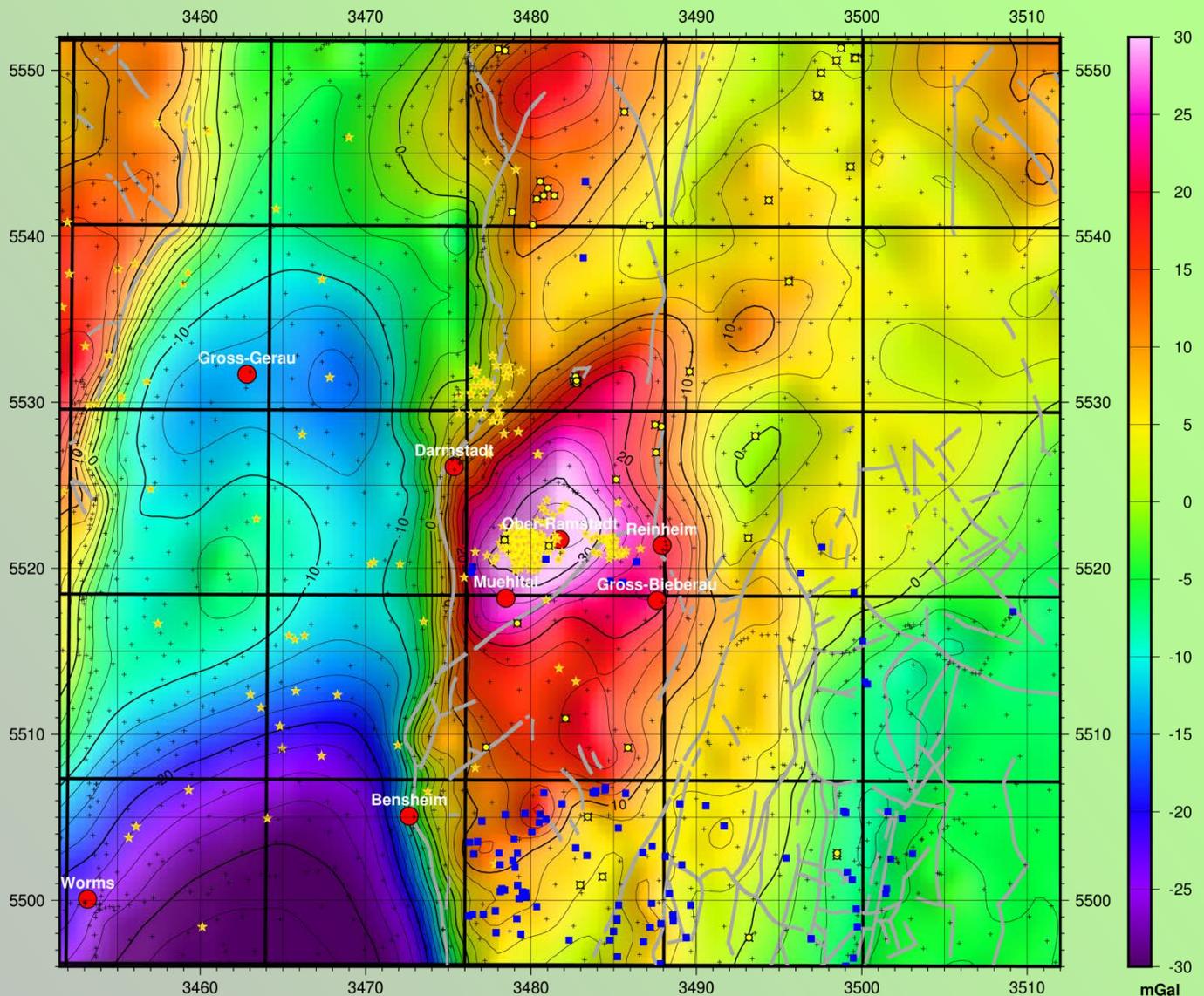


» Dichten, an der Oberfläche gemessen

» An den Oberflächendichten kann man gut erkennen, dass die angenommene Reduktionsdichte von 2670 kg/m^3 nicht an allen Stellen optimal ist. Im östlichen Teil scheint eine geringere Reduktionsdichte sinnvoll. Daher wurde zum Vergleich eine Bouguerschwerekarte mit einer Dichte von 2350 kg/m^3 erstellt.

- Tektonik
- Städte
- + Schweremesspunkte
- Dichtemessungen
- ★ Erdbebenlokationen
- TK Blätter
- ⊠ Bohrungen

Bouguerschwere (2350 kg/m³)

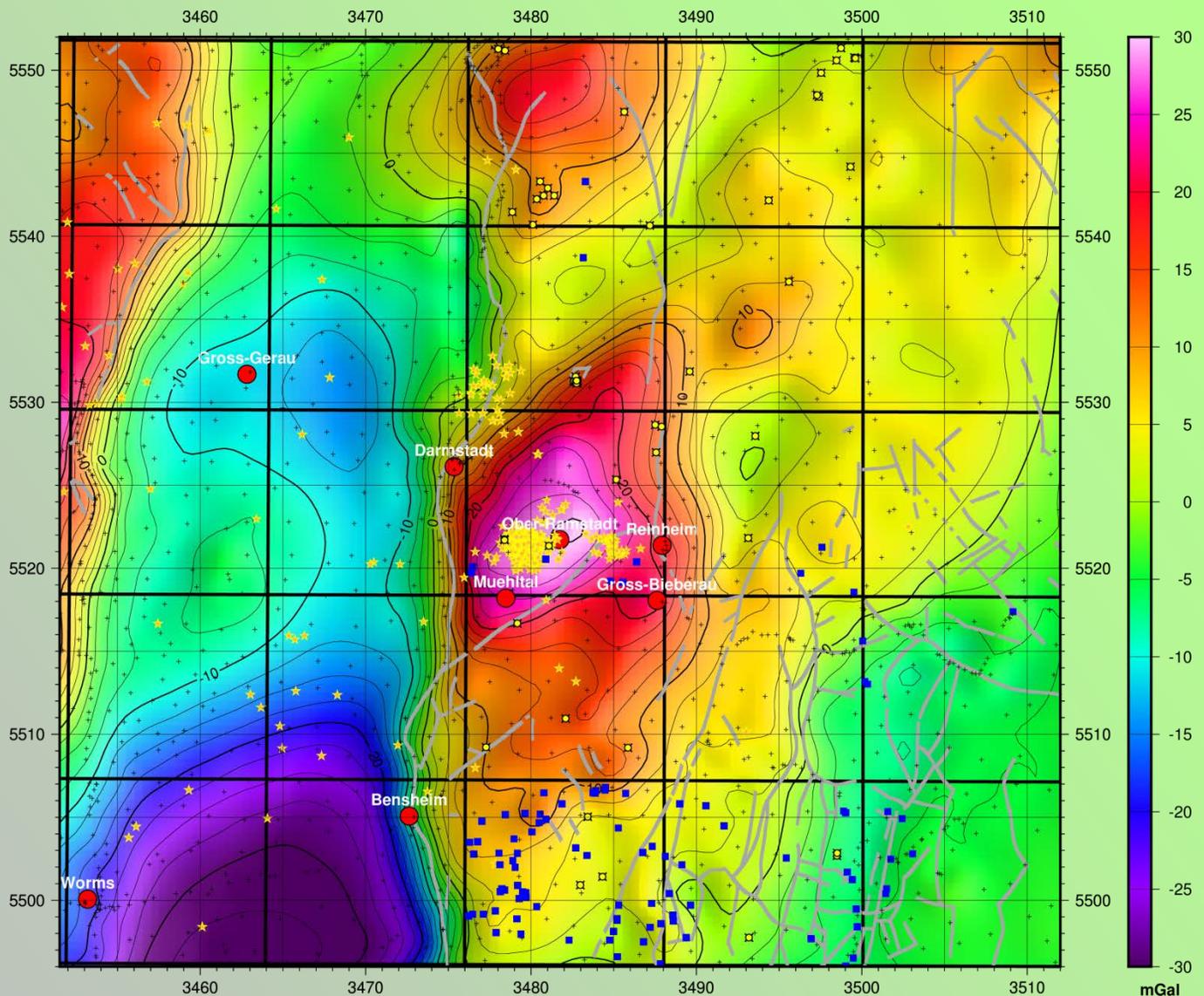


» Bouguerschwere mit Reduktionsdichte 2350 kg/m³

» Zum Vergleich mit der vorherigen Karte wurde die Bouguerschwere mit einer geringeren Reduktionsdichte gerechnet. Auf die Unterschiede der beiden Felder wird im Folgenden noch eingegangen. Eine geringere Dichte ist in Teilen des Gebiets nach den an der Oberfläche gemessenen Werten gerechtfertigt.

- Tektonik
- Städte
- + Schweremesspunkte
- Dichtemessungen
- ★ Erdbebenlokationen
- TK Blätter
- ⊠ Bohrungen

Bouguerschwere (variable Dichte)

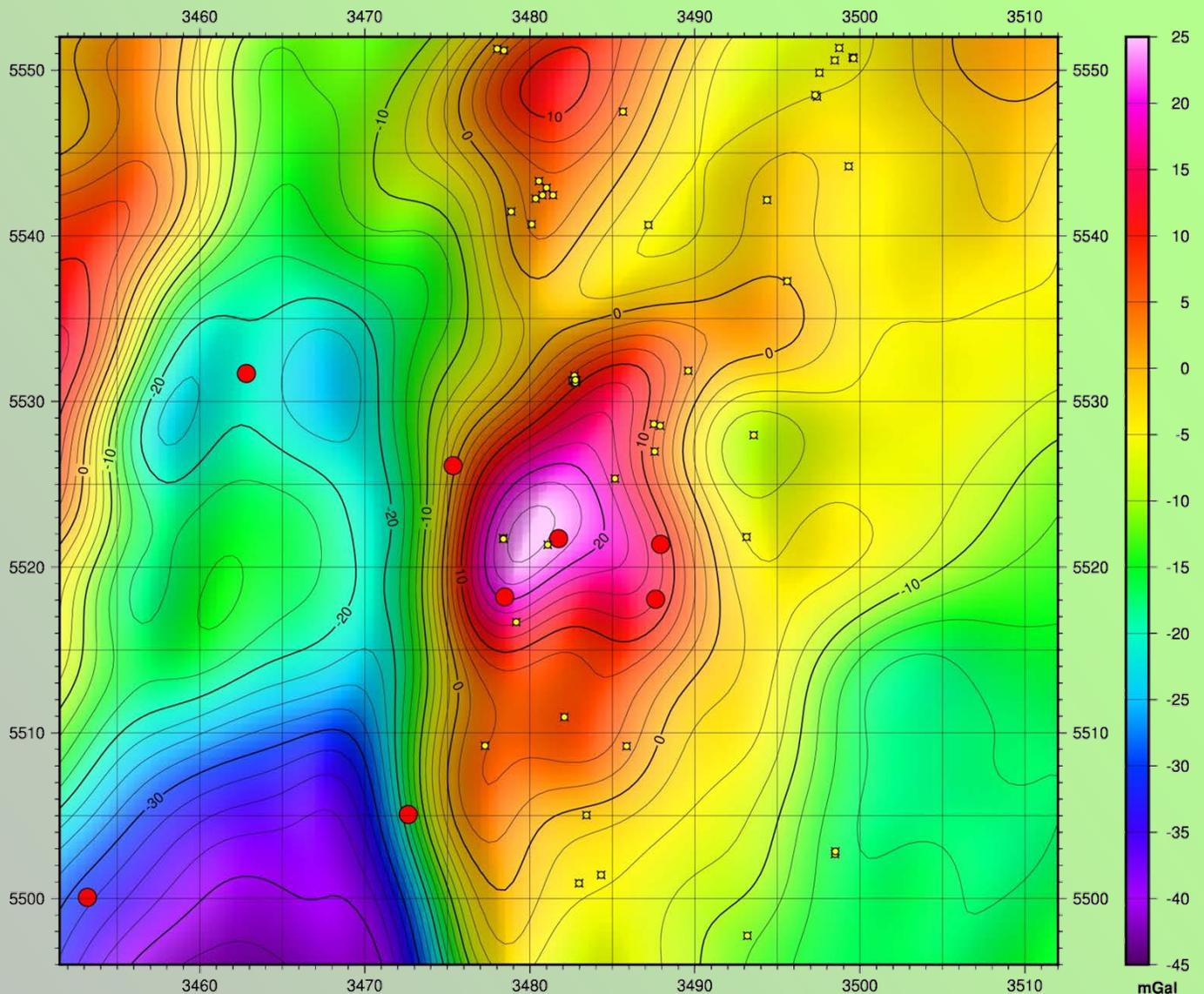


» Bouguerschwere mit **variabler Reduktionsdichte**

» Um den unterschiedlichen Oberflächen-dichten gerecht zu werden, wurde mit dem Nettleton-Verfahren eine variable Reduktionsdichte bestimmt. Diese hängt von dem gewählten Mittelungsbereich und der Punktzahl innerhalb dieses Bereiches ab und ist als Qualitätscheck für die Interpretation zu verstehen.

- Tektonik
- Städte
- + Schweremesspunkte
- Dichtemessungen
- ★ Erdbebenlokationen
- TK Blätter
- ⊠ Bohrungen

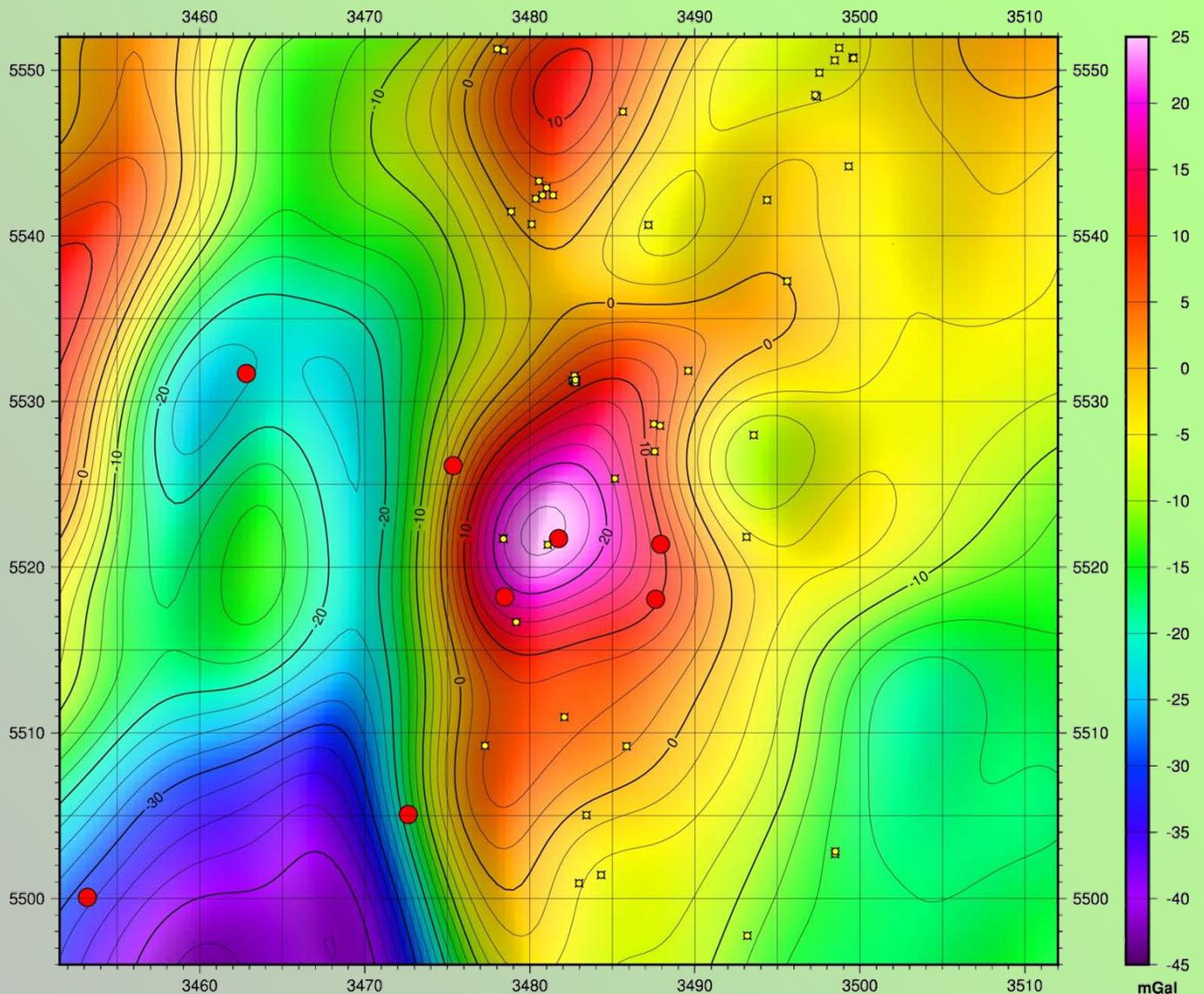
- » Tief- und Hochpassfilterungen sind der erste Analyseschritt. Aus den Hochpassfilterungen lässt sich abschätzen, ab welcher Wellenlänge geologisch interessante Signale enthalten sind. Die hochfrequenten Anteile stammen aus geringen Tiefen und sind häufig in der Bouguerschwere selbst nicht gut zu erkennen, weil sie von größeren Effekten überlagert sind. Tieffrequente Signale können sowohl von weit ausgedehnten oberflächennahen Strukturen ausgelöst werden, wie auch von kompakteren tieferen. Geologische Modelle oder Wissen aus anderen geophysikalischen Vermessungen bieten hier eine Interpretationshilfe.
- » In den Tiefpassfilterungen ist insbesondere das Schweremaximum bei Ober-Ramstadt gut zu erkennen. Süd-westlich davon befindet sich ein Schwereminimum im Oberrheintalgraben. Neben dem Graben als wichtige Struktur von geringerer Dichte fällt auf, dass auch die süd-östliche Ecke eine geringere Schwere aufweist und sich somit vom zentralen Maximum und seinen Ausläufern nach Norden und Nord-Osten abgrenzt. Dies ist auch der Bereich, wo die geringeren Oberflächendichten beobachtet worden sind.
- » In den Hochpassfilterungen fällt besonders die Kante zum Oberrheintalgraben auf, aber auch die nördliche Begrenzung des Schweremaximums als von Süd-Westen nach Nord-Osten verlaufendes Lineament.



» Tiefpass 7.5 km der Bouguerschwere

» Tiefpassfilter zeigen die langwelligeren Strukturen im Schwerfeld. Diese können entweder von tieferen Quellen hervorgerufen sein oder durch flache, weit ausgedehnte Dichteanomalien.

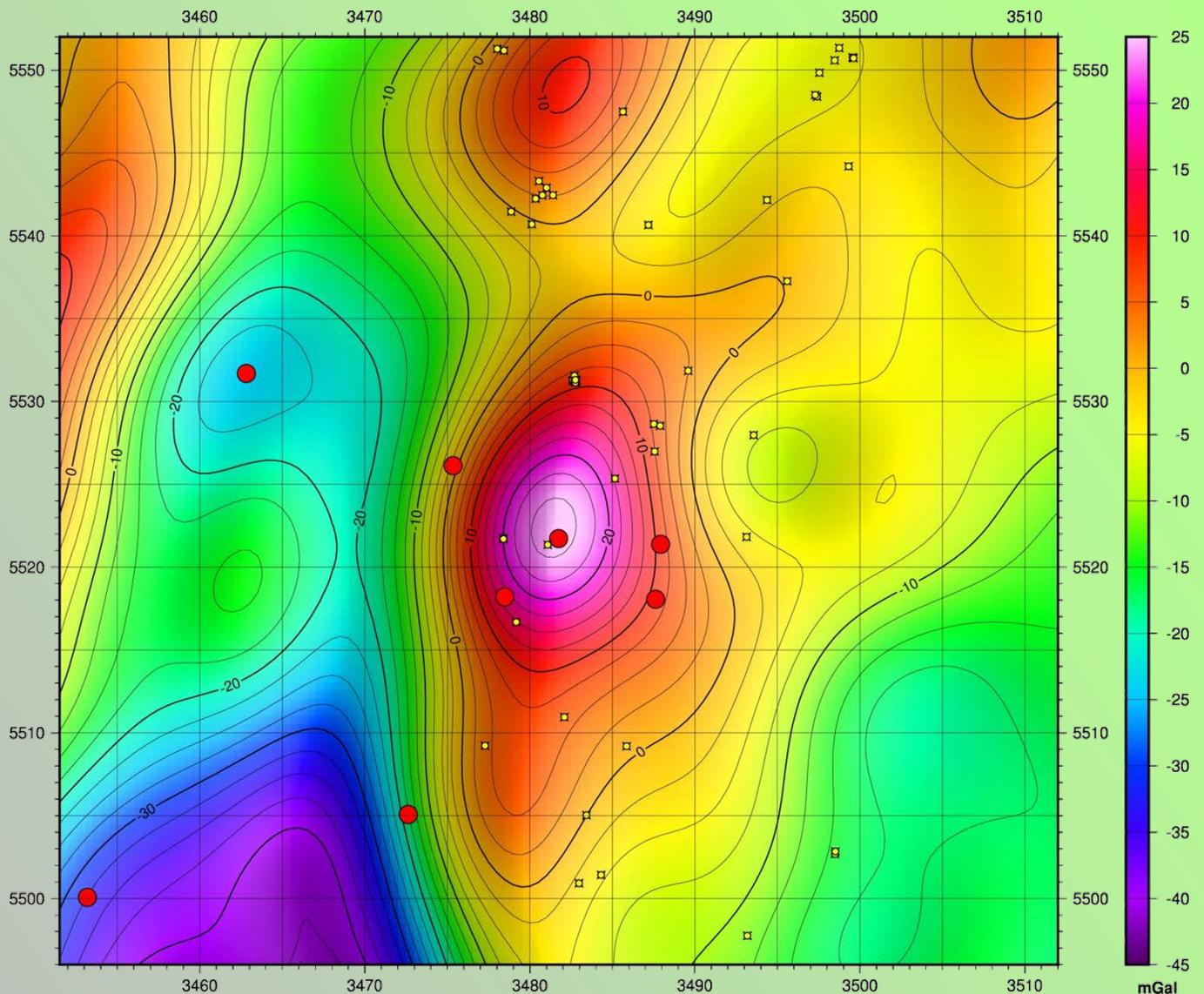
- Tektonik
- Städte
- + Schweremesspunkte
- Dichtemessungen
- ★ Erdbebenlokationen
- TK Blätter
- Bohrungen



» Tiefpass 10 km der Bouguerschwere

» Tiefpassfilter zeigen die langwelligeren Strukturen im Schwerfeld. Diese können entweder von tieferen Quellen hervorgerufen sein oder durch flache, weit ausgedehnte Dichteanomalien.

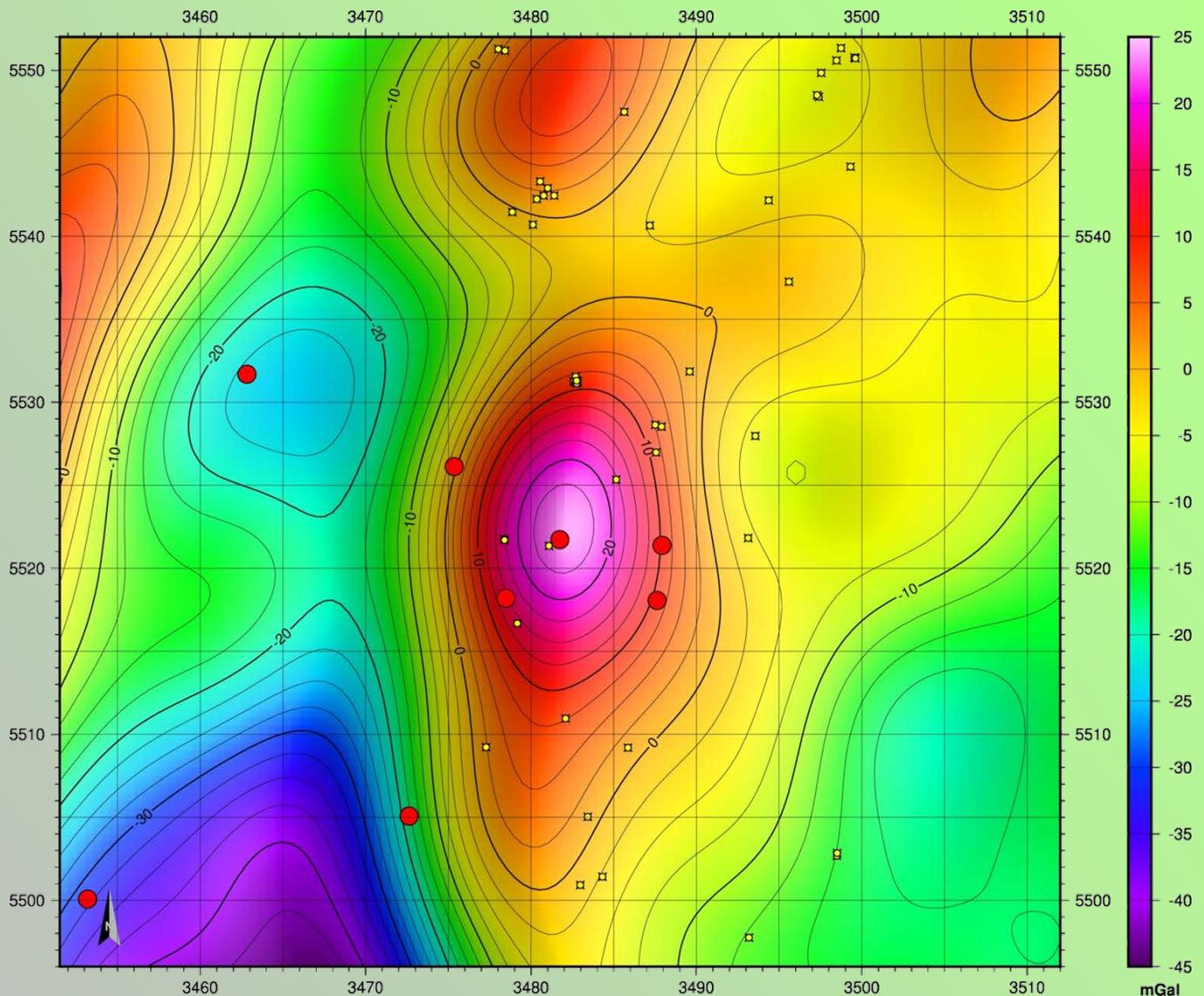
- Tektonik
- Städte
- + Schweremesspunkte
- Dichtemessungen
- ★ Erdbebenlokationen
- TK Blätter
- Bohrungen



» Tiefpass 12.5 km der Bouguer-schwere

» Tiefpassfilter zeigen die langwelligeren Strukturen im Schwerfeld. Diese können entweder von tieferen Quellen hervorgerufen sein oder durch flache, weit ausgedehnte Dichteanomalien.

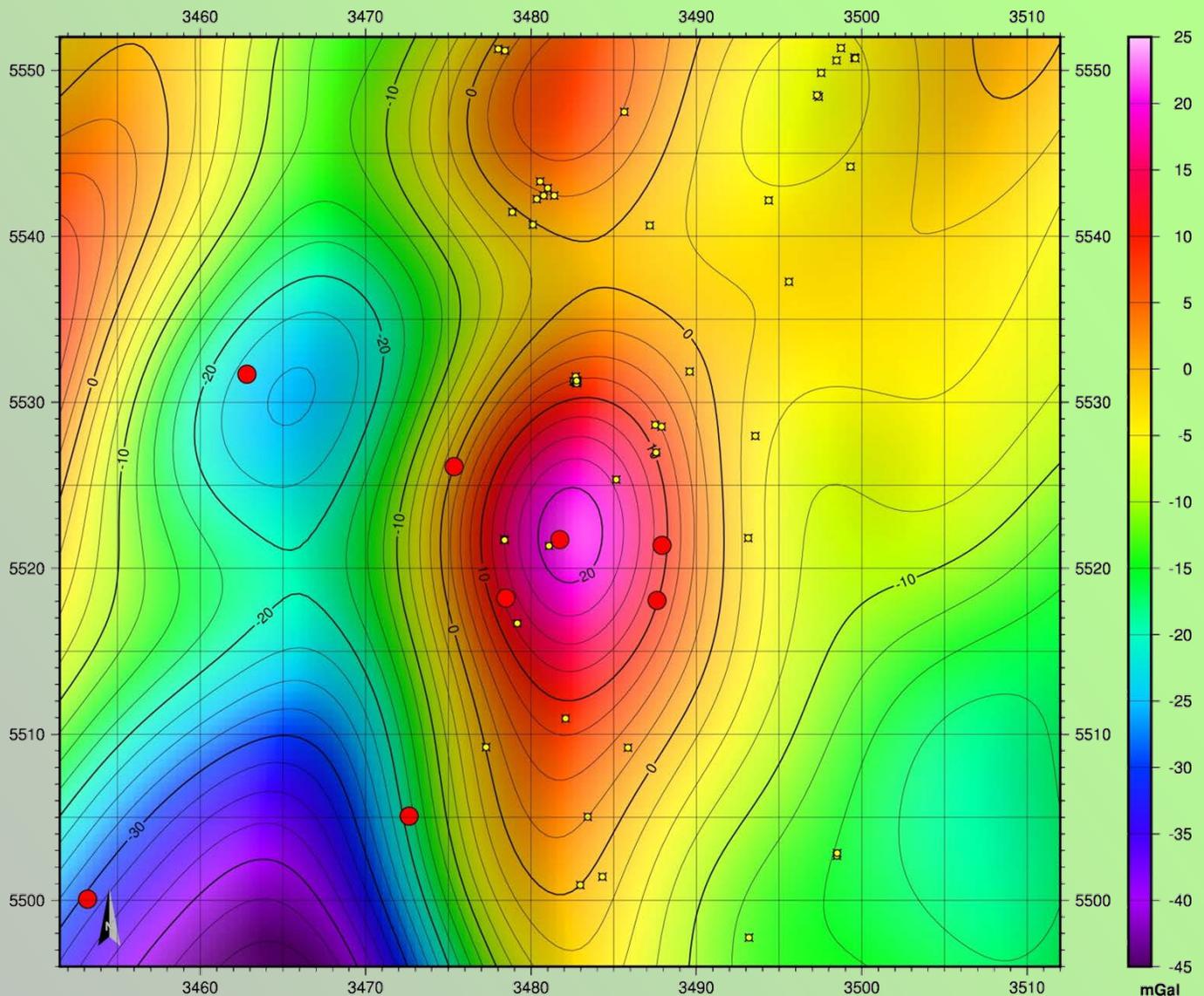
- Tektonik
- Städte
- ✚ Schweremesspunkte
- Dichtemessungen
- ★ Erdbebenlokationen
- TK Blätter
- ⊠ Bohrungen



» Tiefpass 15 km der Bouguerschwere

» Tiefpassfilter zeigen die langwelligeren Strukturen im Schwerfeld. Diese können entweder von tieferen Quellen hervorgerufen sein oder durch flache, weit ausgedehnte Dichteanomalien.

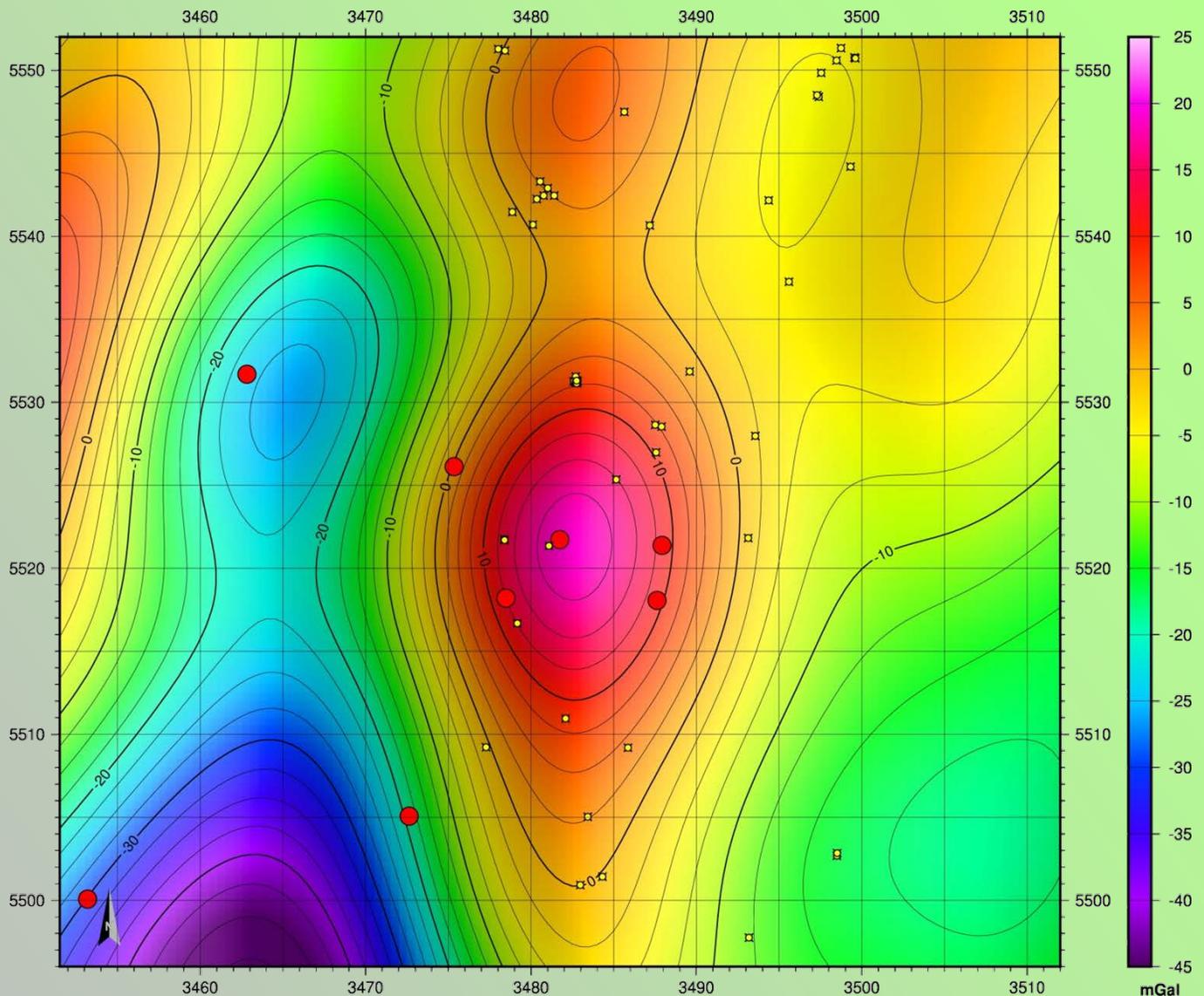
- Tektonik
- Städte
- ✚ Schweremesspunkte
- Dichtemessungen
- ★ Erdbebenlokationen
- TK Blätter
- ⊠ Bohrungen



» Tiefpass 17.5 km der Bouguer-schwere

» Tiefpassfilter zeigen die langwelligeren Strukturen im Schwerfeld. Diese können entweder von tieferen Quellen hervorgerufen sein oder durch flache, weit ausgedehnte Dichteanomalien.

- Tektonik
- Städte
- ✚ Schweremesspunkte
- Dichtemessungen
- ★ Erdbebenlokationen
- TK Blätter
- ⊠ Bohrungen

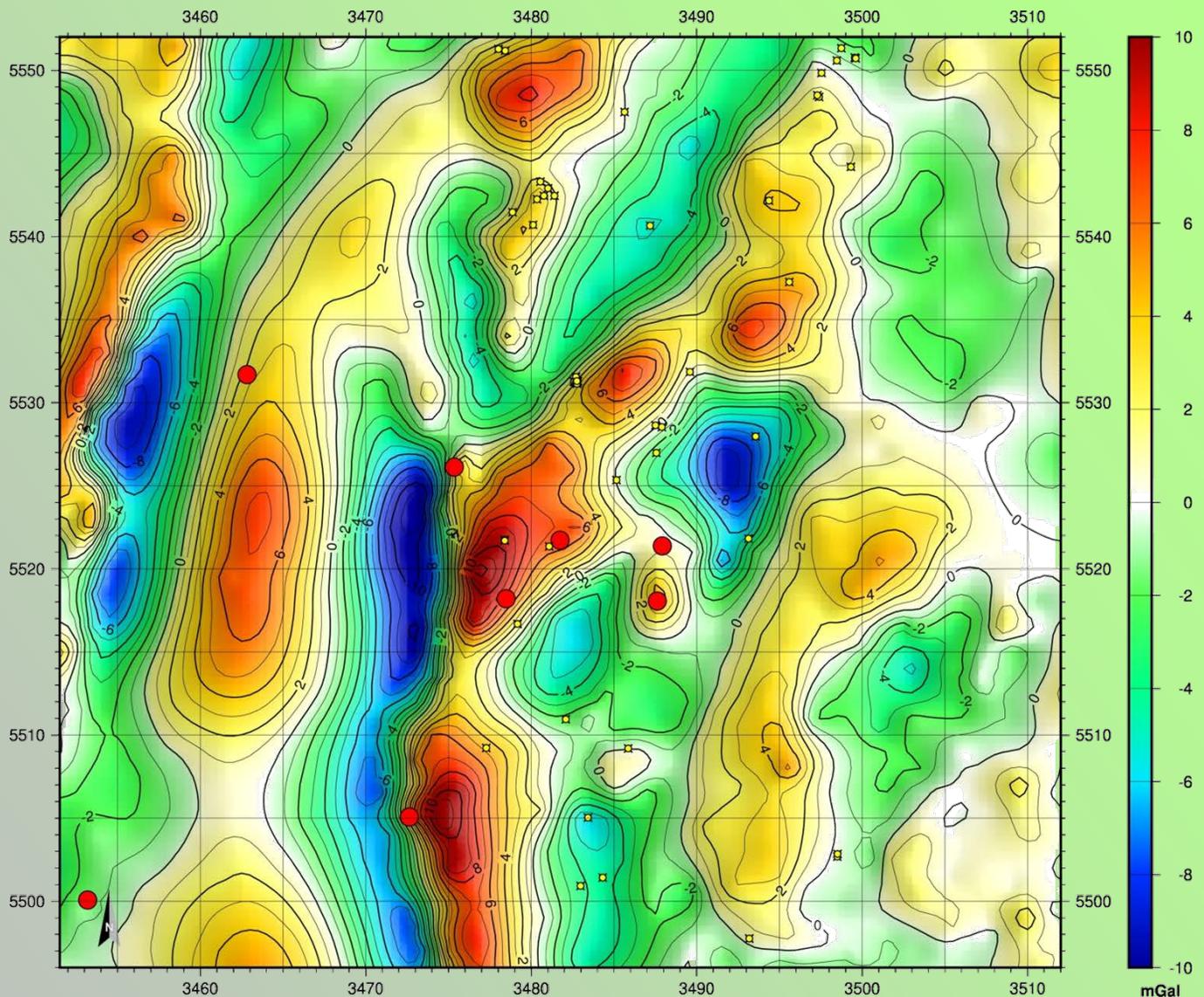


» Tiefpass 20 km der Bouguerschwere

» Tiefpassfilter zeigen die langwelligeren Strukturen im Schwerfeld. Diese können entweder von tieferen Quellen hervorgerufen sein oder durch flache, weit ausgedehnte Dichteanomalien.

» Zusammen mit der 20km Hochpassfilterung auf der nächsten Seite ergibt sich das Ausgangsfeld.

- Tektonik
- Städte
- ✚ Schweremesspunkte
- Dichtemessungen
- ★ Erdbebenlokationen
- TK Blätter
- ⊠ Bohrungen

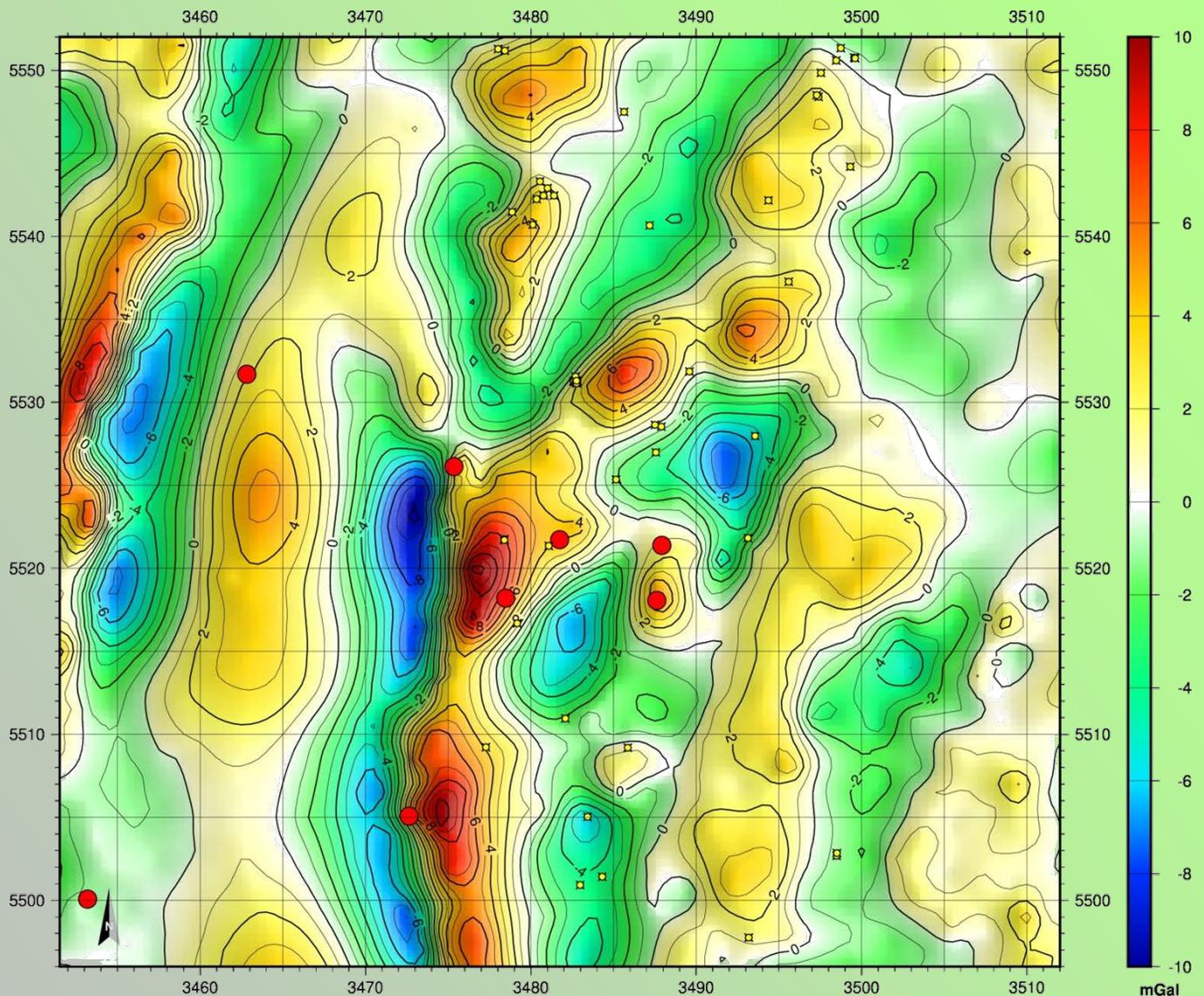


» Hochpass 20 km der Bouguer-schwere

» Hochpassfilter zeigen die kurzwelligeren Strukturen im Schwerfeld. Diese werden von oberflächennäheren Quellen hervorgerufen.

» Zusammen mit der 20km Tiefpass-filterung auf der vorigen Seite ergibt sich das Ausgangsfeld.

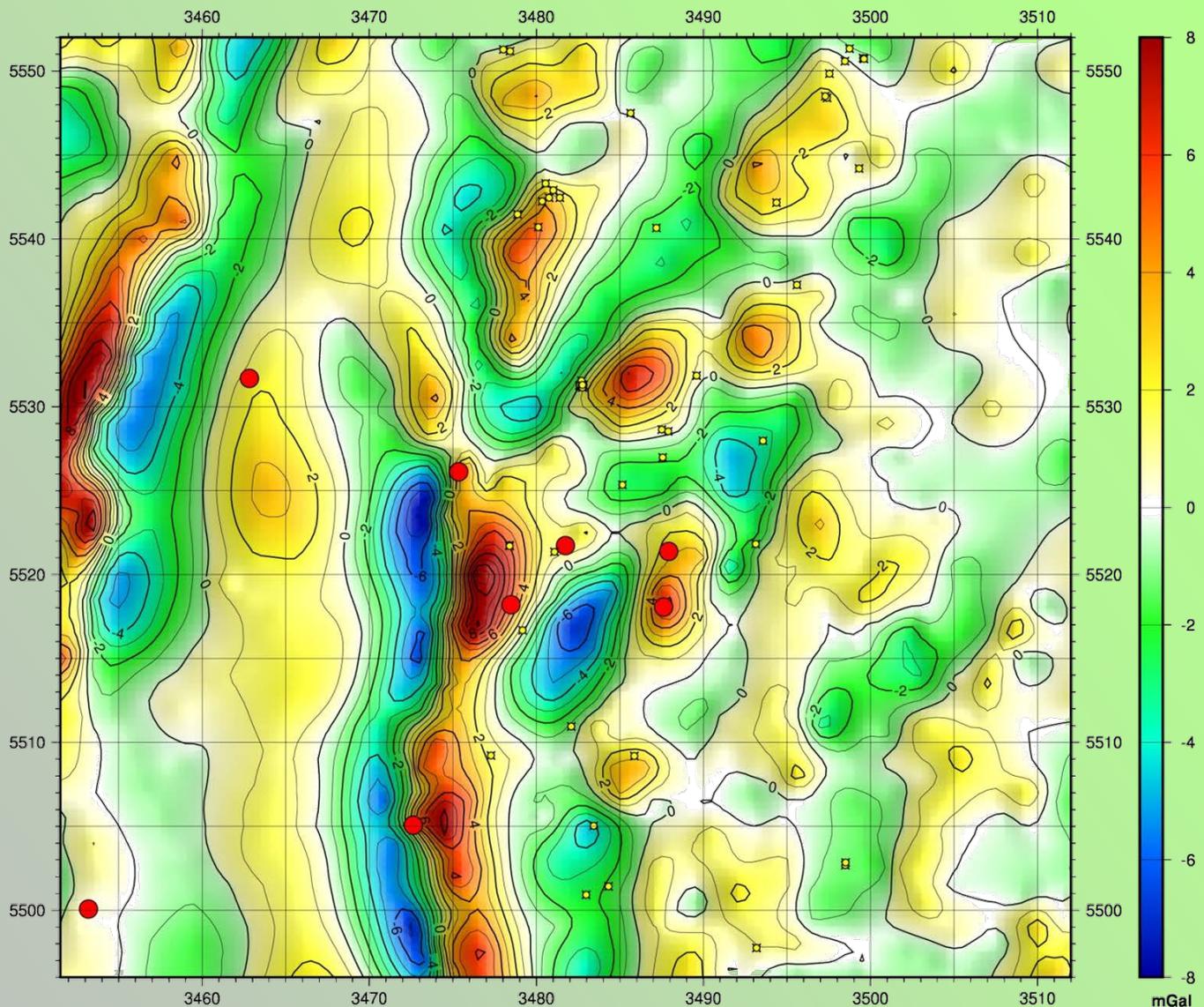
- Tektonik
- Städte
- ⊕ Schweremesspunkte
- Dichtemessungen
- ★ Erdbebenlokationen
- TK Blätter
- ⊠ Bohrungen



» Hochpass 17.5 km der Bouguer schwere

» Hochpassfilter zeigen die kurzwelligeren Strukturen im Schwerfeld. Diese werden von oberflächennäheren Quellen hervorgerufen.

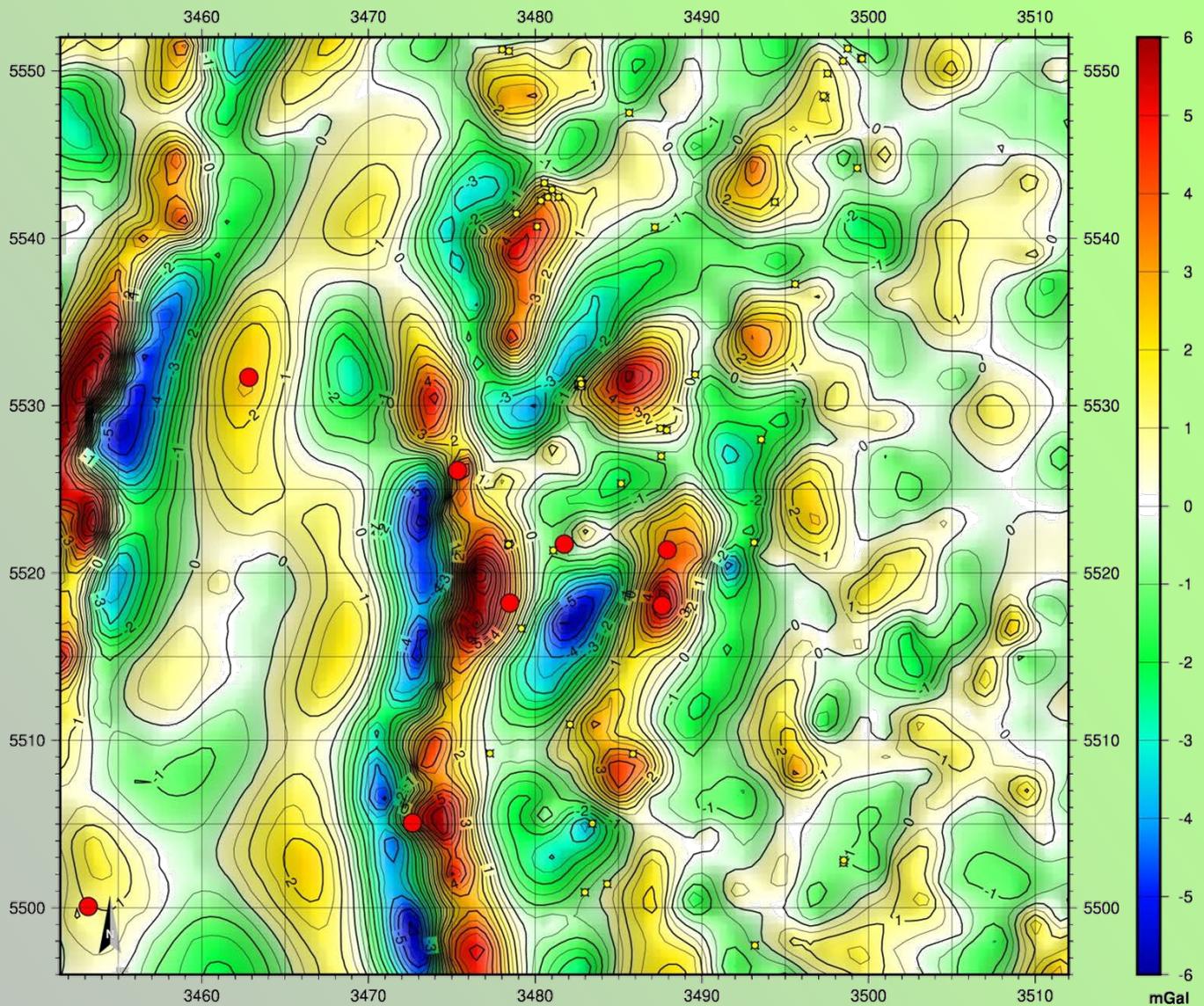
- Tektonik
- Städte
- + Schweremesspunkte
- Dichtemessungen
- ★ Erdbebenlokationen
- TK Blätter
- ✦ Bohrungen



» Hochpass 15 km der Bouguer-schwere

» Hochpassfilter zeigen die kurzwelligeren Strukturen im Schwerfeld. Diese werden von oberflächennäheren Quellen hervorgerufen.

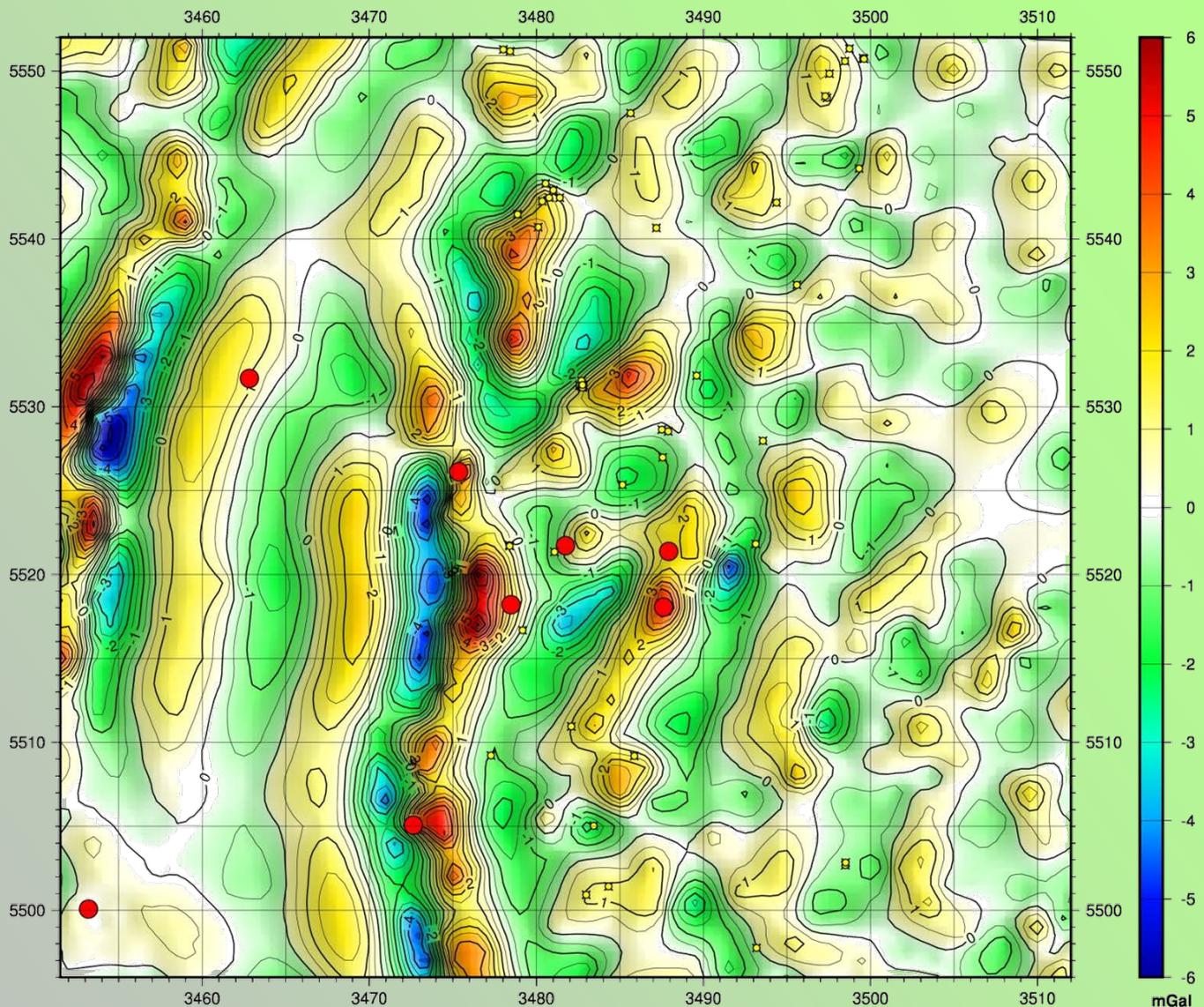
- Tektonik
- Städte
- + Schweremesspunkte
- Dichtemessungen
- ★ Erdbebenlokationen
- TK Blätter
- ✦ Bohrungen



» Hochpass 12.5 km der Bouguer-schwere

» Hochpassfilter zeigen die kurzwelligeren Strukturen im Schwerfeld. Diese werden von oberflächennäheren Quellen hervorgerufen.

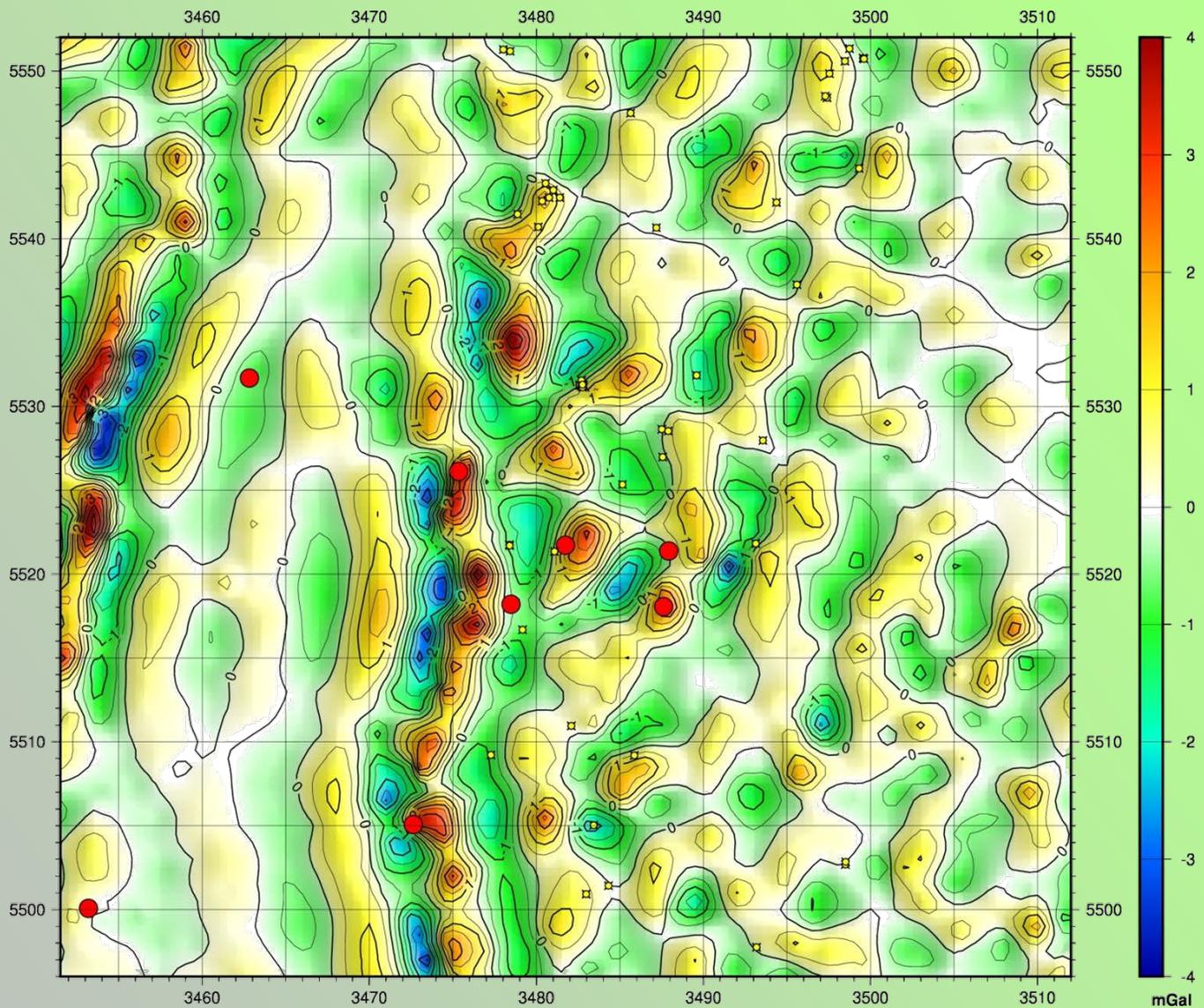
- Tektonik
- Städte
- + Schweremesspunkte
- Dichtemessungen
- ★ Erdbebenlokationen
- TK Blätter
- Bohrungen



» Hochpass 10 km der Bouguer-schwere

» Hochpassfilter zeigen die kurzwelligeren Strukturen im Schwerfeld. Diese werden von oberflächennäheren Quellen hervorgerufen.

- Tektonik
- Städte
- + Schweremesspunkte
- Dichtemessungen
- ★ Erdbebenlokationen
- TK Blätter
- ⊠ Bohrungen

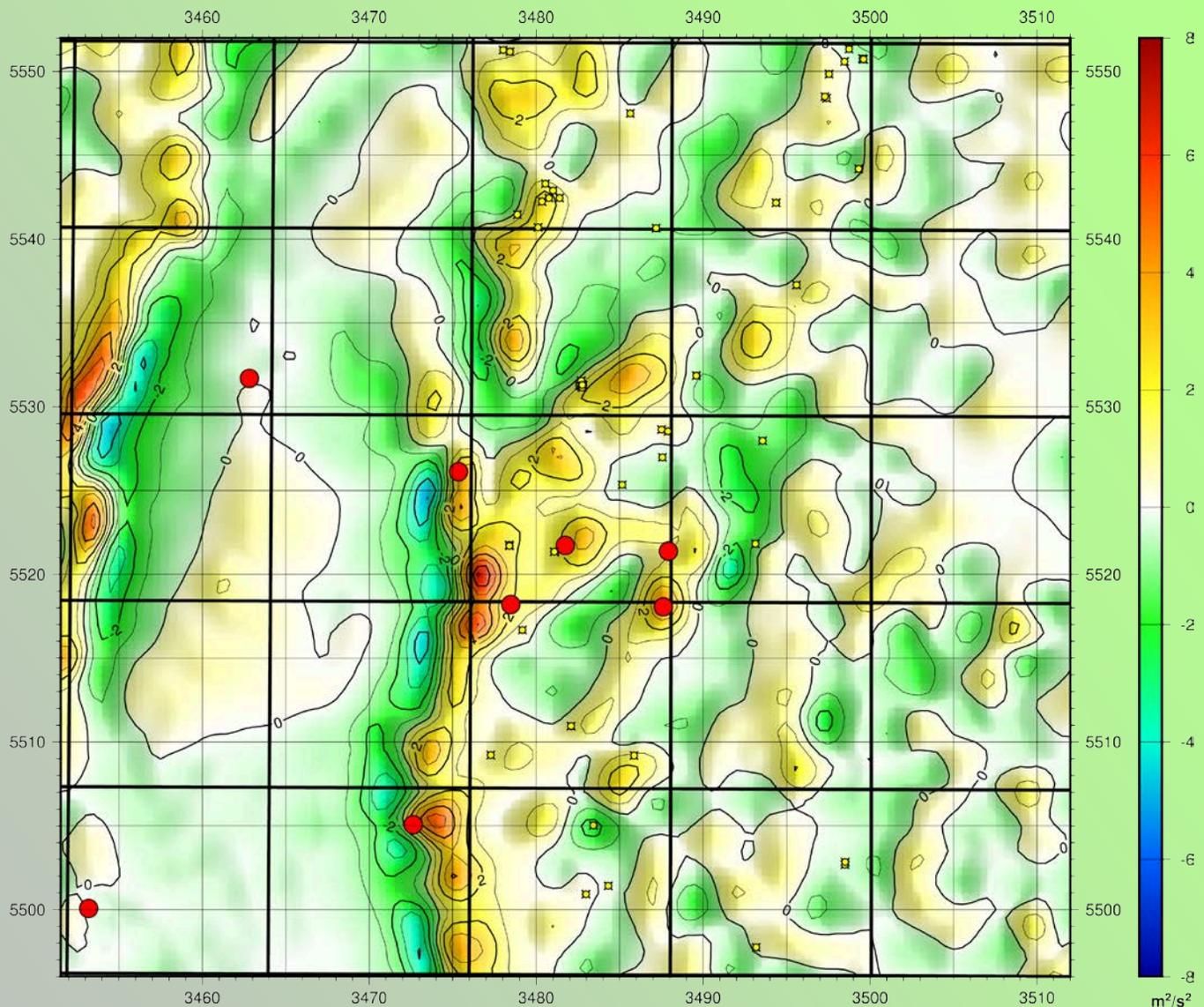


» Hochpass 7.5 km der Bouguer-schwere

» Hochpassfilter zeigen die kurzwelligeren Strukturen im Schwerfeld. Diese werden von oberflächennäheren Quellen hervorgerufen.

- Tektonik
- Städte
- + Schweremesspunkte
- Dichtemessungen
- ★ Erdbebenlokationen
- TK Blätter
- ⊠ Bohrungen

- » Feldtransformationen kombinieren verschiedene Ableitungen der Bouguerschwere. Dadurch sprechen sie auf hochfrequente Anteile des Feldes an, während langwellige Signale von geringer Bedeutung sind. Somit lassen sich in vielen Feldtransformationen Störungszonen und oberflächennahe laterale Dichtekontraste sehr gut kartieren.
- » Wie zu erwarten, können die Strukturen, welche in den Hochpassfilterungen sichtbar wurden, auch in den Feldtransformationen verfolgt werden. An manchen Stellen ergibt sich jedoch ein differenzierteres Bild und/oder können andere Muster erkannt werden. Dies kann jedoch auch durch die Wahl der Farbskala und ihren Wertebereich beeinflusst werden. Für die Interpretation sollte die Bouguerkarte, auf der die Transformationen beruhen, stets im Blick gehalten werden.
- » Besonders prominent in den Feldtransformationen sind die Kanten des Oberrheintalgrabens. Auch die nördliche Kante des Schweremaximums, in einigen Transformationen auch die östliche, sind deutlich sichtbar. Außerdem kann man die bekannte Störung östlich von Mühlthal und Ober-Ramstadt verfolgen.
- » Die südliche Begrenzung des Schweremaximums ist aus den Transformationen nicht deutlich ablesbar. Möglicherweise gibt es hier einen Übergangsbereich mit graduellem Dichteverlauf.

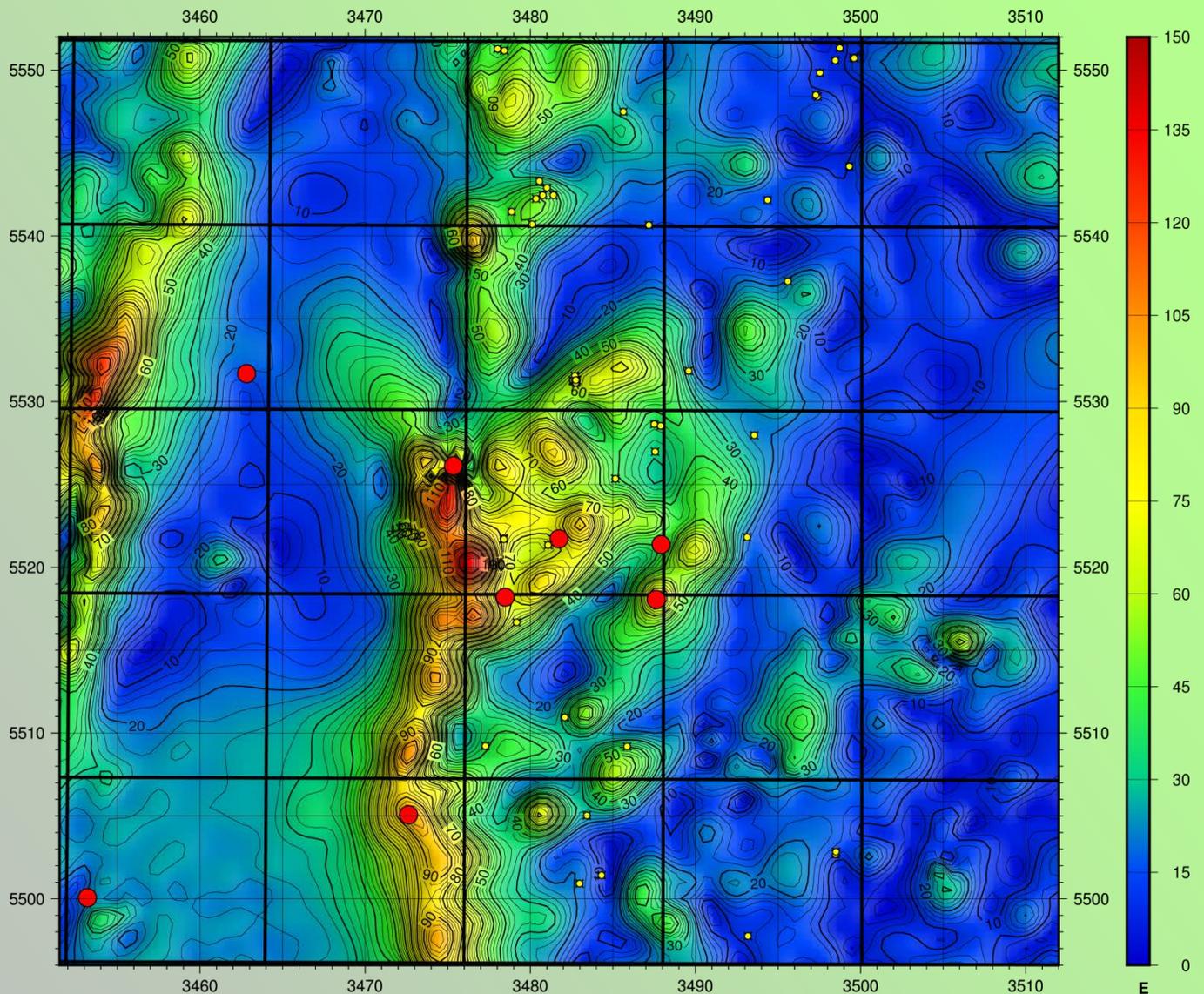


» Zweite Vertikale Ableitung der Bouguerschwere, 2 km Tiefpassfilter

» In der zweiten vertikalen Ableitung erkennt man die höherfrequenten Anteile des Schwerefeldes. Da auch Rauschen verstärkt wird, betrachtet man hier das Ergebnis nach einem Tiefpassfilter.

» Das prominente Schwerehoch ist auch in diesen hochfrequenten Anteilen zu erkennen.

- Tektonik
- Städte
- ✦ Schweremesspunkte
- Dichtemessungen
- ★ Erdbebenlokationen
- TK Blätter
- ✦ Bohrungen

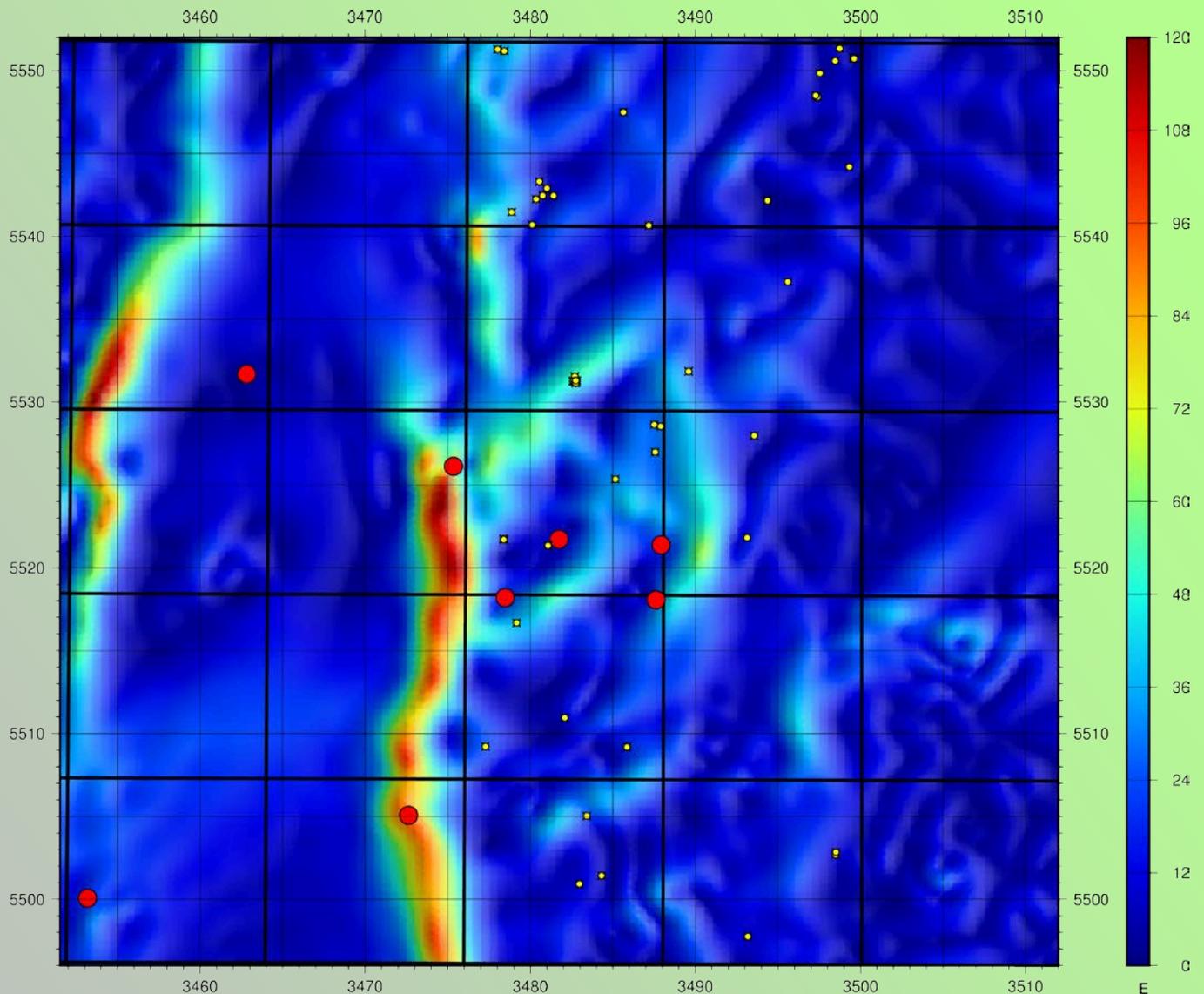


» Amplitude des Analytischen Signals

» Die Amplitude des Analytischen Signals hat hohe Bedeutung in der Interpretation des magnetischen Feldes, weil es wenig sensitiv gegenüber der Inklination und Deklination ist.

» Auch für Schweredaten (wie hier gezeigt) ist es ein interessantes Attribut, da die Maxima im Idealfall über den Quellen und/oder ihren Kanten liegen.

- Tektonik
- Städte
- ✦ Schweremesspunkte
- Dichtemessungen
- ★ Erdbebenlokationen
- TK Blätter
- ⊠ Bohrungen

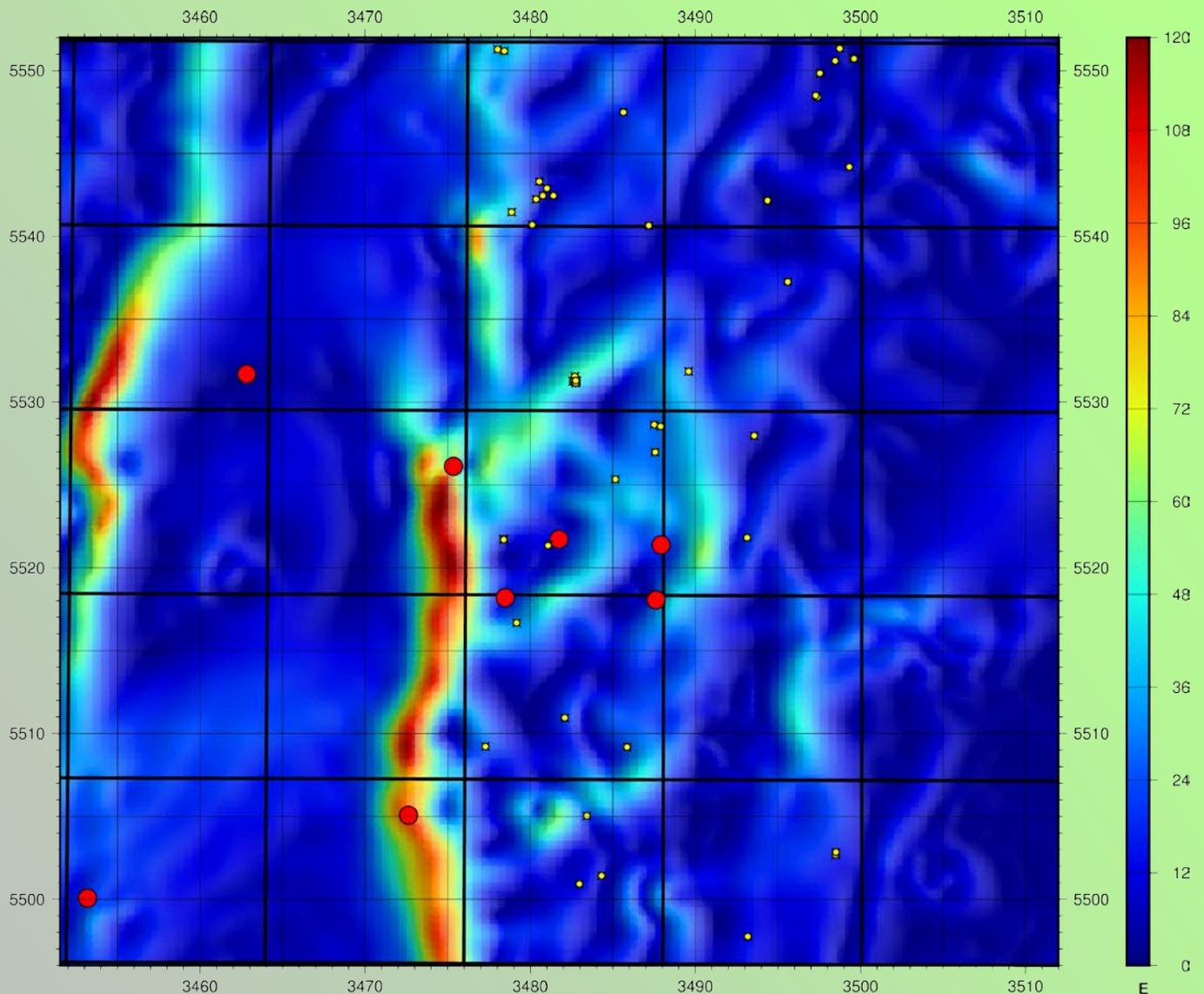


» Horizontalgradientenmagnitude der Bouguerschwere

» Die Magnitude der horizontalen Gradienten wird verwendet, um Ränder von Strukturen anhand der Maxima zu verfolgen.

» Für genügend mächtige Strukturen mit vertikalen Kanten liegen die Hochs in der Karte genau über ihren Rändern.

- Tektonik
- Städte
- + Schweremesspunkte
- Dichtemessungen
- ★ Erdbebenlokationen
- TK Blätter
- ⊠ Bohrungen



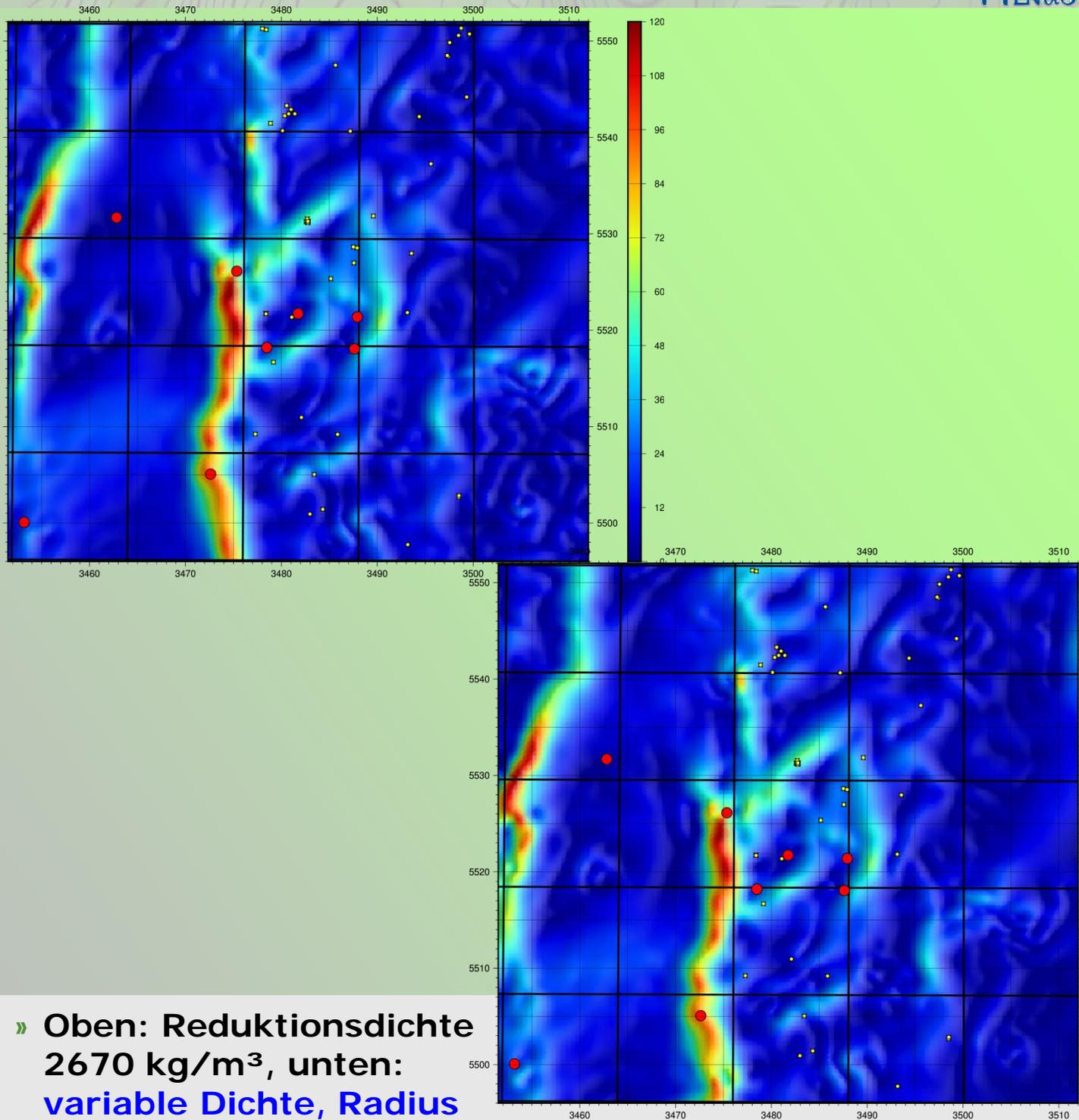
» Horizontalgradientenmagnitude der Bouguerschwere mit Reduktionsdichte 2350 kg/m^3

» Die prominenten Strukturen der Horizontalgradientenmagnitude verändern sich bei geringerer Reduktionsdichte nicht.

» In den schwächeren Strukturen gibt es zum Teil geringe Unterschiede, insbes. im Südosten.

- Tektonik
- Städte
- + Schweremesspunkte
- Dichtemessungen
- ★ Erdbebenlokationen
- TK Blätter
- ✱ Bohrungen

Horizontalgradientenmagnitude

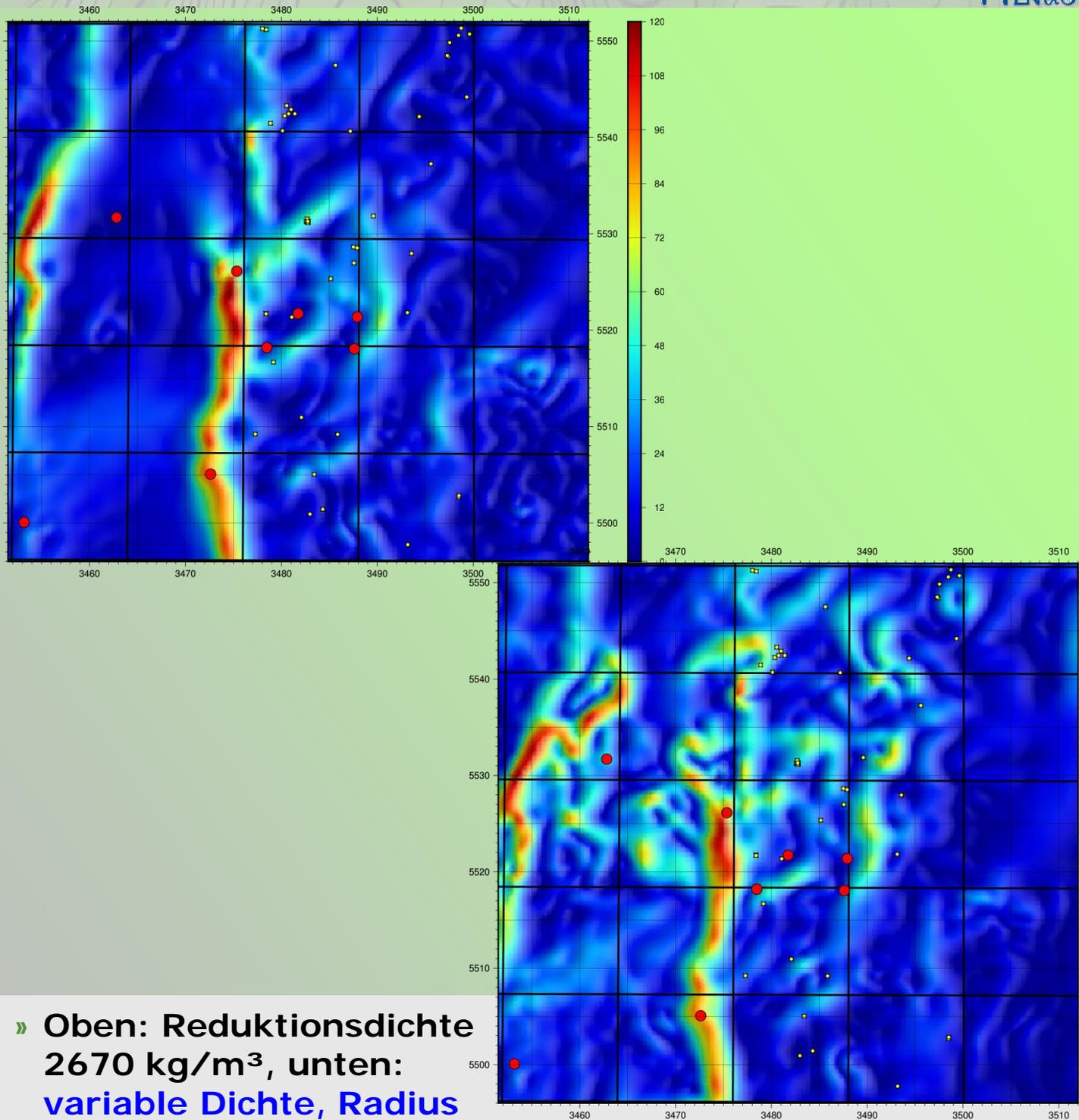


» **Oben: Reduktionsdichte 2670 kg/m³, unten: variable Dichte, Radius 20 km**

» **Signifikante Unterschiede in diesem Attribut gibt es nur im Südosten. Hier sieht die Karte mit variabler Dichte der mit 2350 kg/m³ ähnlich.**

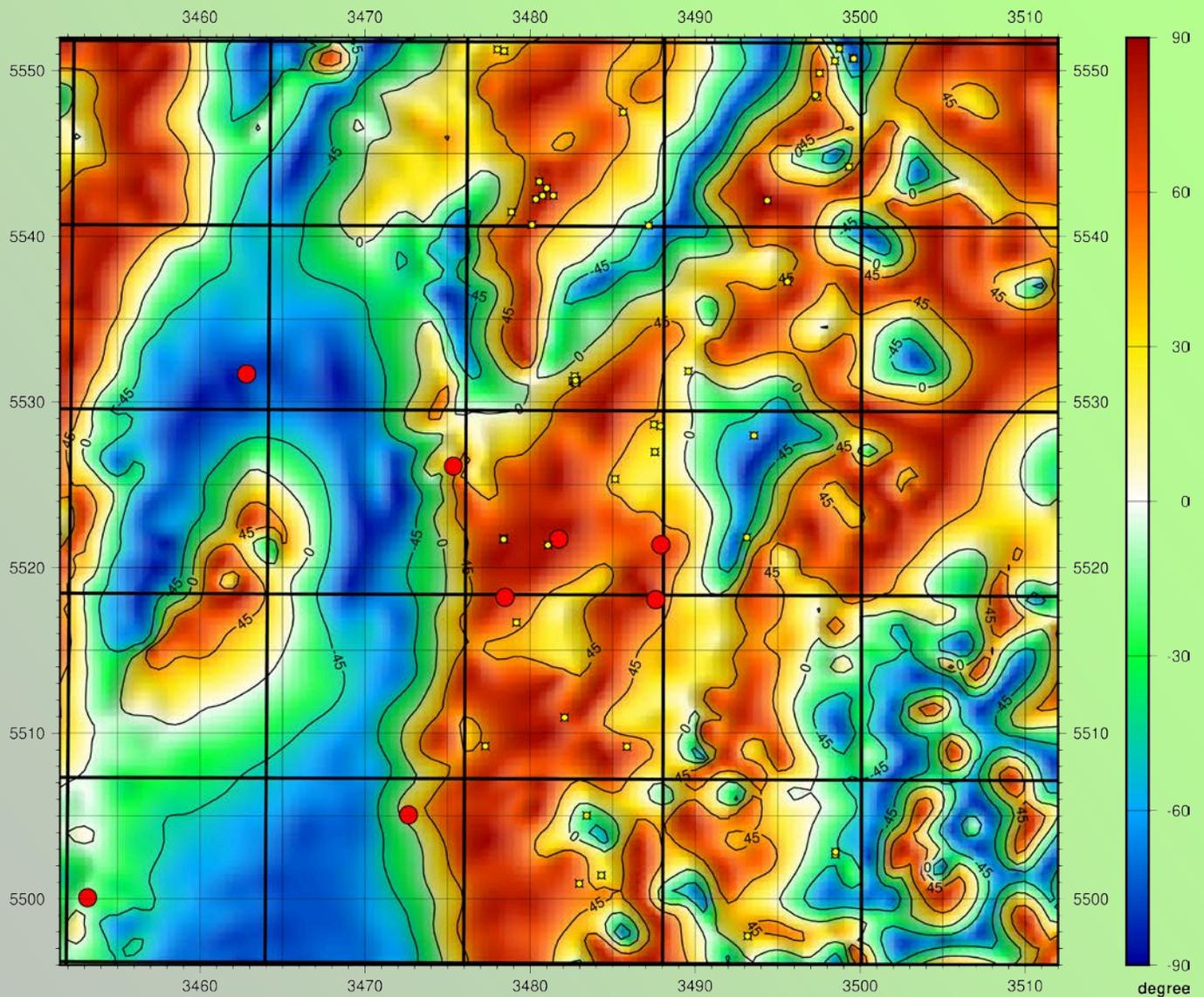
- Tektonik
- Städte
- + Schweremesspunkte
- Dichtemessungen
- ★ Erdbebenlokationen
- TK Blätter
- ⊠ Bohrungen

Horizontalgradientenmagnitude



» **Oben: Reduktionsdichte 2670 kg/m³, unten: variable Dichte, Radius 5 km**

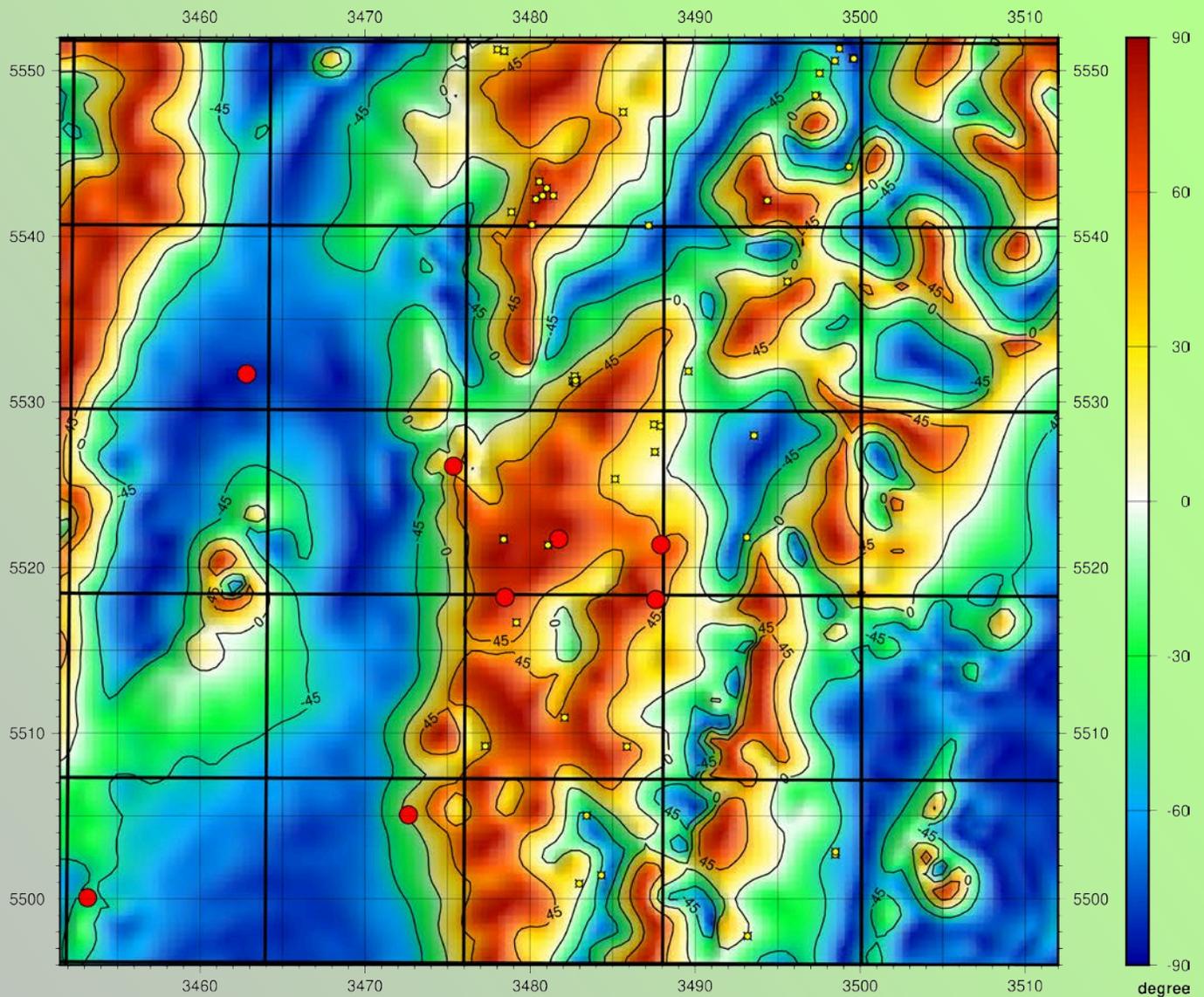
» Bei kleinerem Mittelungsradius entstehen insbes. in Gebieten flacher Topografie vorher nicht sichtbare Strukturen. Es ist jedoch zu beachten, dass bei diesem Radius nur relativ wenige Punkte für das Nettleton-Verfahren berücksichtigt werden und dass das Verfahren um so besser funktioniert, je stärker die Topografie ausgeprägt ist. Somit ist die gezeigte Karte als Experiment zu sehen und nicht unbedingt interpretierbar.



» Tilt Derivative der Bouguerschwere

- » Der Tilt Derivative zeigt langwellige und kurzwellige Strukturen. Seine Maxima liegen bei lokalen Schwerehochs, seine Minima bei lokalen Schweretiefs. Die Nulllinie läge bei einem idealen Modell (mit ausschließlich isolierten Körpern, deren Schwerewirkungen sich nicht überlagern) über den Kanten der Störkörper.

- Tektonik
- Städte
- + Schweremesspunkte
- Dichtemessungen
- ★ Erdbebenlokationen
- TK Blätter
- Bohrungen

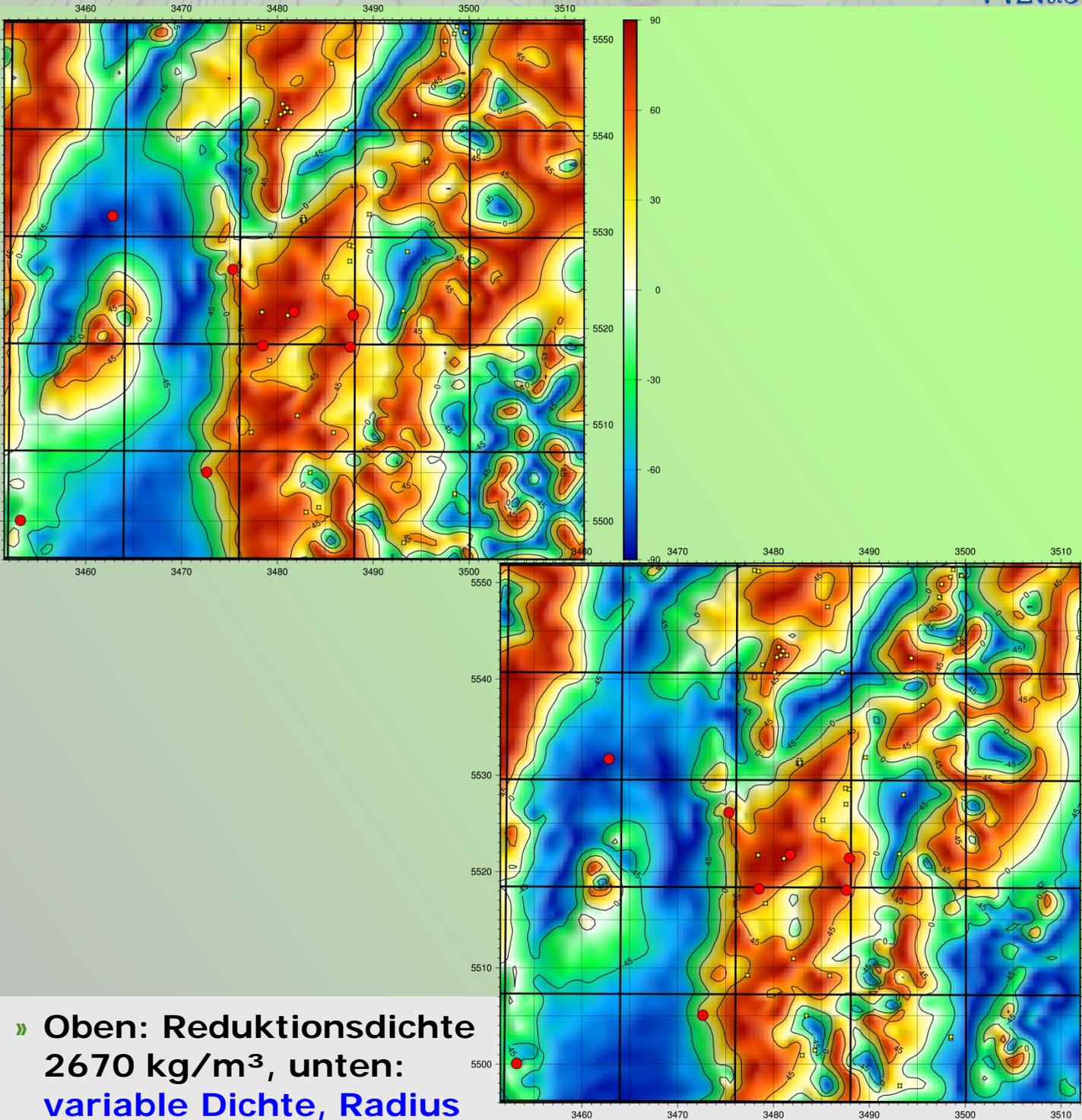


» **Tilt Derivative
der Bouguerschwere mit
Reduktionsdichte 2350 kg/m^3**

» Der Tilt Derivative für eine geringere Reduktionsdichte unterscheidet sich etwas stärker von dem der üblichen Reduktionsdichte (2670 kg/m^3) als es bei der Horizontalgradientenmagnitude der Fall ist; die Struktur bleibt jedoch sehr ähnlich.

- Tektonik
- Städte
- + Schweremesspunkte
- Dichtemessungen
- ★ Erdbebenlokationen
- TK Blätter
- ⊠ Bohrungen

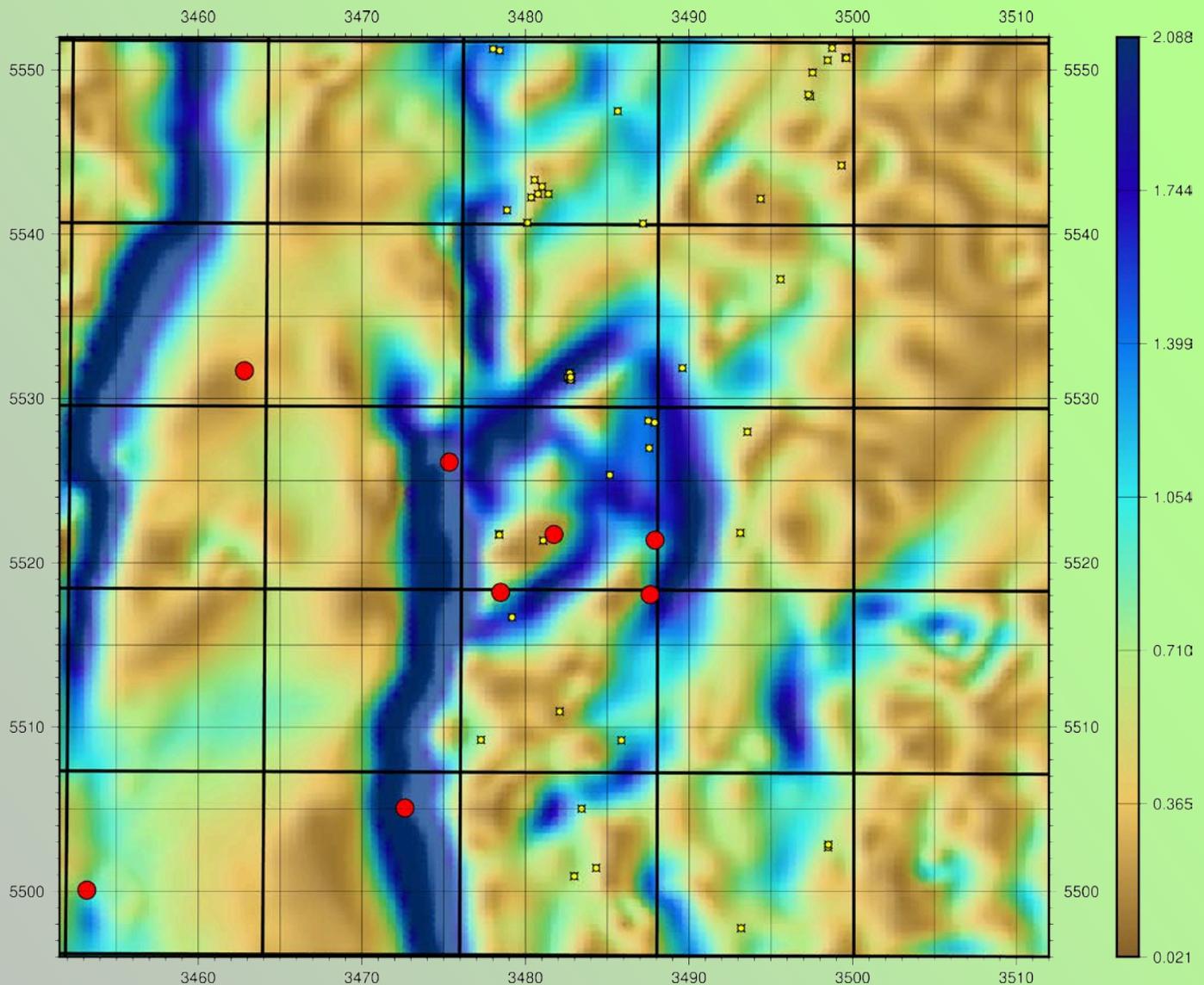
Tilt Derivative



» **Oben: Reduktionsdichte 2670 kg/m^3 , unten: variable Dichte, Radius 20 km**

» Im Tilt Derivative gibt es auch für den Radius 20 km schon sichtbare Unterschiede. Diese würden jedoch an der Interpretation nichts ändern.

- Tektonik
- Städte
- + Schweremesspunkte
- Dichtemessungen
- ★ Erdbebenlokationen
- TK Blätter
- Bohrungen

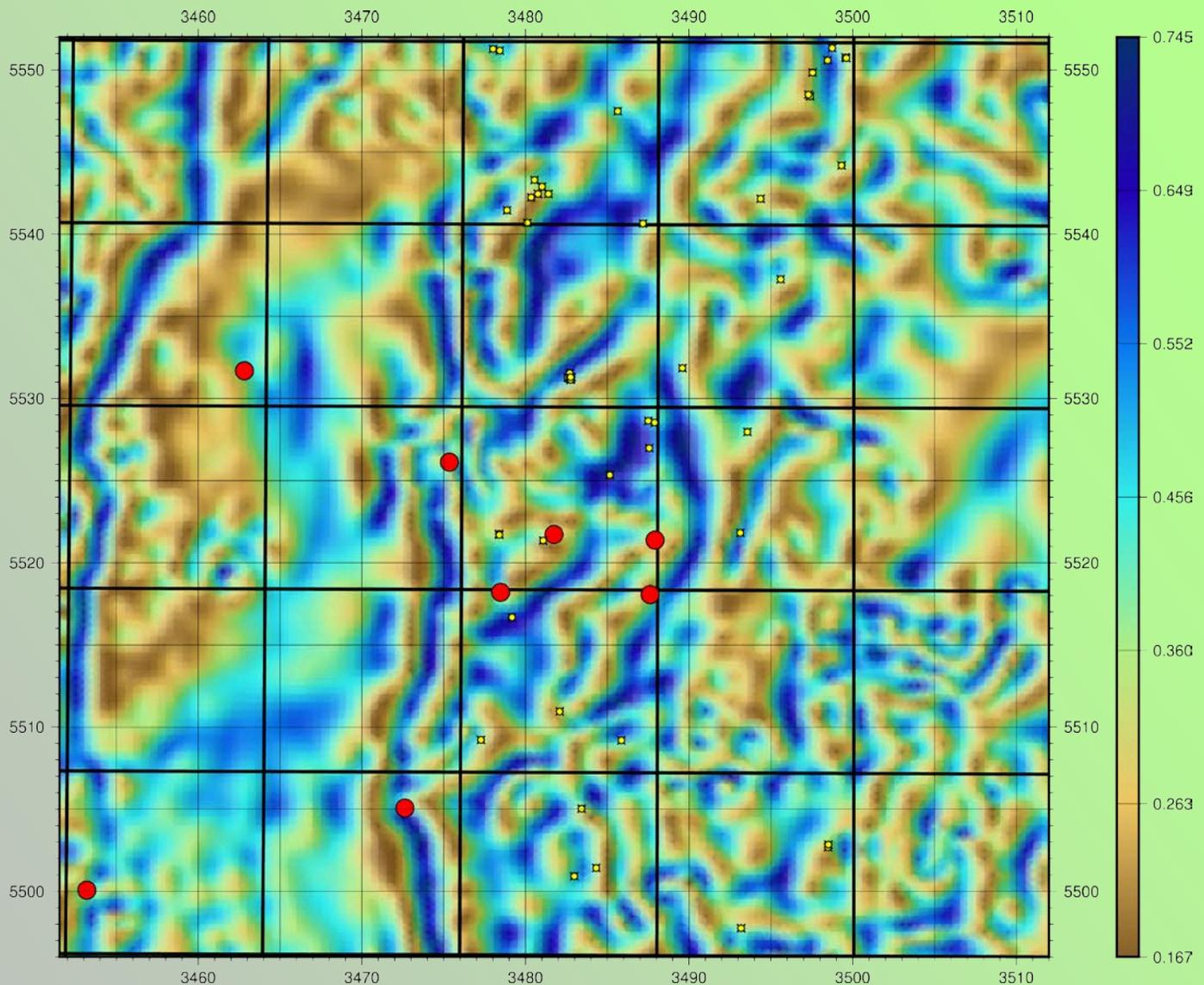


» Standardabweichungsfiler der Bouguerschwere

» Der Standardabweichungsfiler berechnet die lokale Standardabweichung um jeden Gridpunkt.

» So werden Gebiete hervorgehoben, in denen sich das Schwerefeld stärker ändert.

- Tektonik
- Städte
- + Schweremesspunkte
- Dichtemessungen
- ★ Erdbebenlokationen
- TK Blätter
- ✦ Bohrungen



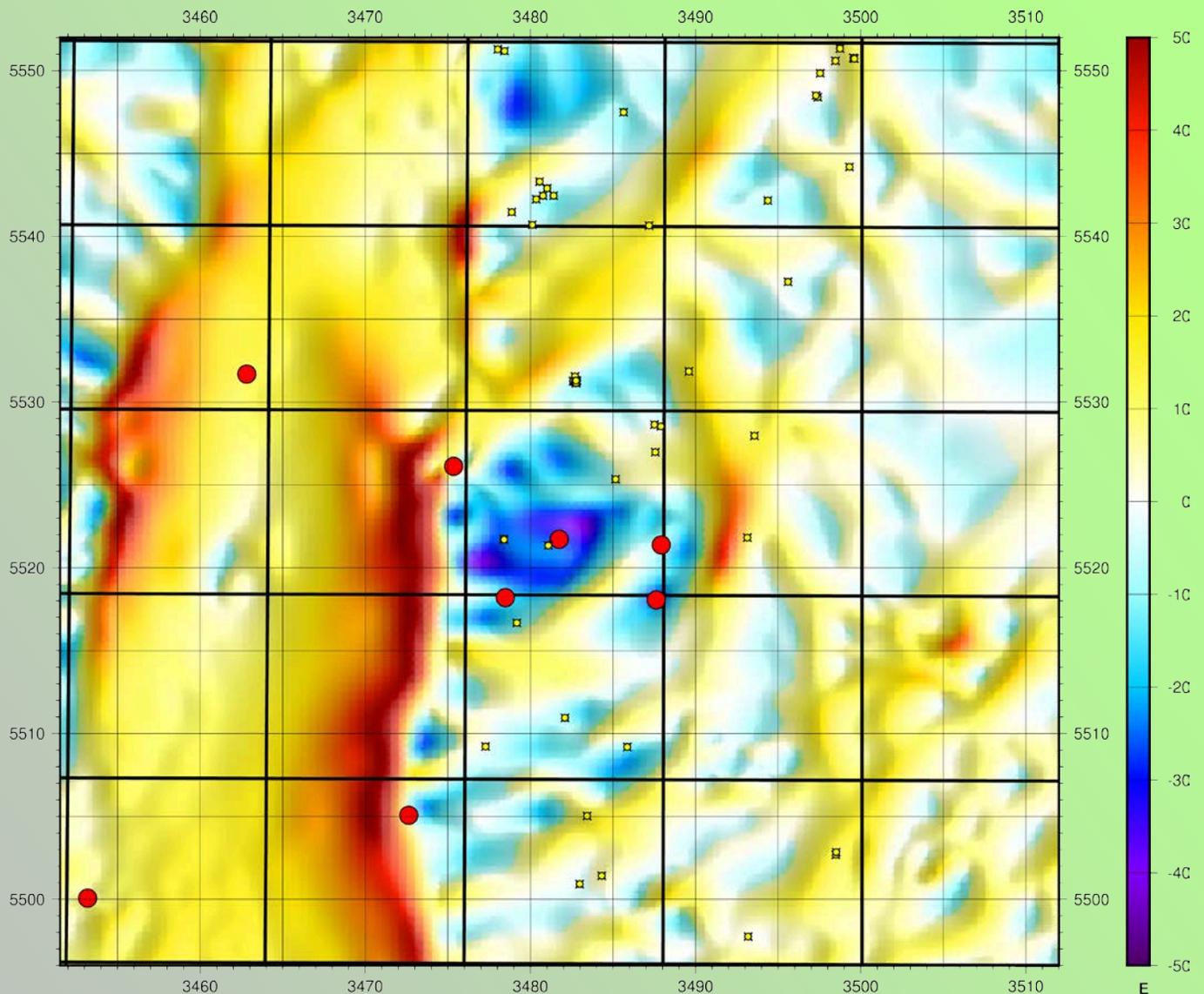
» Normalisierter Standardabweichungsfilter der Bouguerschwere

» Der normalisierte Standardabweichungsfilter wird aus einer Kombination von standardabweichungsgefilterten Schweregradienten gewonnen.

» Er zeigt auch die sehr viel geringeren Änderungen im Schwerfeld.

- Tektonik
- Städte
- + Schweremesspunkte
- Dichtemessungen
- ★ Erdbebenlokationen
- TK Blätter
- ⊠ Bohrungen

- » Ähnlich wie die Feldtransformationen kombinieren die Krümmungsfelder verschiedene Ableitungen der Bouguerschwere. Sie sind jedoch etwas anders zu interpretieren, da hier die Krümmung des Potentials der Bouguerschwere analysiert wird. Da etliche Krümmungsgrößen definiert sind, werden aus dieser Vielzahl im Allgemeinen nur die größte und die kleinste verwendet.
- » Die lokale Form des Schwerefelds ist leicht aus der minimalen und maximalen Krümmung zu erfassen. Dies lässt sich am Beispiel eines Grabens verdeutlichen, der eine (betragsmäßig) große Krümmung in der Richtung der ihn überquerenden Brücke hat, senkrecht dazu jedoch eine Krümmung um Null besitzt.
- » Im Wesentlichen sind in den Krümmungen die gleichen Strukturen zu sehen wie auch schon in den Feldtransformationen. Auch hier fällt auf, dass die östliche Grabenkante dort, wo der Nordrand des Schweremaximums auf den Graben trifft, scheinbar einen Versatz hat.

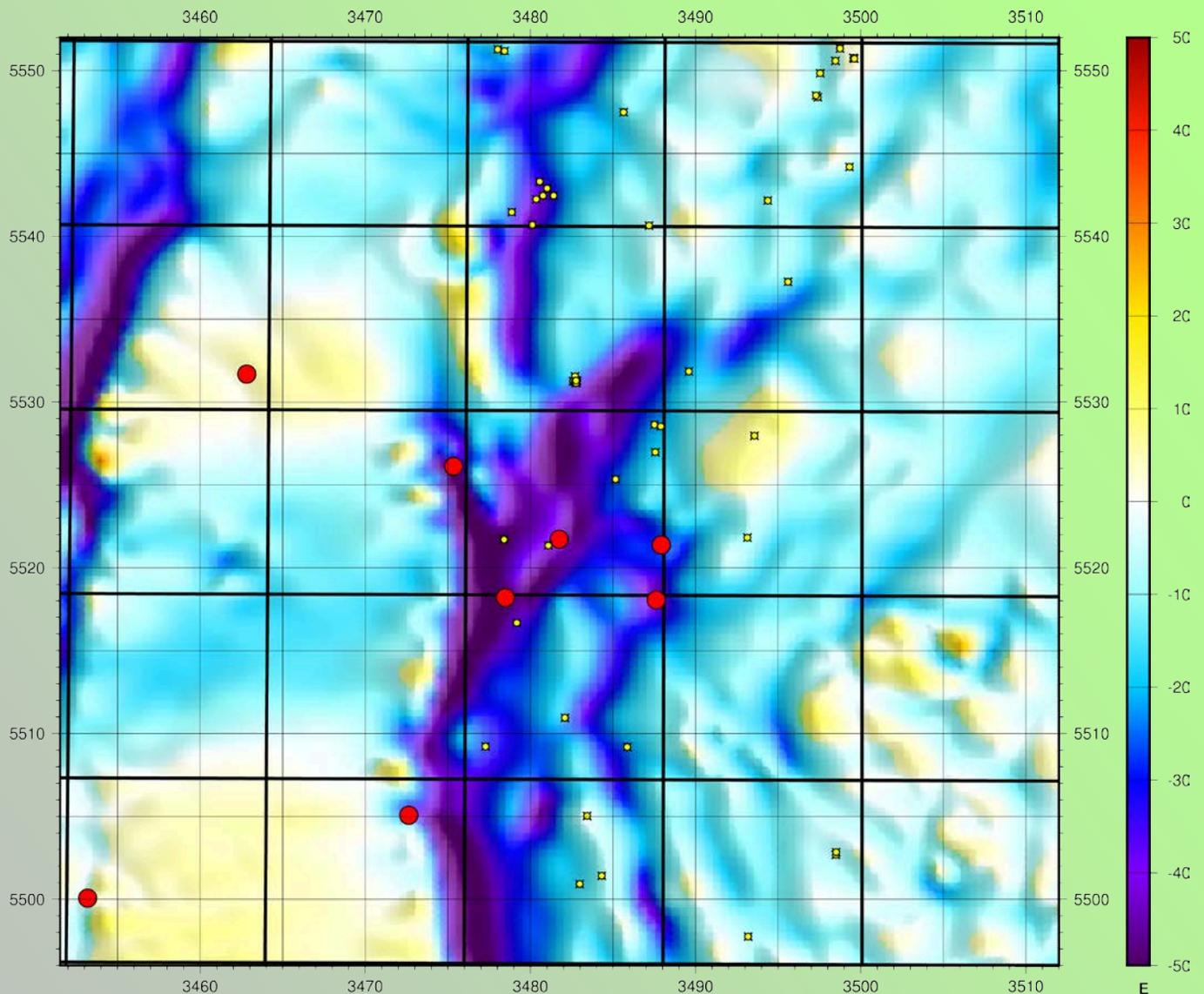


» Maximale Krümmung des Potentials

» Die maximale Krümmung (des Schwere-Potentials) hebt generell Störungen hervor.

» Sie steht senkrecht auf der minimalen Krümmung (siehe folgende Attribut-karte).

- Tektonik
- Städte
- ⊕ Schweremesspunkte
- Dichtemessungen
- ★ Erdbebenlokationen
- TK Blätter
- ⊠ Bohrungen

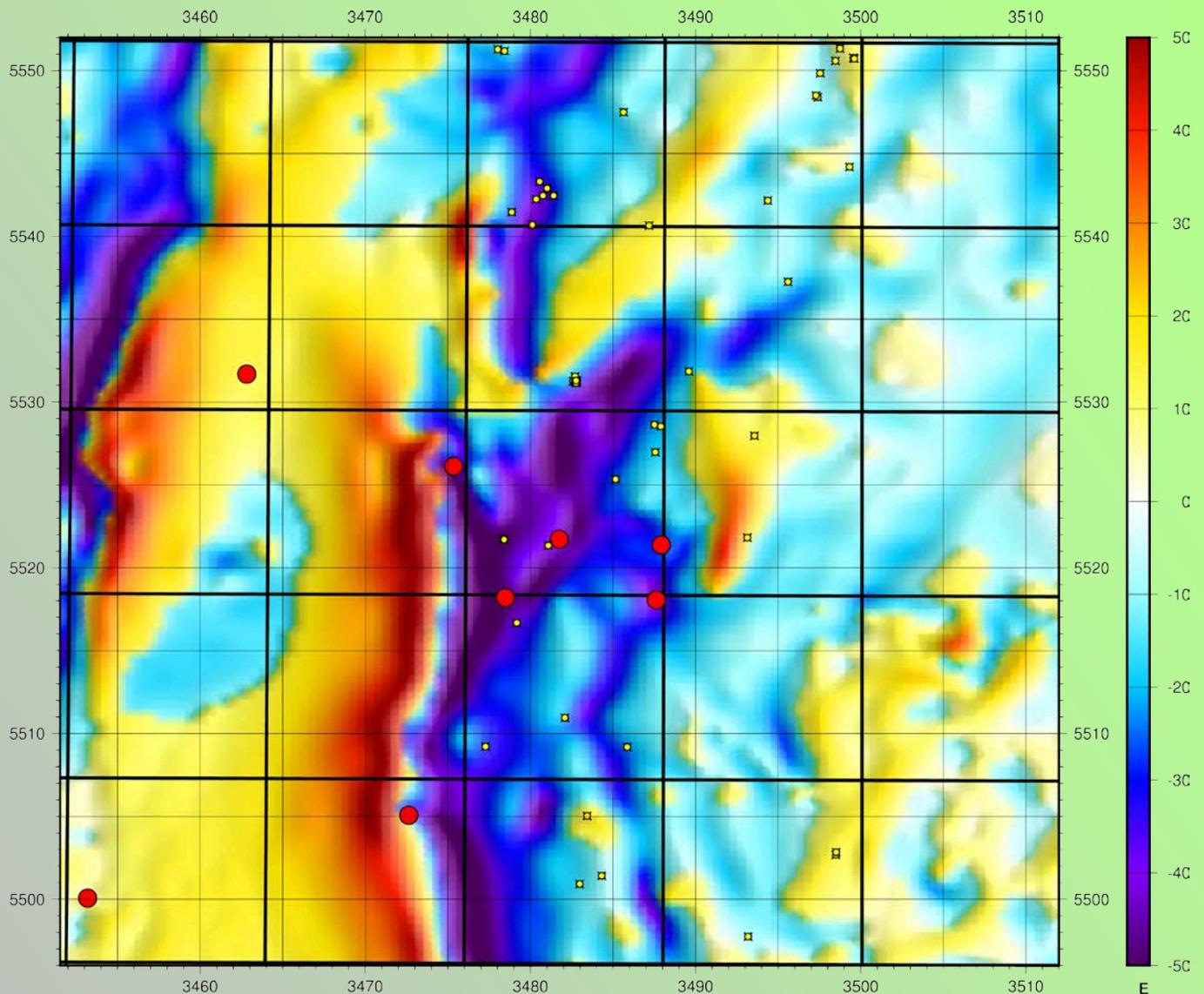


» Minimale Krümmung des Potenzials

» Die minimale Krümmung (des Schwerezpotenzials) hebt generell ebenfalls Störungen hervor.

» Sie steht senkrecht auf der maximalen Krümmung (siehe vorherige Attributkarte).

- Tektonik
- Städte
- + Schweremesspunkte
- Dichtemessungen
- ★ Erdbebenlokationen
- TK Blätter
- ✦ Bohrungen

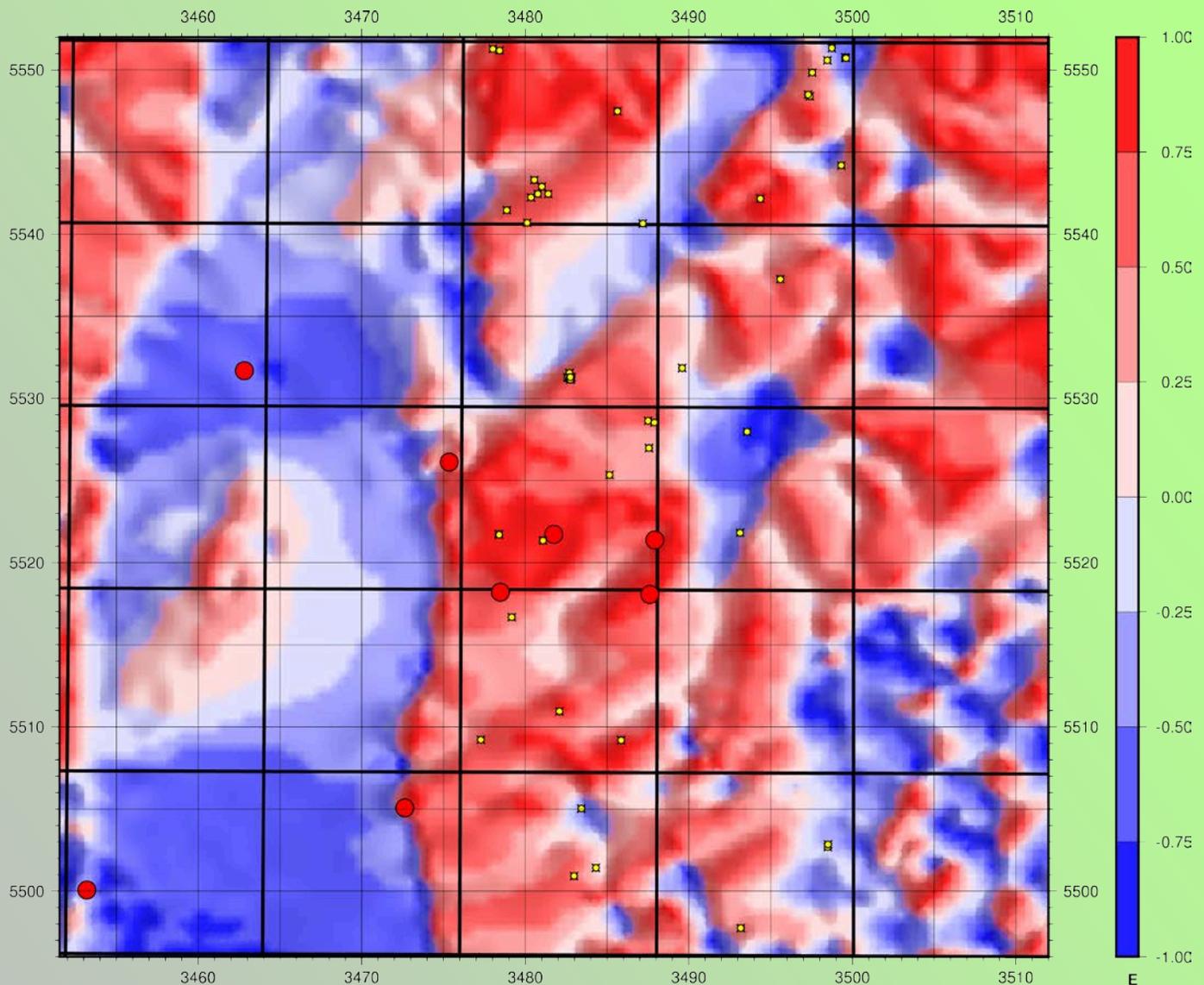


» Maximale Absolute Krümmung des SchwerePotenzials

» Die maximale absolute Krümmung ist der größere der Absolutwerte aus minimaler und maximaler Krümmung.

» Große Störungen werden hier als nah beieinander liegende positive und negative Lineamente abgebildet. Täler und Berge im Schwerefeld werden dagegen als einzelne Farbe dargestellt.

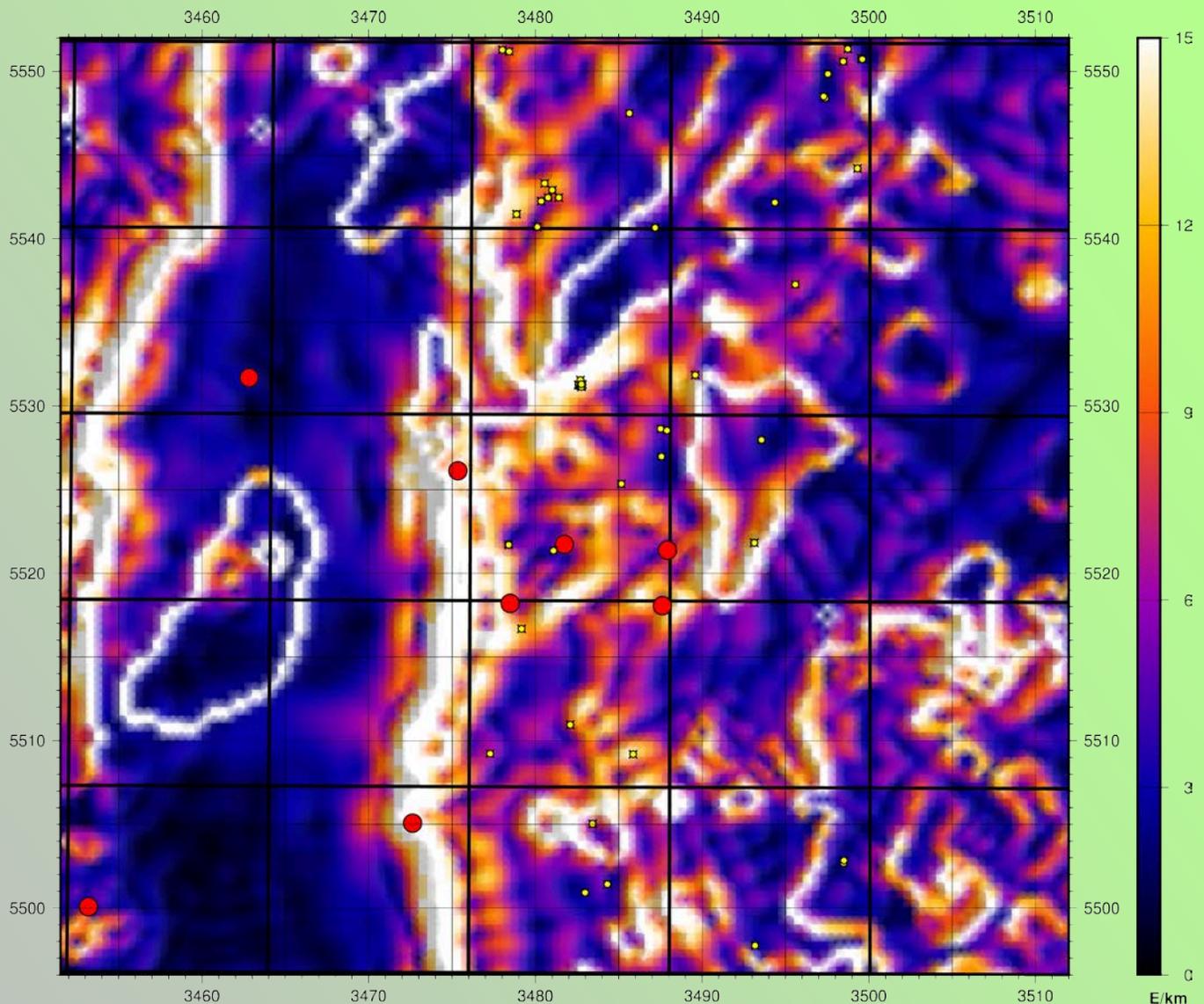
- Tektonik
- Städte
- + Schweremesspunkte
- Dichtemessungen
- ★ Erdbebenlokationen
- TK Blätter
- ⊠ Bohrungen



» Shape Index der Bouguerschwere

- » Der Shape Index verdeutlicht, ob das Schwerfeld lokal eher wie
 - eine nach oben (-) bzw. unten (+) geöffnete Schale geformt ist (Absolutwerte um 1),
 - wie ein Tal (-) oder Höhenzug (+) (bei mittleren Absolutwerten) oder
 - eher flach ausgeformt ist (bei Werten um Null).

- Tektonik
- Städte
- + Schweremesspunkte
- Dichtemessungen
- ★ Erdbebenlokationen
- TK Blätter
- ✦ Bohrungen

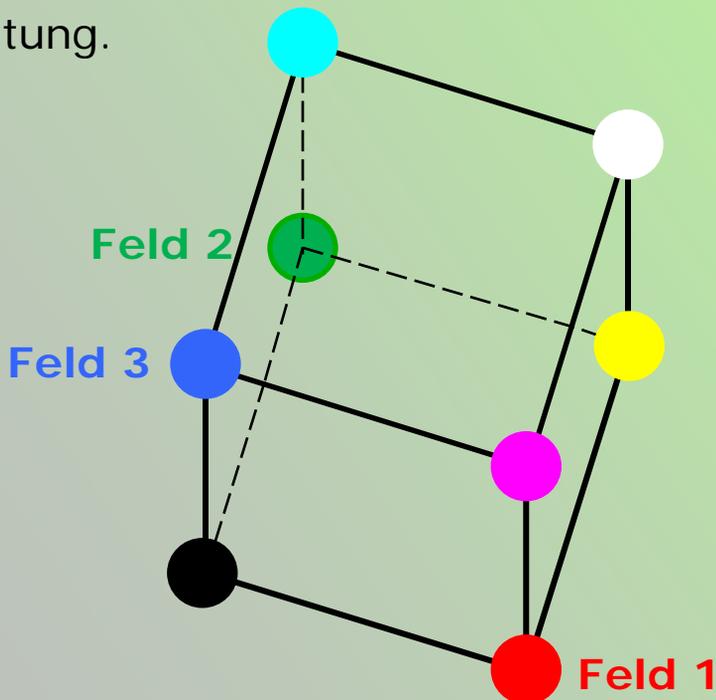


» Kanten aus Krümmungen

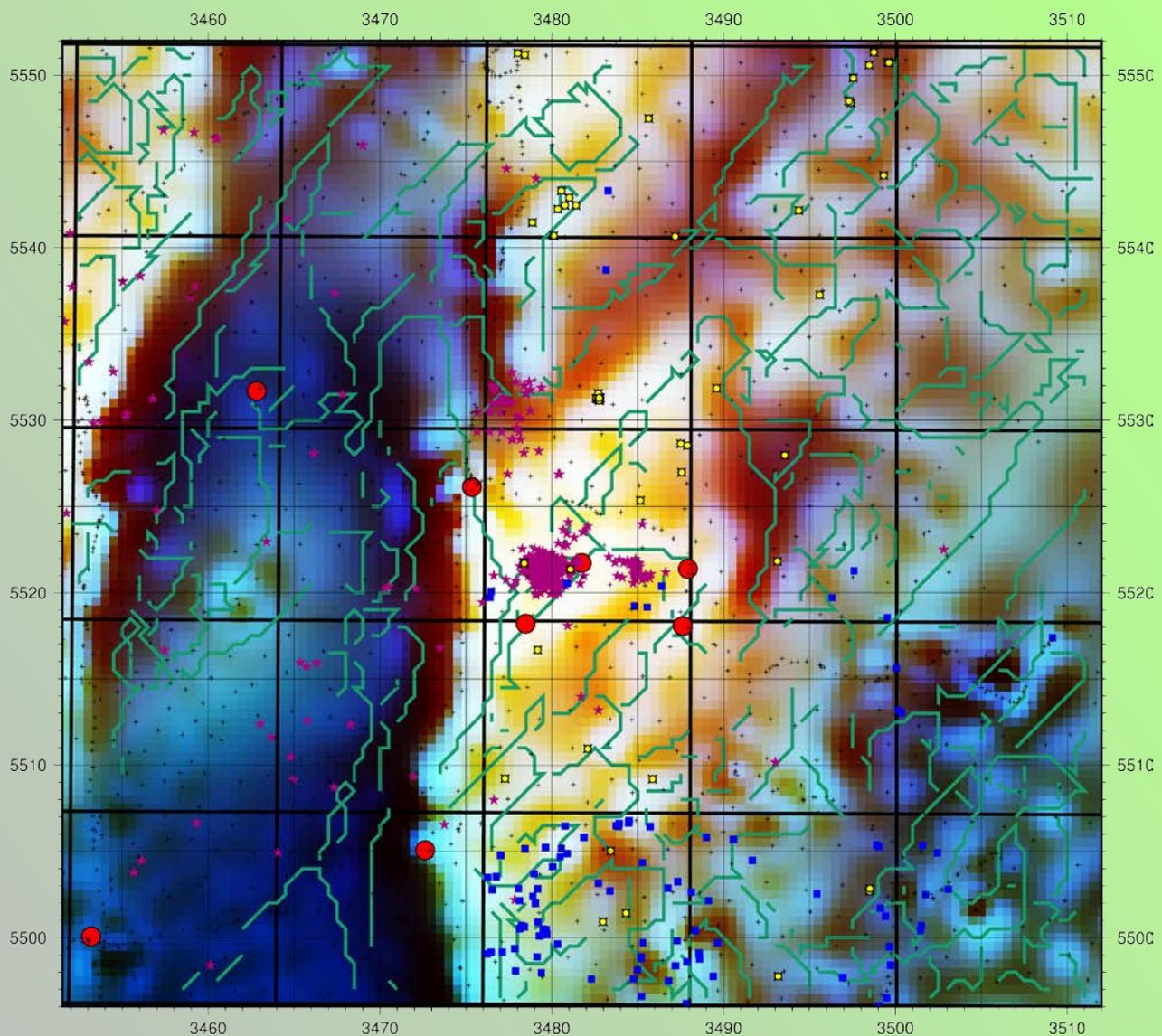
» Die minimale und maximale Krümmung können verwendet werden, um Kanten von Strukturen im Schwerfeld hervorzuheben. Kombiniert man diese beiden Kantenfelder, so erhält man das hier gezeigte Bild.

- Tektonik
- Städte
- ✚ Schweremesspunkte
- Dichtemessungen
- ★ Erdbebenlokationen
- TK Blätter
- ⊠ Bohrungen

- » Neben Filtern, Feldtransformationen und Krümmungen gibt es noch Visualisierungen, die keiner dieser Kategorien zuzuordnen sind. Hilfreich kann z.B. eine kombinierte Darstellung von drei Feldern mit Hilfe der drei Farbfelder Rot-Grün-Blau sein. Physikalisch sinnvoll ist die Kombination eines Feldes mit seiner ersten und zweiten vertikalen Ableitung. Weiße Bereiche sind dann Bereiche, in denen sowohl das Ausgangsfeld als auch seine vertikalen Ableitungen Maxima besitzen. Umgekehrt sind dunkle Bereiche in allen drei Feldern durch Minima gekennzeichnet. Somit verdeutlicht eine solche RGB-Analyse sowohl die großräumigeren Strukturen als auch die sehr hochfrequenten Anteile der zweiten vertikalen Ableitung.



Dieser Farbwürfel verdeutlicht, wie die Farben in der RGB-Analyse zusammengesetzt sind. Der Vorstellung nach ist es ein Koordinatensystem mit x-, y- und z-Werten zwischen 0 und 1. Die drei Felder werden jeweils auf diesen Bereich normiert und dann als Koordinaten für die x-, y- und z-Achse verwendet. Die farblich markierten Ecken stellen demnach Extremfälle dar, wo alle drei Felder entweder 1 oder 0 sind. An den beschrifteten Eckpunkten wäre das genannte Feld 1, die anderen beiden 0. Cyan, Magenta und Gelb stellen Fälle dar, wo zwei Felder 1 sind und das dritte 0.

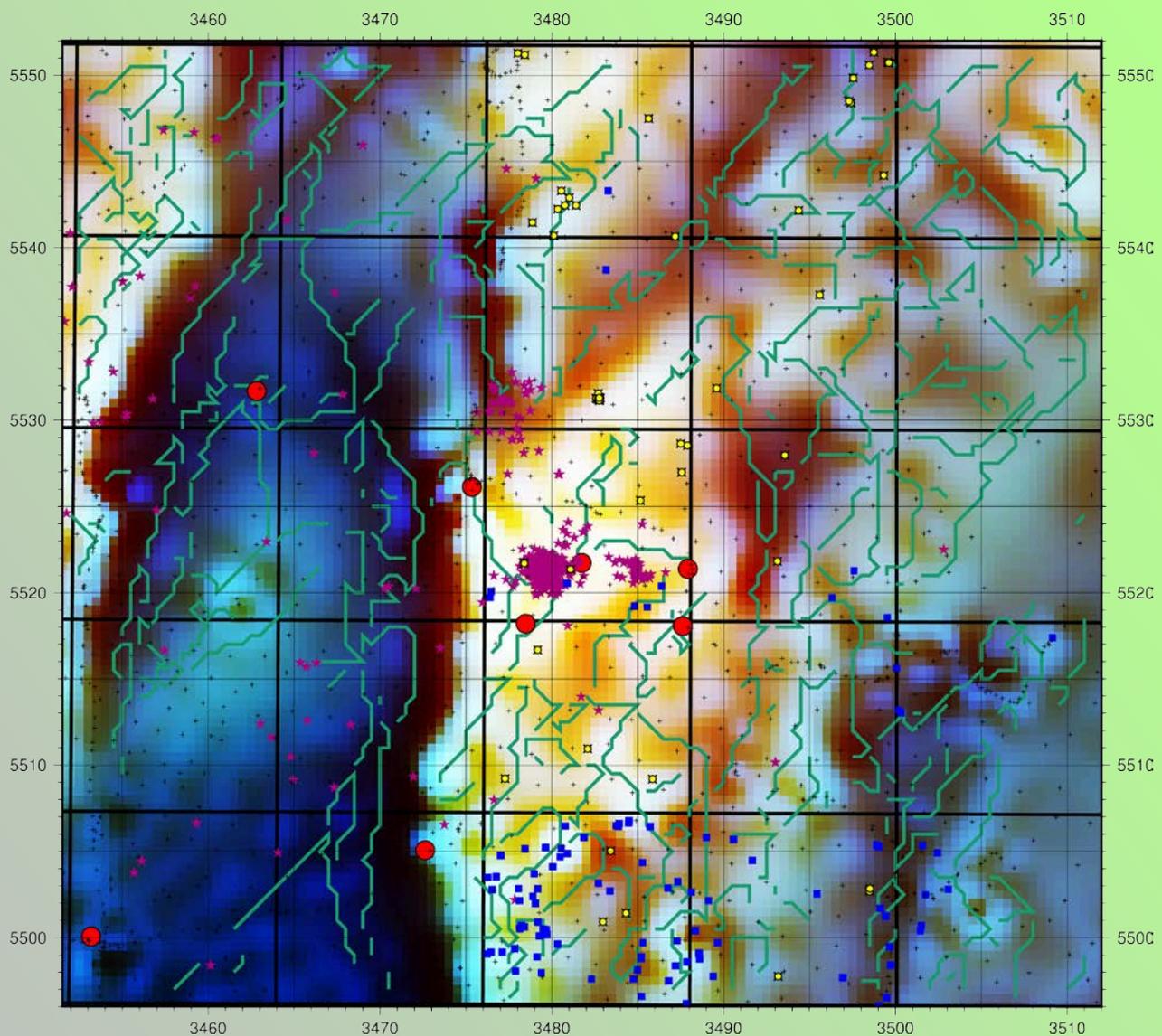


» RGB-Analyse der Bouguerschwere und ihrer vertikalen Ableitungen

» In der RGB-Analyse werden für drei auf $[0...1]$ normierte Parameter (hier g_z , g_{zz} und g_{zzz}) die Farben Rot, Grün und Blau genutzt. Für eine optimale Farbgestaltung werden sie Histogramm-equalisiert.

» Die aus dem Horizontalgradienten auto-bestimmten Lineamente (grün) korrelieren teilweise mit bekannten Strukturen

- Aus dem Shaded Relief bestimmte Kanten im Schwerfeld
- Städte
- + Schweremesspunkte
- Dichtemessungen
- ★ Erdbebenlokationen
- TK Blätter
- Bohrungen



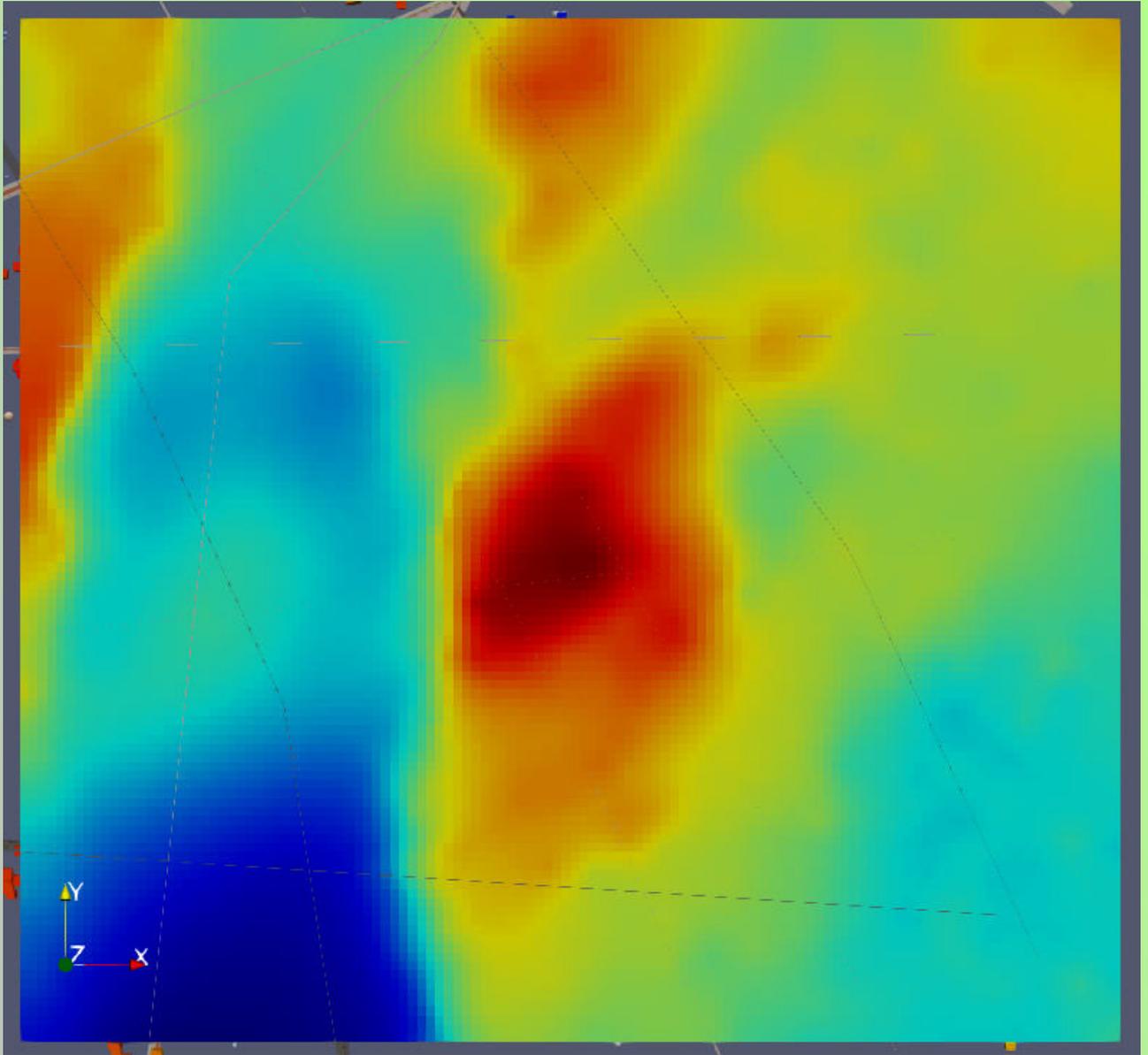
» RGB-Analyse der Bouguerschwere mit **Reduktionsdichte 2350 kg/m^3** und ihrer vertikalen Ableitungen

» Für die geringere Reduktionsdichte ist das Bild zwar ähnlich dem vorherigen, aber insbes. im Südosten zeigt sich die Karte deutlich ruhiger und konsistenter.

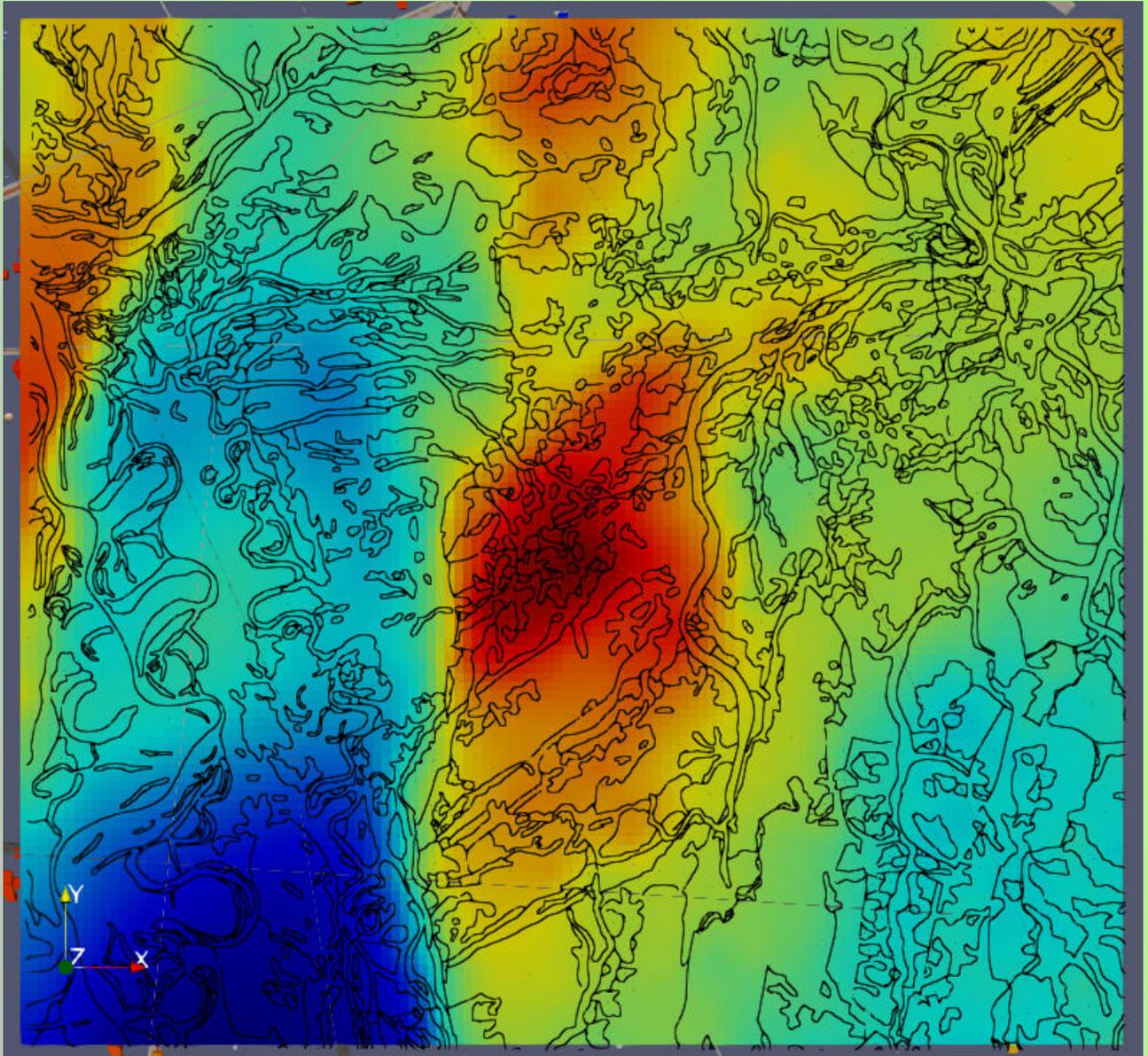
» Anhand der Oberflächendichtedaten (siehe Seite 3) ist an dieser Stelle eine geringere Dichte auch realistischer.

- Aus dem Shaded Relief bestimmte Kanten im Schwerfeld
- Städte
- + Schweremesspunkte
- Dichtemessungen
- ★ Erdbebenlokationen
- TK Blätter
- ⊠ Bohrungen

- » Eine gemeinsame Darstellung der Bouguerschwere zusammen mit den Umrissen aus der Oberflächengeologie-Karte ist interessant, um mögliche Korrelationen zu erkennen. Großräumige tiefere Strukturen können mit den an der Oberfläche sichtbaren Einheiten in Zusammenhang stehen und Anteil an der Schwerewirkung haben.

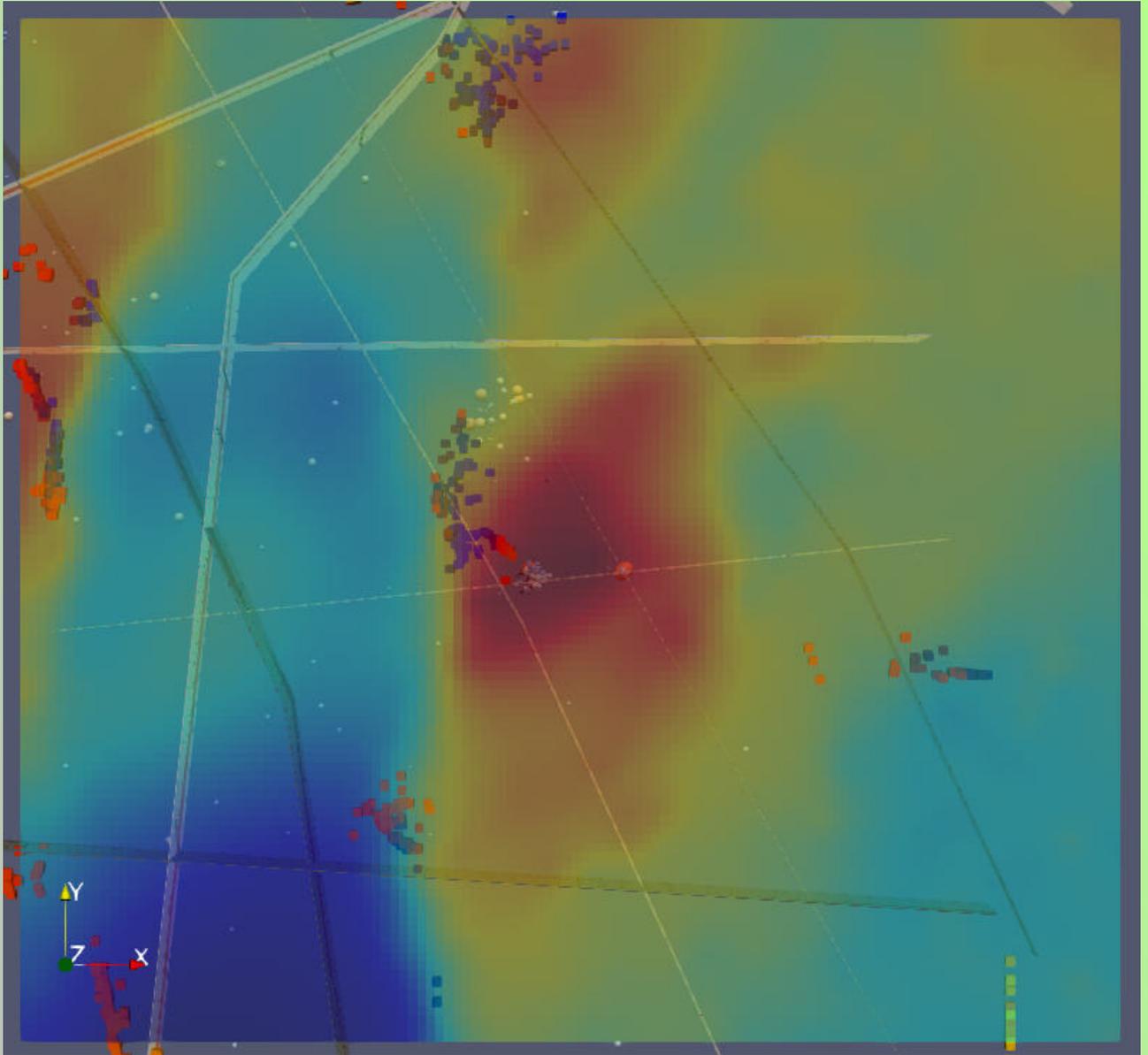


- » **Bouguerschwere mit Reduktionsdichte 2670 kg/m³ im 3D-Modell**
- » Die bisher vorliegenden Daten sind in einem 3D-Modell zusammengefasst visualisiert worden, um sie besser zu verstehen.
Hier gezeigt ist ein Snapshot der Bouguerschwere, von oben betrachtet.
- » Vergl. mit der folgenden Seite.

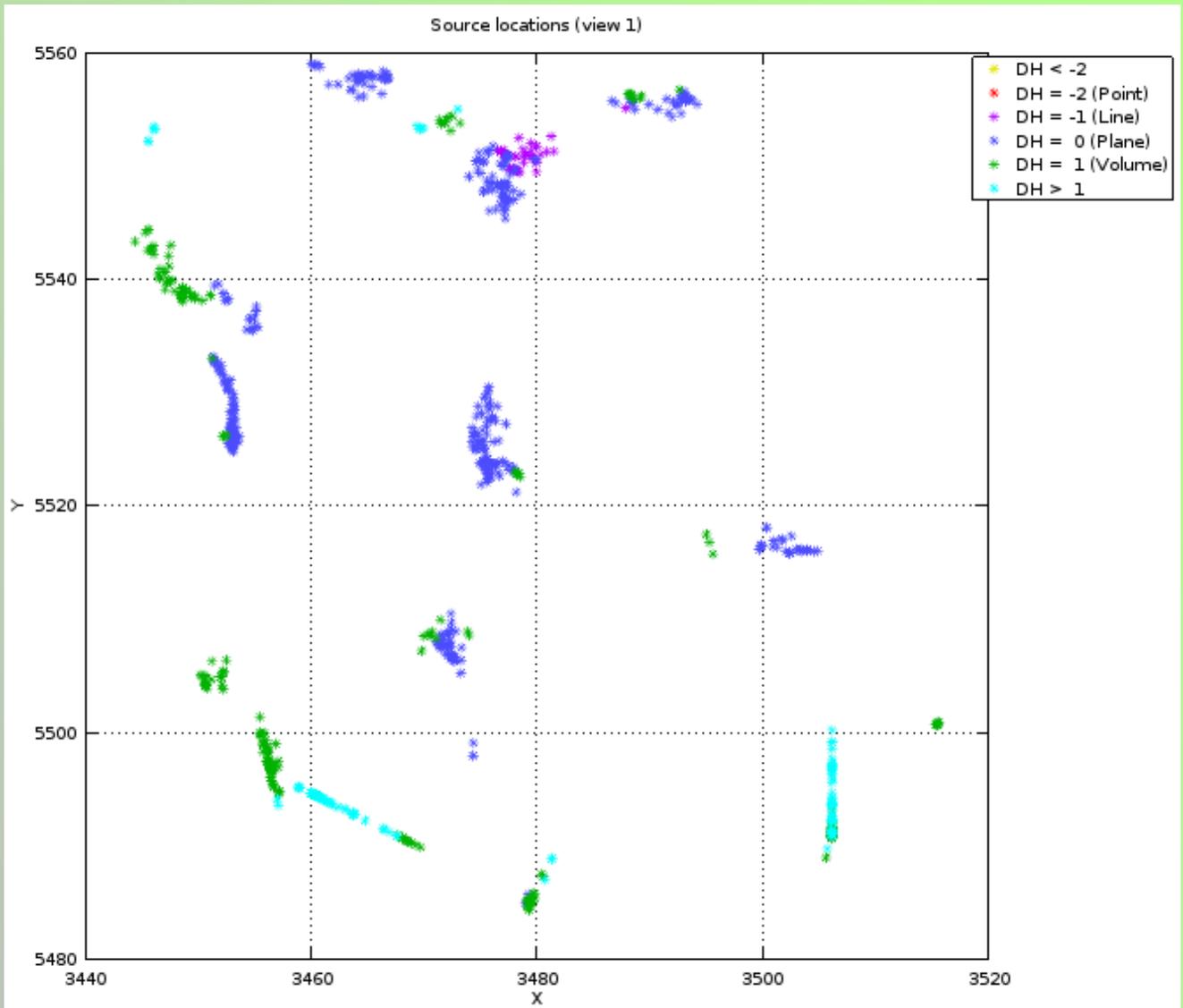


- » **Bouguerschwere mit Reduktionsdichte 2670 kg/m³ im 3D-Modell, zusammen mit den Umrissen der geologischen Karte**
- » Legt man die Umrissse der geologischen Karte über die Bouguerschwere, so zeigt sich eine gute Korrelation mit dem zentralen Maximum und seinem Verlauf.
- » Vergl. mit der vorherigen Seite.

- » Euler-Dekonvolution ist ein sogen. „direktes Verfahren“ zur Bestimmung von Quelltiefen ohne Modellierung.
Wie andere direkte Verfahren beruht es auf Annahmen, welche in der Realität selten zutreffen (z. B. dass die Quelle der Schwerestörung eine Punktmasse, Linienmasse oder eine unendlich ausgedehnte Fläche ist). Deshalb sind so gewonnene Tiefenabschätzungen eher als Hinweise zu verstehen, nicht als Tatsachen. Insbesondere die Überlagerung von Schwereanomalien führt in den direkten Verfahren (wie auch bei der Interpretation der Attributkarten) häufig zu Schwierigkeiten bzw. Ungenauigkeiten.
- » In der Euler-Dekonvolution werden aus den Gradienten des Schwerefeldes Quelltiefen und ein Strukturindex errechnet; dieser gibt einen Hinweis auf die Art der Schwerequelle: Punkt-, Linien-, Flächen- oder Volumenmasse. Für ideale Quellen ist der Strukturindex eine ganze Zahl; Werte dazwischen zeigen an, dass die Quellstruktur diese Annahme nicht erfüllt. Daher sind Tiefenlösungen um so unsicherer, je weiter der Strukturindex von einer ganzen Zahl entfernt ist.
- » Ein weiterer Hinweis auf die Qualität einer Tiefenlösung ist die Häufung von Lösungen an einer Stelle. Lösungen, welche alleine stehen, sollten nicht berücksichtigt werden.
- » Da die Euler-Dekonvolution eine Inversion ist, können außerdem statistische Parameter zur Filterung der Lösungen verwendet werden.



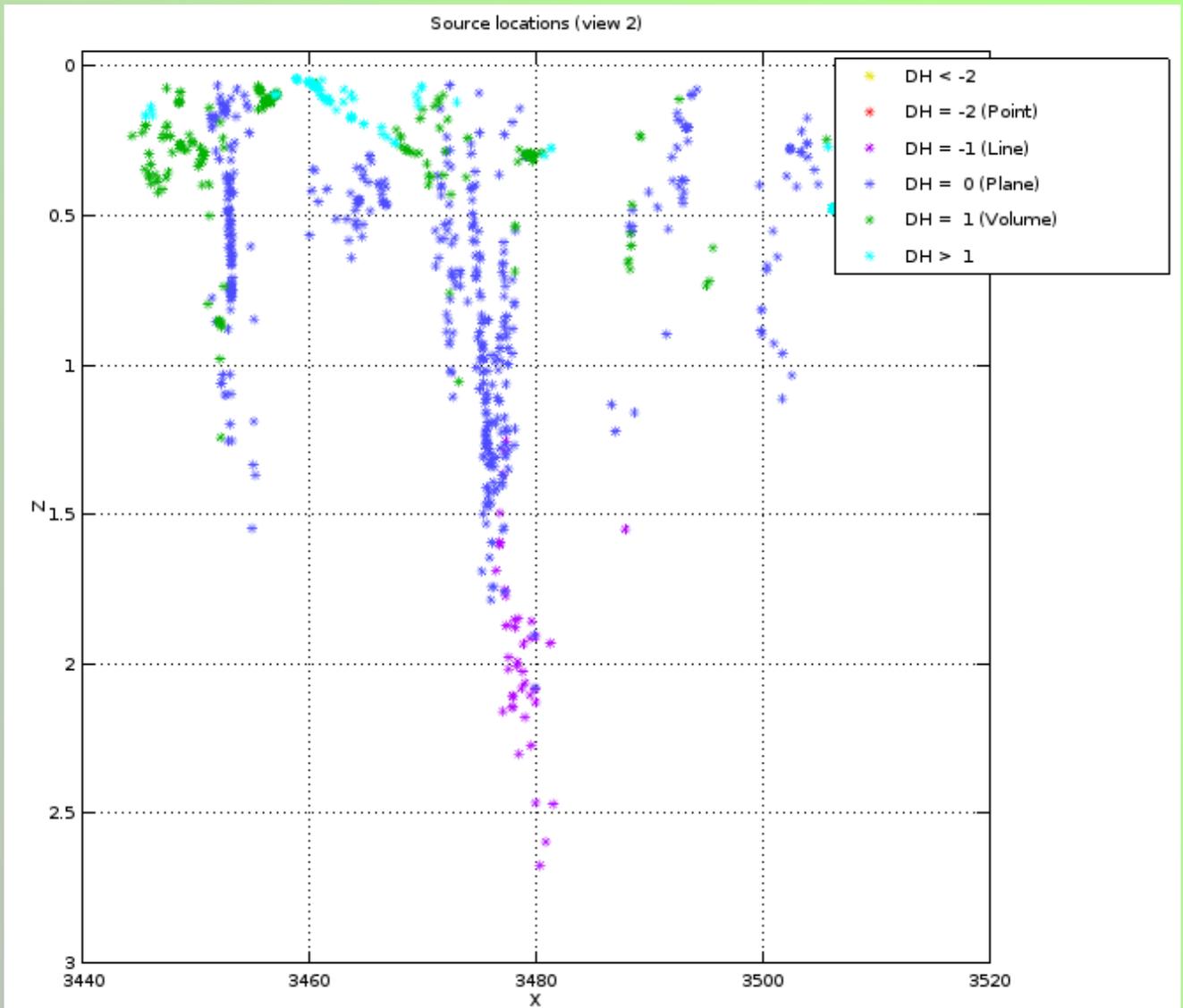
- » **Bouguerschwere, zusammen mit den Erdbebenlokationen und Lösungen der Euler-Dekonvolution**
- » In der Ansicht von oben werden im Bereich des Schweremaximums die Erdbebenlokationen (blasse Kugeln) durch eine sichelförmige Häufung von Euler-Lösungen verbunden.
- » Vgl. Seite 51 für eine seitliche Ansicht.



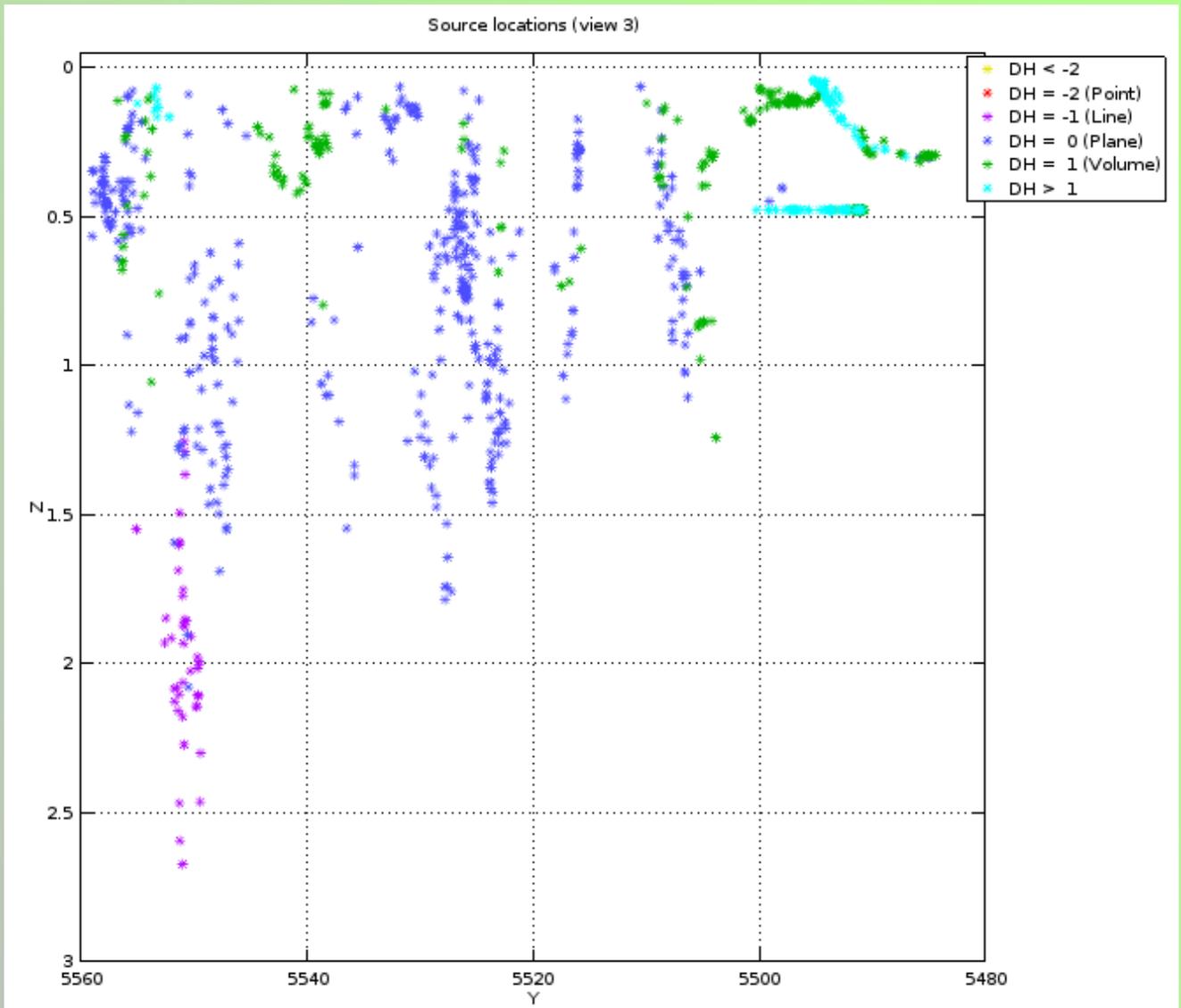
» Euler-Lösungen, von oben betrachtet

» Bei den berechneten Euler-Lösungen für mögliche Quellen wurden einzeln stehende Lösungen nicht akzeptiert; auch Lösungen mit relativ großer Unsicherheit in der Position wurden eliminiert.

» Hier sind die verbliebenen Lösungen gezeigt. Das zentrale Schwerehoch besitzt Euler-Lösungen am westlichen Rand.

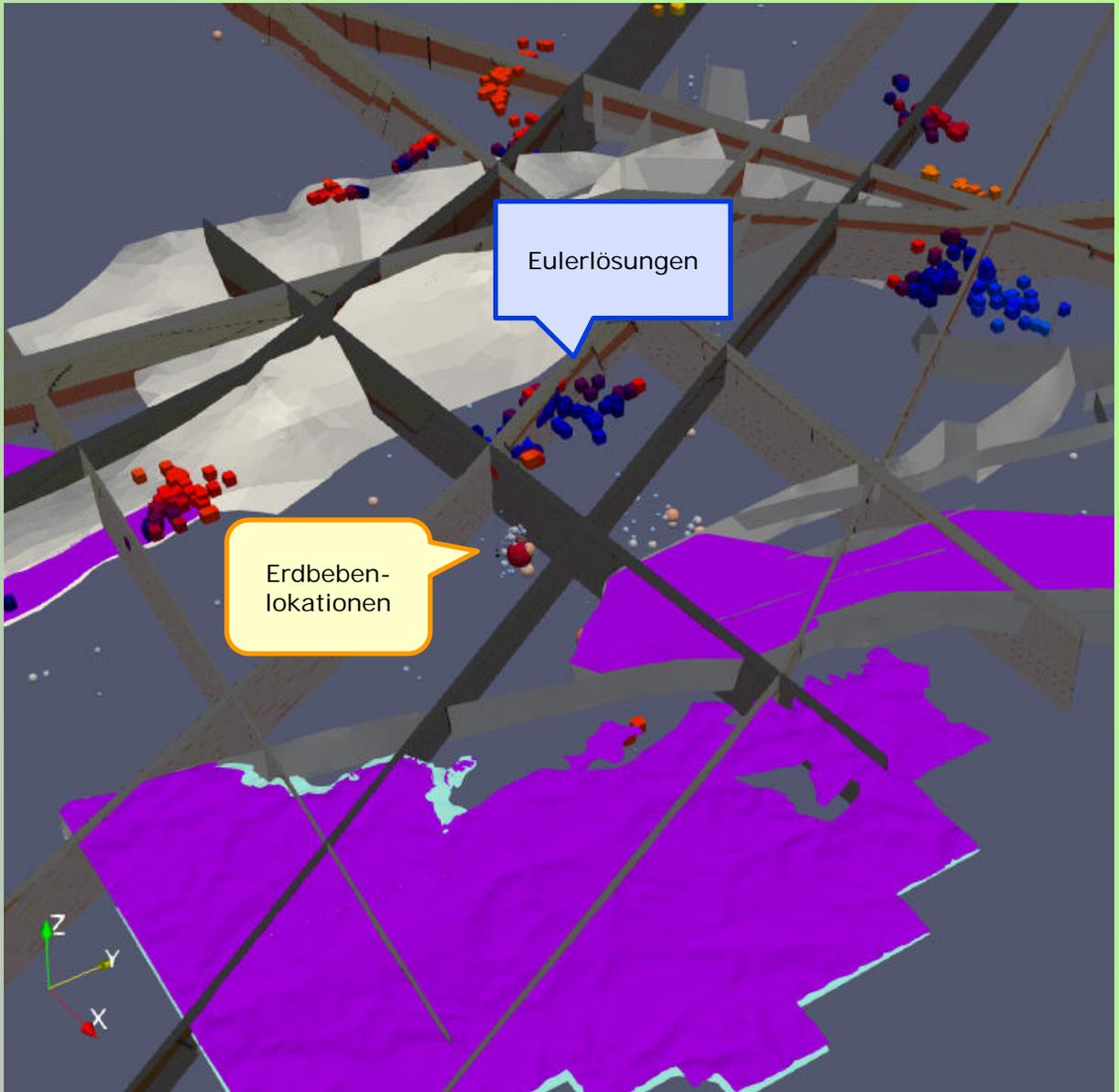


- » **Euler-Lösungen, von Süden betrachtet**
- » Die Tiefenlage der Euler-Lösungen lässt sich in 2D besser erkennen, wenn man das Lösungsvolumen von den Seiten betrachtet (hier von Süden aus).

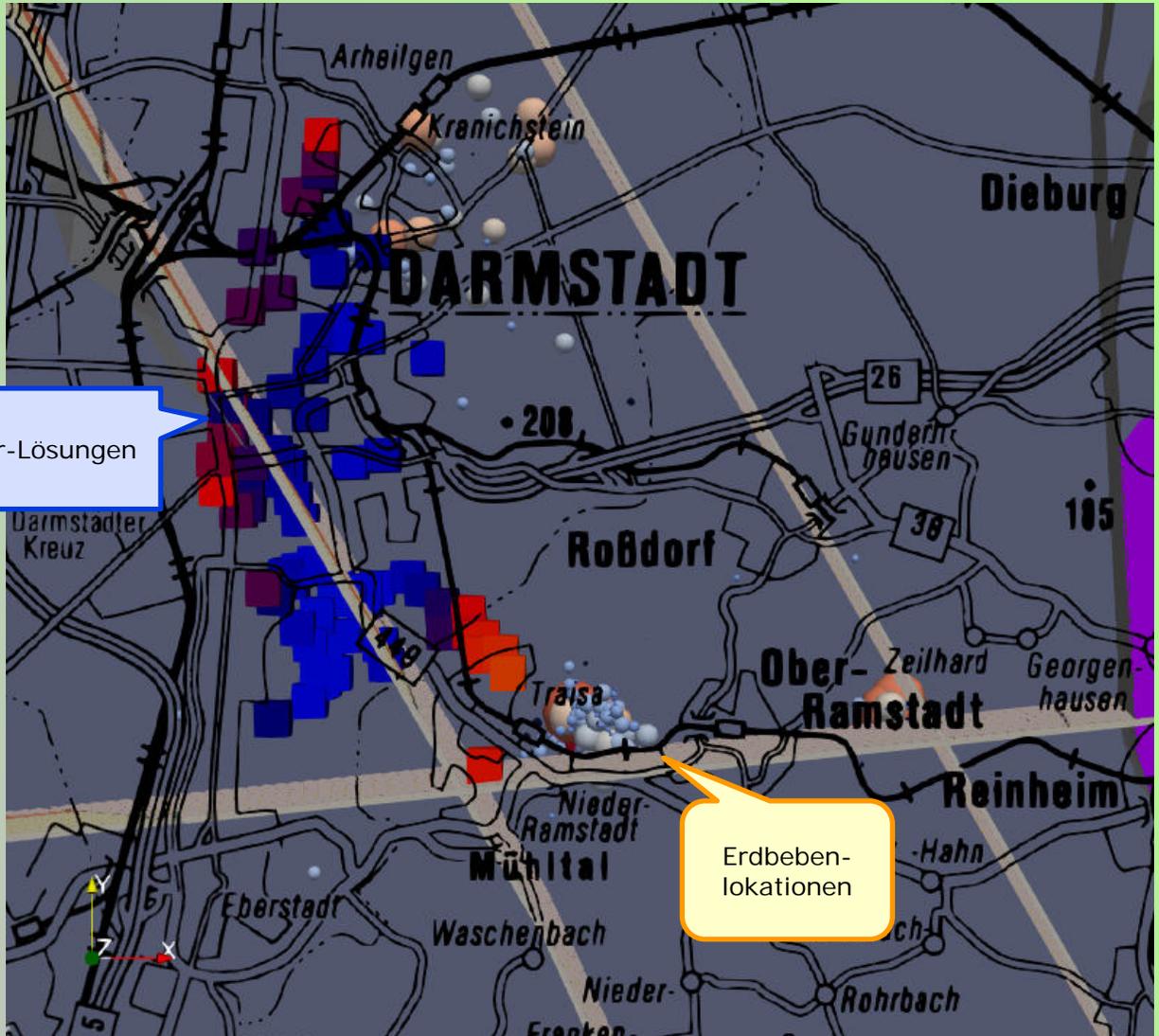


» Euler-Lösungen, von Westen betrachtet

- » Die Tiefenlage der Euler-Lösungen lässt sich in 2D besser erkennen, wenn man das Lösungsvolumen von den Seiten betrachtet (hier von Westen aus).



- » **Geologische Profile, Horizonte von Buntsandstein und Zechstein, Störungen, Erdbebenlokationen und Lösungen der Euler-Dekonvolution**
- » Die Euler-Lösungen liegen um einiges flacher als die Erdbeben. Bei senkrechten Strukturen erwartet man jedoch die Oberkante als Tiefenlösung, was eine konsistente Interpretation ermöglicht.

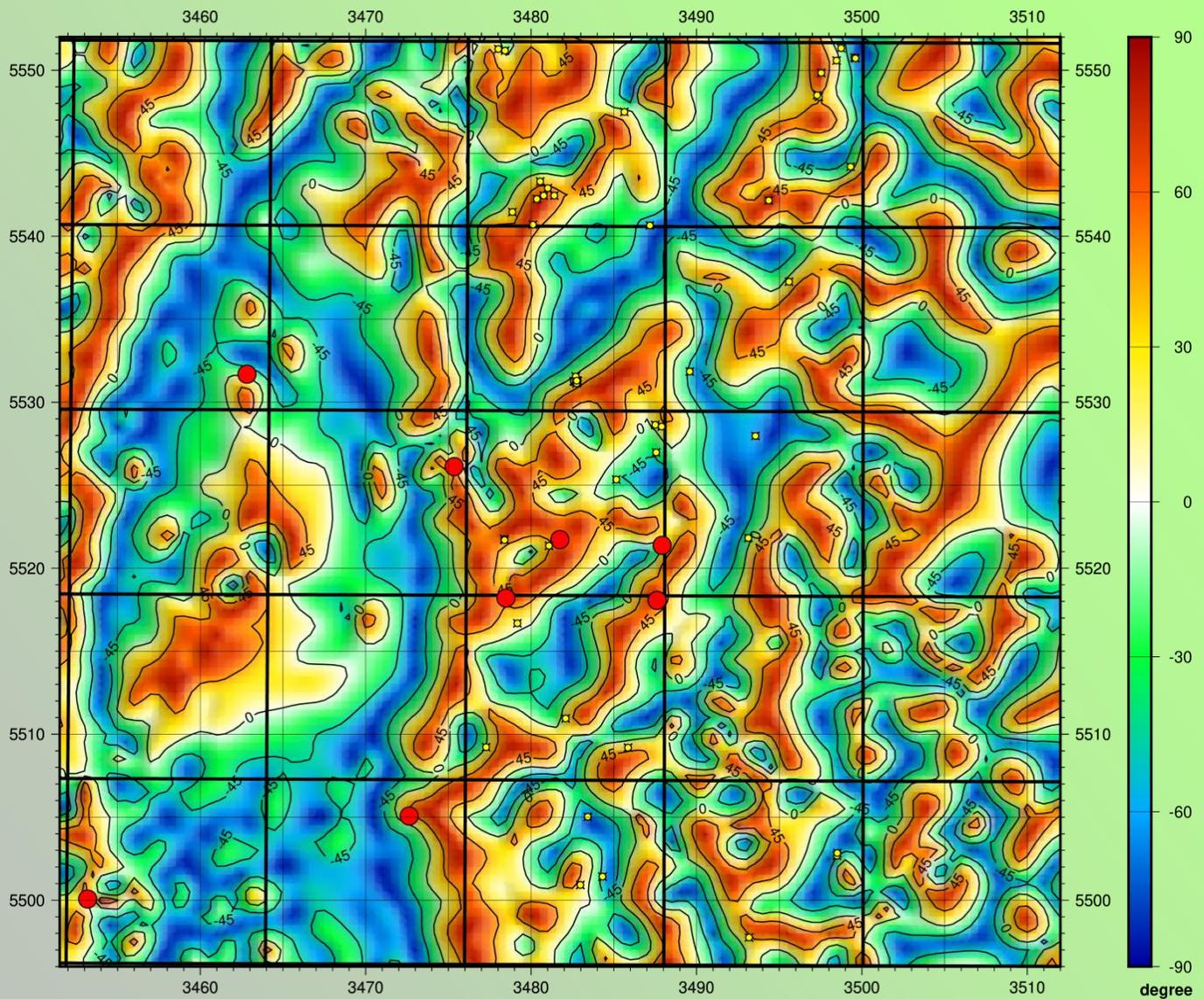


Euler-Lösungen

Erdbeben-
lokationen

- » **Geologische Profile, Übersichtskarte, Erdbebenlokationen und Lösungen der Euler-Dekonvolution**
- » Eine nähere Ansicht der Euler-Lösungen und der Erdbebenlokationen, zusammen mit geografischer Information.
- » Die Euler-Lösungen in diesem Bereich liegen in Tiefen zwischen ca. 1 und 2 Kilometern.

- » Neben der Euler-Dekonvolution können noch weitere, von der Berechnung etwas simplere Verfahren genutzt werden:
- » Eine sehr einfache Abschätzung der Quelltiefe erhält man durch die Entfernungsmessung von Isolinien in der Karte des Tilt Derivative des vertikalen Schweregradienten.
- » Das Powerspektrum der Bouguerkarte kann als Hinweis auf Quelltiefen verstanden werden; dies ist jedoch mit äußerster Vorsicht zu verwenden, da verschiedene Skalierungsfaktoren angewendet werden müssten, wie Maus und Dimri schon 1996 festgestellt haben (Depth estimations from the scaling power spectrum of Potenzial fields, S. Maus + V. Dimri, Geophys. J. Int., 1996).
- » Ein weiteres Beispiel für die Tiefenabschätzung ist die Bestimmung der Richtung des größten Gradienten aus Schweregradientendaten. Dazu werden die Eigenvektoren mit dem größten zugehörigen Eigenwert verwendet. In der Tiefe, in der die Vektoren die geringste Entfernung zueinander haben, sollte das Massenzentrum des Störkörpers liegen.
- » Die hier genannten Verfahren zur Tiefenabschätzung wurden auf die Schweredaten angewendet; ihre Ergebnisse finden sich auf den folgenden Seiten. In den letzten Jahrzehnten sind weitere (mehr oder weniger erfolgversprechende) Tiefenabschätzungen entwickelt worden; die hier vorgestellten sind eine Auswahl der von uns als populärste und/oder aussichtsreichste bewerteten Verfahren.



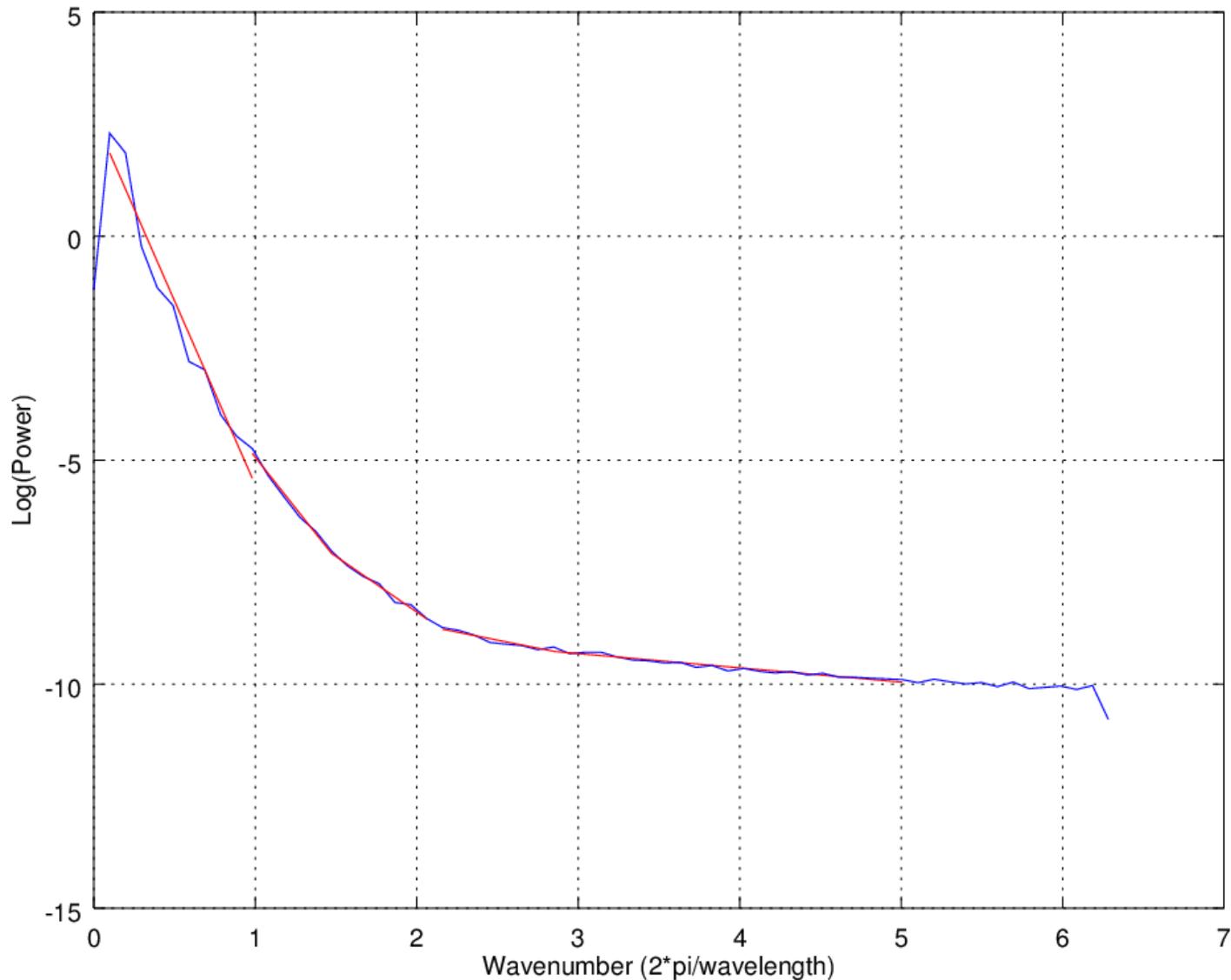
» Tilt Derivative des vertikalen Schweregradienten

» Anhand des halben Abstandes der -45° zu $+45^\circ$ - Konturlinien kann eine Tiefenabschätzung anhand dieser Karte durchgeführt werden.

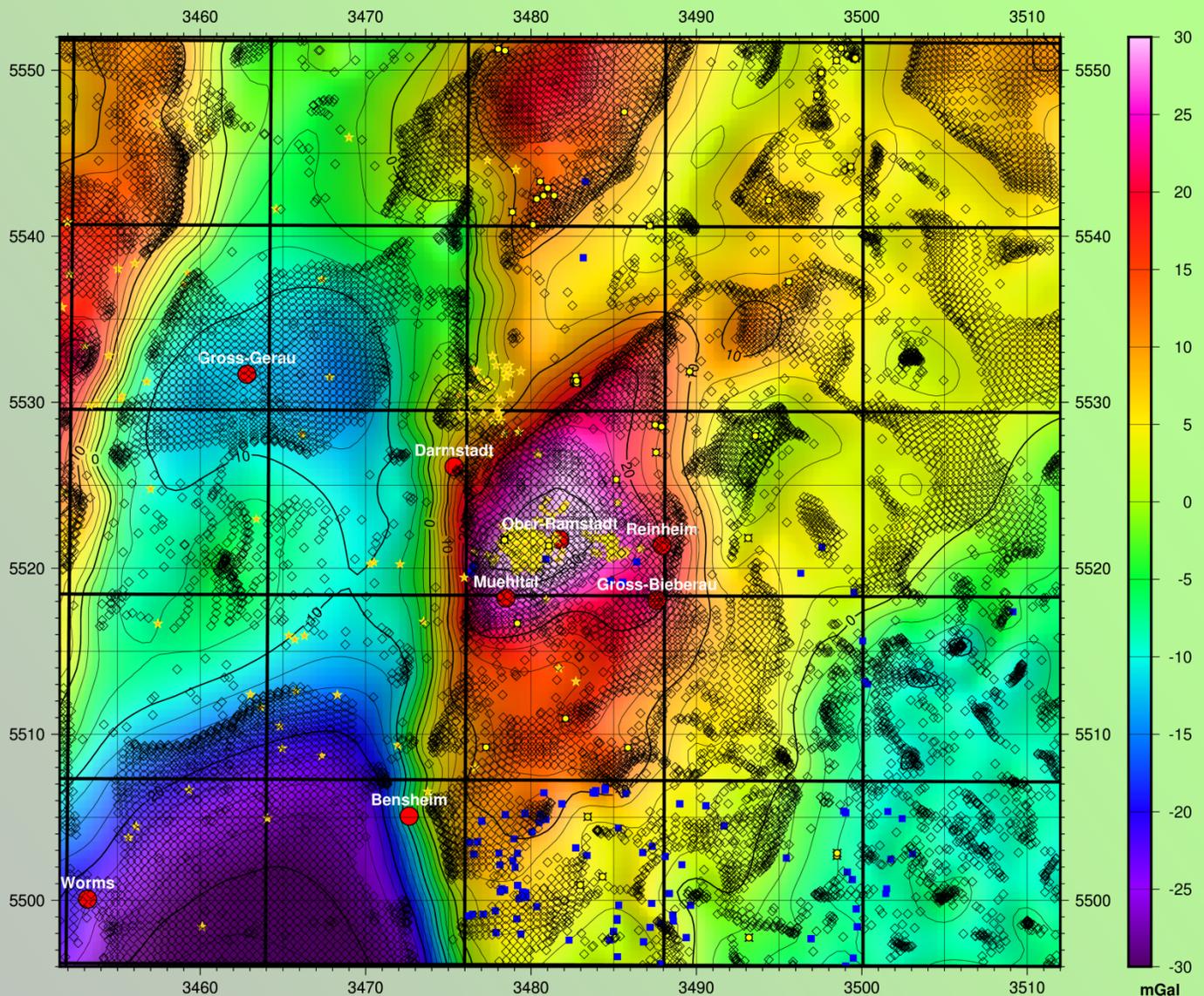
» Für die zentrale Schwereanomalie ergibt sich eine Tiefe von ca. einem Kilometer.

- Tektonik
- Städte
- ⊕ Schweremesspunkte
- Dichtemessungen
- ★ Erdbebenlokationen
- TK Blätter
- ⊠ Bohrungen

Radially averaged power spectrum



- » **Powerspektrum der auf 605 m Höhe feldfortgesetzten Bouguerschwere**
- » Um die aus dem Powerspektrum bestimmten Tiefen interpretieren zu können, muss das zu analysierende Feld auf einer einheitlichen Höhe vorliegen.
- » Die hier bestimmten Tiefen liegen bei ca. 3.5 km, 1.7 km und 0.6 km.

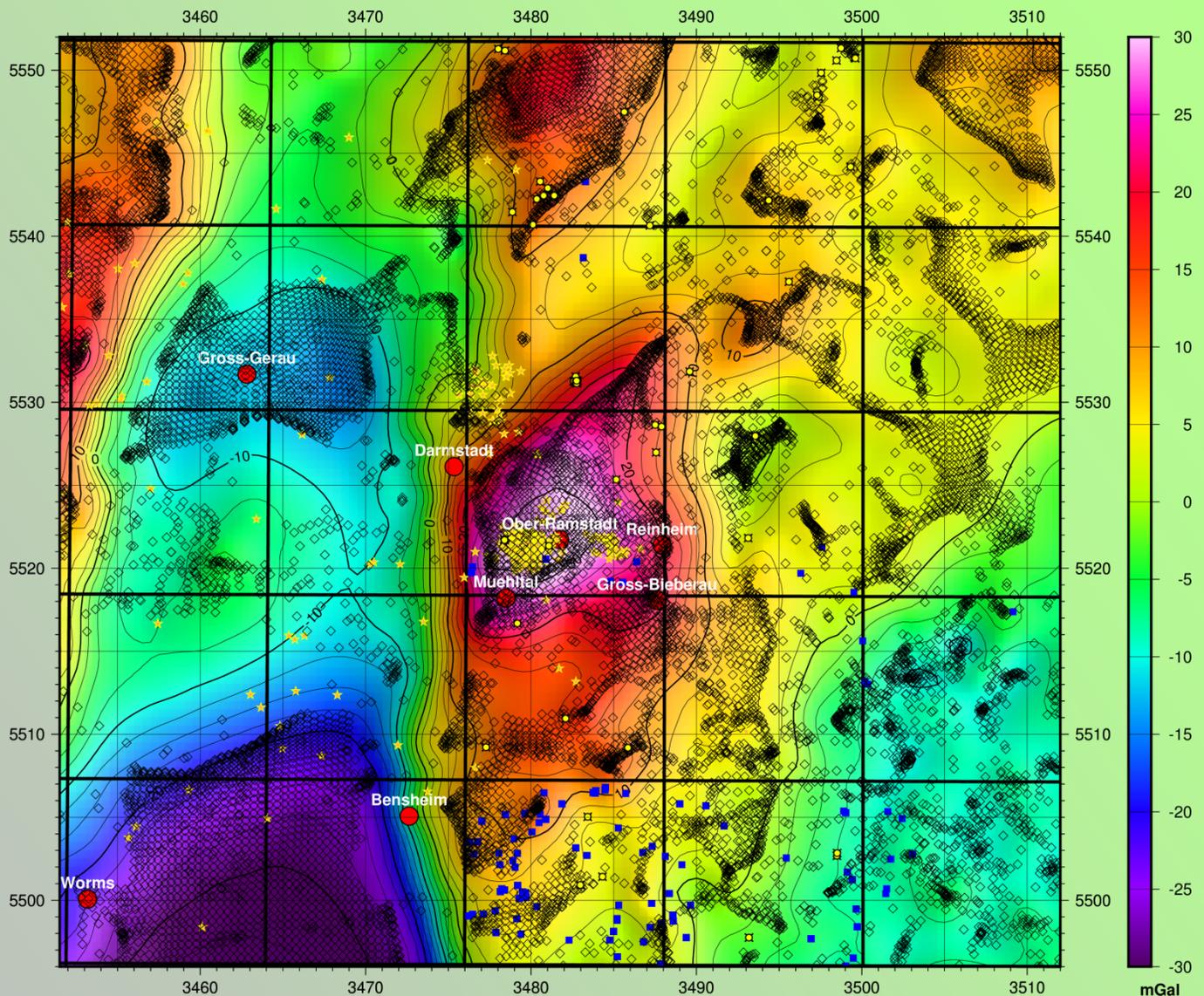


» Schnittfläche in 1 km Tiefe

» Über der Bouguerschwerekarte werden die Schnittpunkte der Eigenvektoren mit der Tiefenfläche von 1 km gezeigt.

» An einigen Stellen erkennt man bereits, dass sich die Punkte zu Haufen konzentrieren

- Tektonik
- Städte
- + Schweremesspunkte
- Dichtemessungen
- ★ Erdbebenlokationen
- TK Blätter
- Bohrungen

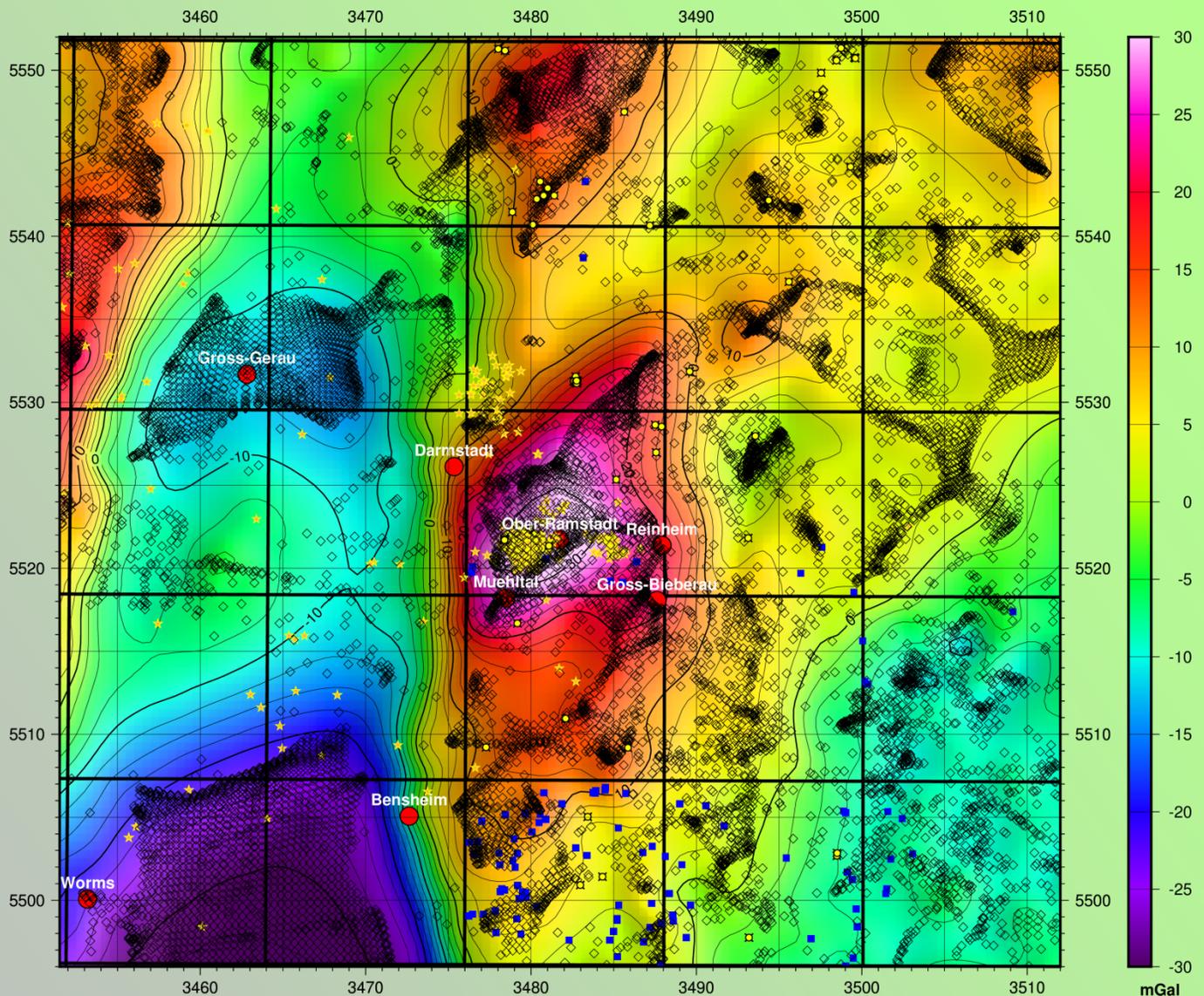


» Schnittfläche in 2 km Tiefe

» Über der Bouguerschwerekarte werden die Schnittpunkte der Eigenvektoren mit der Tiefenfläche von 2 km gezeigt.

» Während einige Punkthaufen schon wieder auseinanderlaufen, sind andere noch dabei, sich zu bilden.

- Tektonik
- Städte
- + Schweremesspunkte
- Dichtemessungen
- ★ Erdbebenlokationen
- TK Blätter
- ⊠ Bohrungen

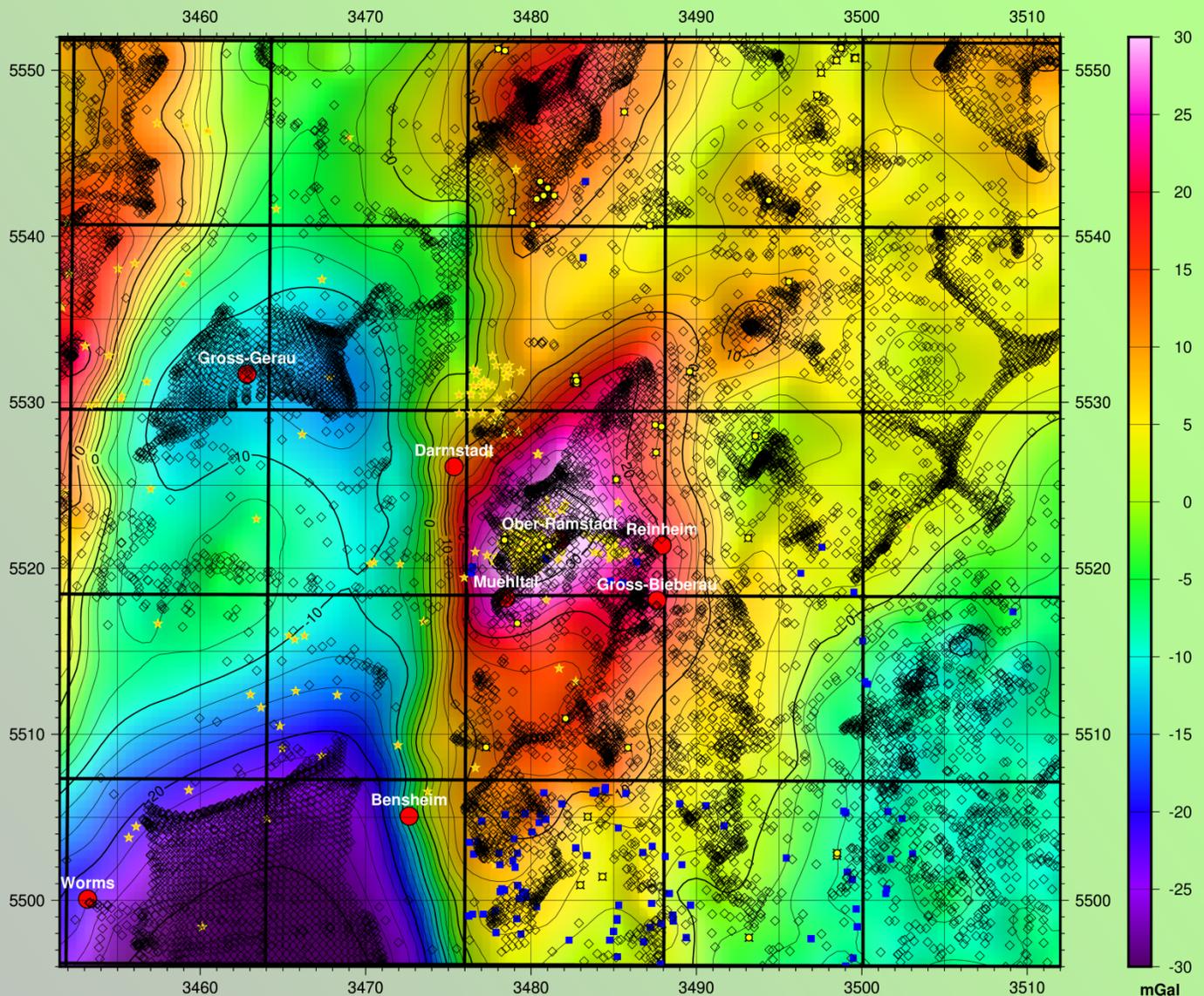


» Schnittfläche in 3 km Tiefe

» Über der Bouguerschwerekarte werden die Schnittpunkte der Eigenvektoren mit der Tiefenfläche von 3 km gezeigt.

» Die Tiefenlage, die einen Punkthaufen am konzentriertesten zeigt, ist die Lage des Massenzentrums. Zu beachten ist, dass dieses bei weiten, flachen Strukturen unterhalb des Störkörpers selbst liegt.

- Tektonik
- Städte
- ✚ Schweremesspunkte
- Dichtemessungen
- ★ Erdbebenlokationen
- TK Blätter
- ⊠ Bohrungen

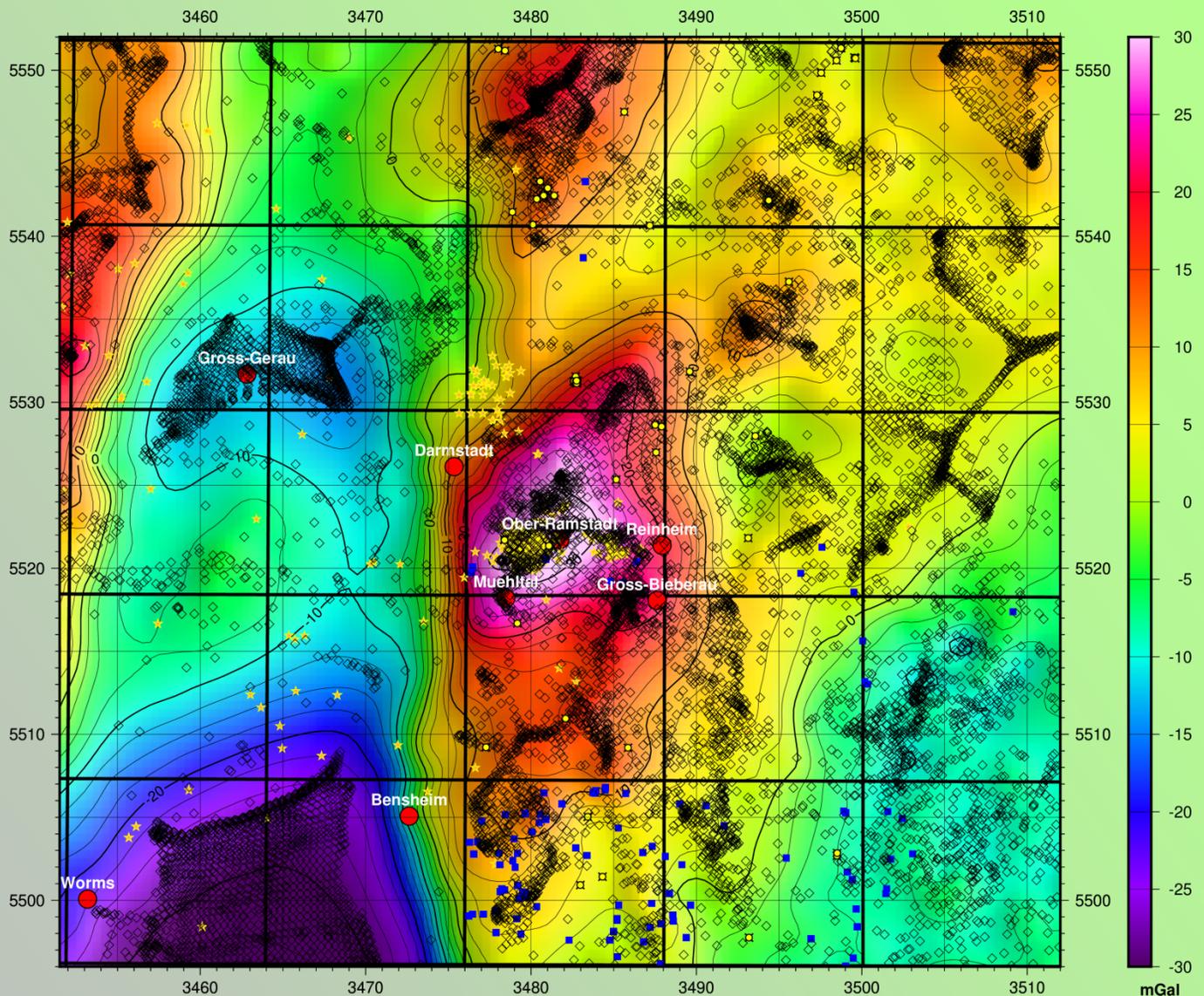


» Schnittfläche in 4 km Tiefe

» Über der Bouguerschwerekarte werden die Schnittpunkte der Eigenvektoren mit der Tiefenfläche von 4 km gezeigt.

» Die Tiefenlage, die einen Punkthaufen am konzentriertesten zeigt, ist die Lage des Massenzentrums. Zu beachten ist, dass dieses bei weiten, flachen Strukturen unterhalb des Störkörpers selbst liegt.

- Tektonik
- Städte
- + Schweremesspunkte
- Dichtemessungen
- ★ Erdbebenlokationen
- TK Blätter
- ⬢ Bohrungen

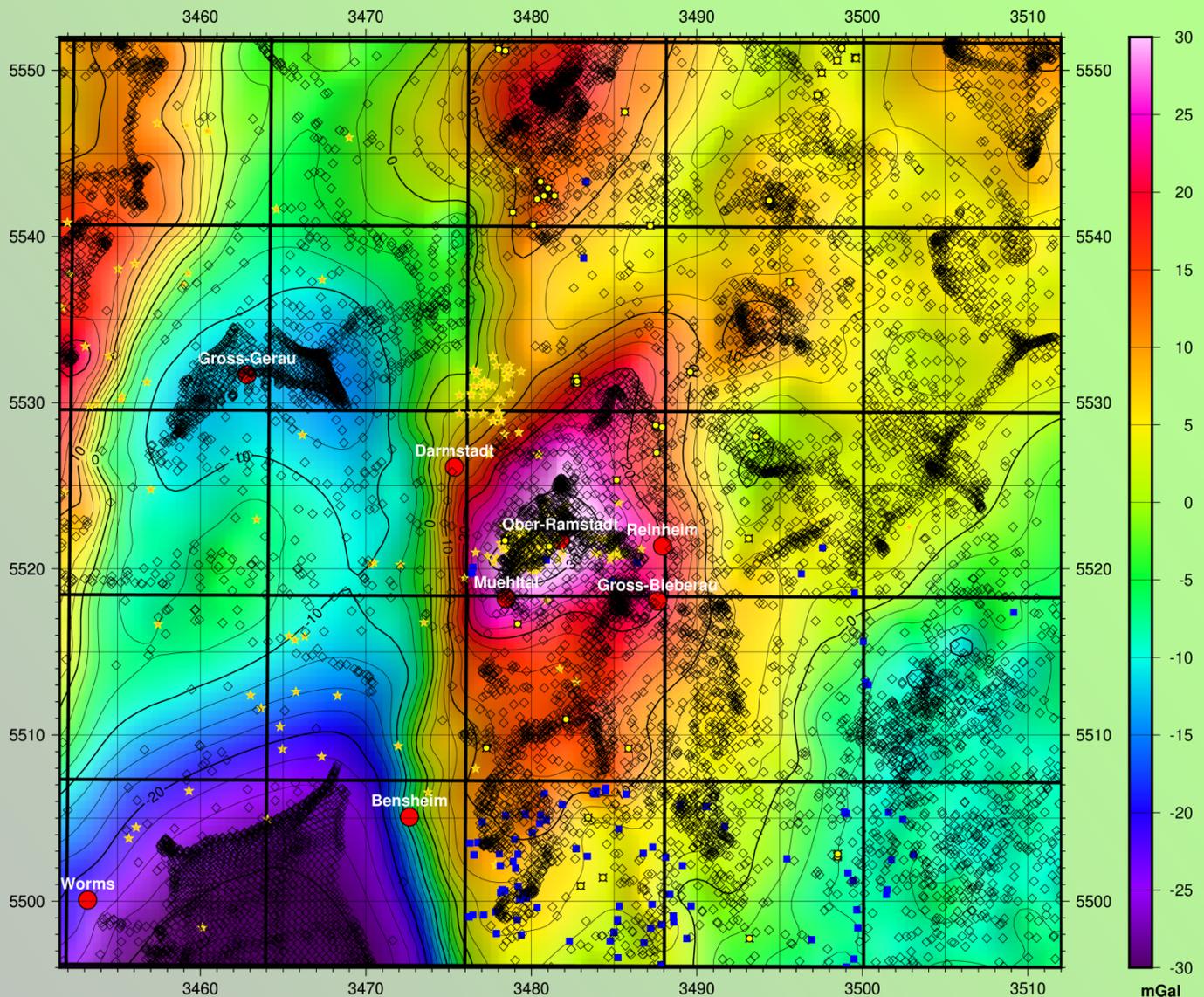


» Schnittfläche in 5 km Tiefe

» Über der Bouguerschwerekarte werden die Schnittpunkte der Eigenvektoren mit der Tiefenfläche von 5 km gezeigt.

» Die Tiefenlage, die einen Punkthaufen am konzentriertesten zeigt, ist die Lage des Massenzentrums. Zu beachten ist, dass dieses bei weiten, flachen Strukturen unterhalb des Störkörpers selbst liegt.

- Tektonik
- Städte
- + Schweremesspunkte
- Dichtemessungen
- ★ Erdbebenlokationen
- TK Blätter
- ⊠ Bohrungen

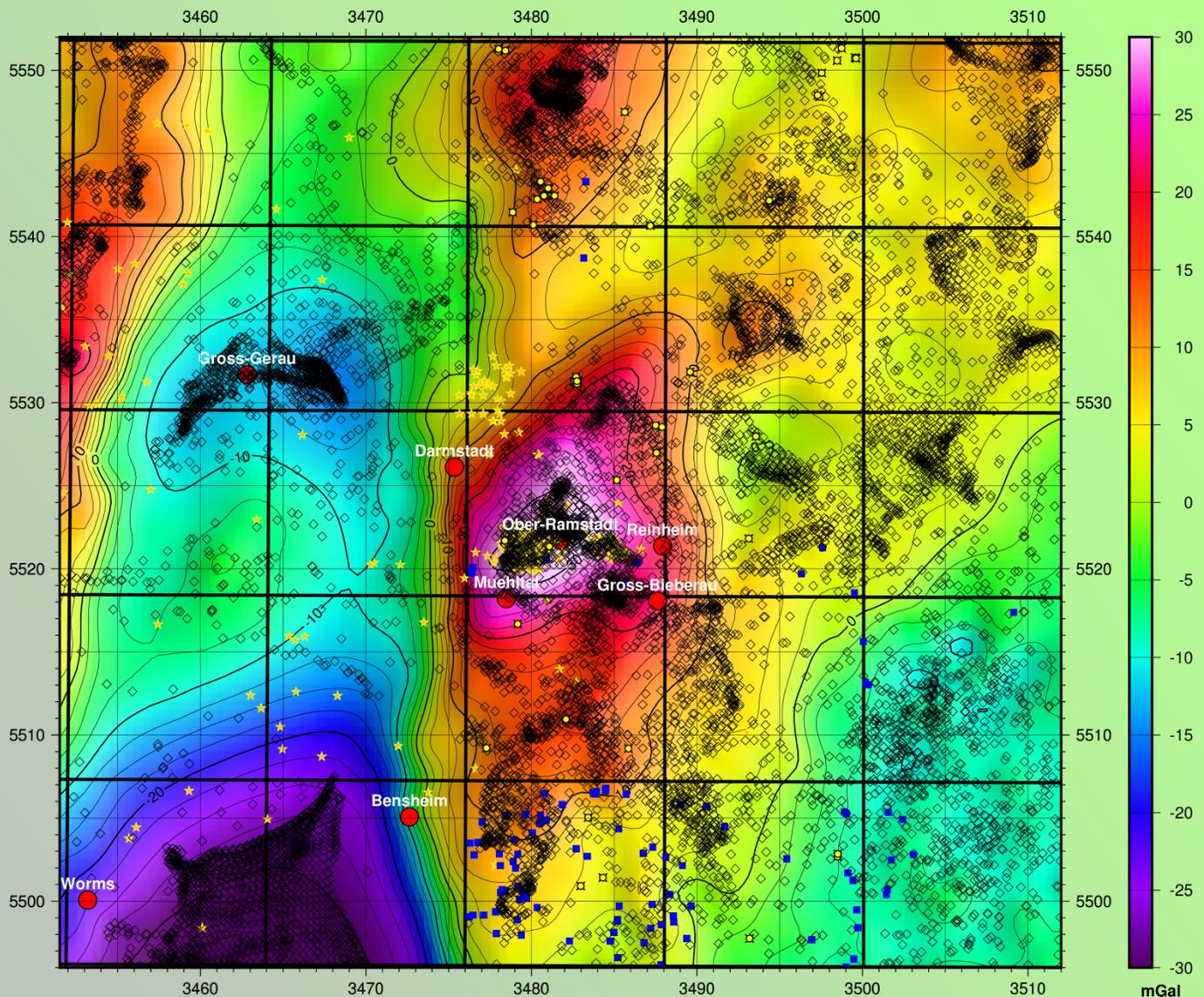


» Schnittfläche in 6 km Tiefe

» Über der Bouguerschwerekarte werden die Schnittpunkte der Eigenvektoren mit der Tiefenfläche von 6 km gezeigt.

» Die Tiefenlage, die einen Punkthaufen am konzentriertesten zeigt, ist die Lage des Massenzentrums. Zu beachten ist, dass dieses bei weiten, flachen Strukturen unterhalb des Störkörpers selbst liegt.

- Tektonik
- Städte
- + Schweremesspunkte
- Dichtemessungen
- ★ Erdbebenlokationen
- TK Blätter
- ⊠ Bohrungen

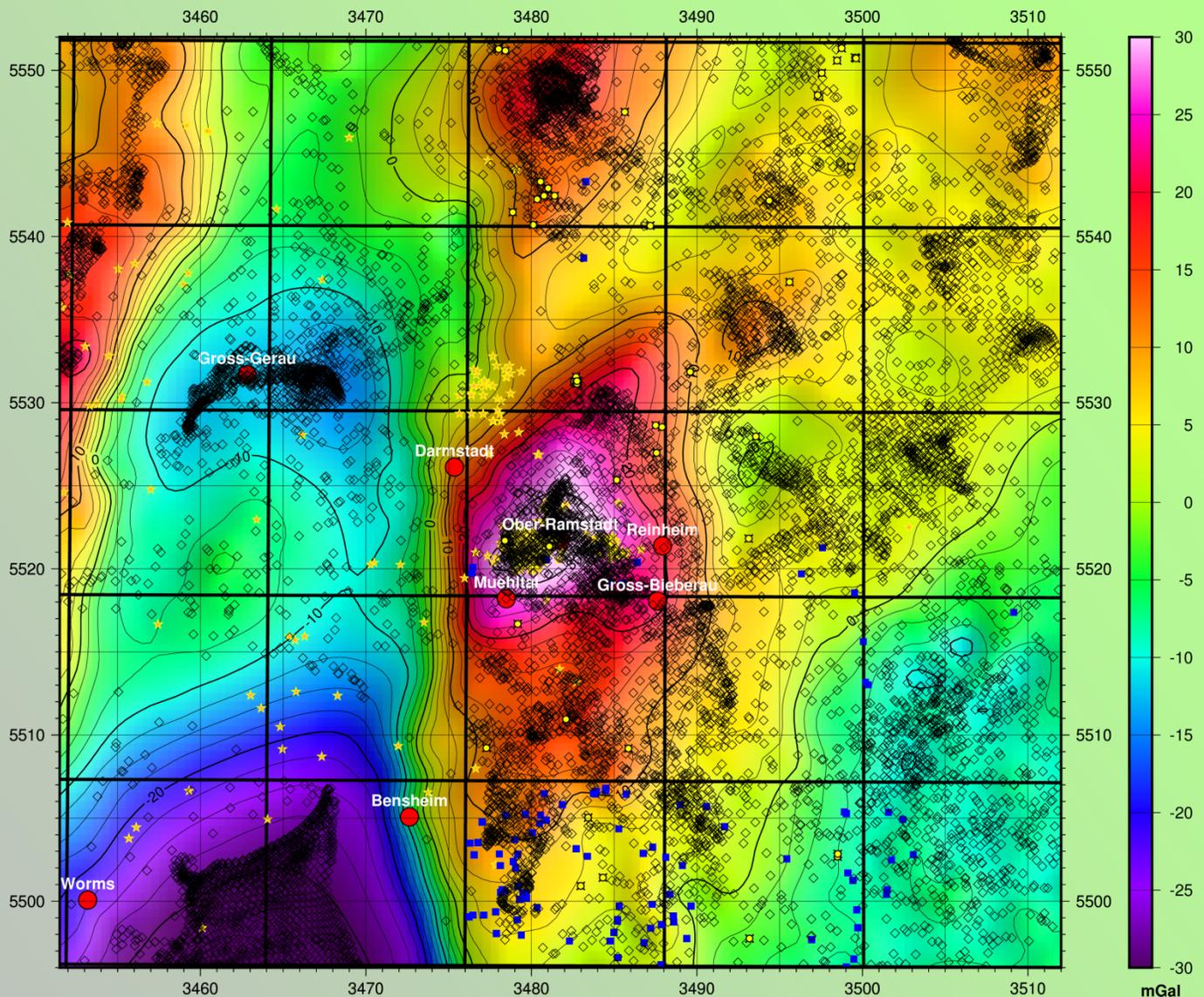


» Schnittfläche in 7 km Tiefe

» Über der Bouguerschwerekarte werden die Schnittpunkte der Eigenvektoren mit der Tiefenfläche von 7 km gezeigt.

» Die Tiefenlage, die einen Punkthaufen am konzentriertesten zeigt, ist die Lage des Massenzentrums. Zu beachten ist, dass dieses bei weiten, flachen Strukturen unterhalb des Störkörpers selbst liegt.

- Tektonik
- Städte
- + Schweremesspunkte
- Dichtemessungen
- ★ Erdbebenlokationen
- TK Blätter
- ⊠ Bohrungen

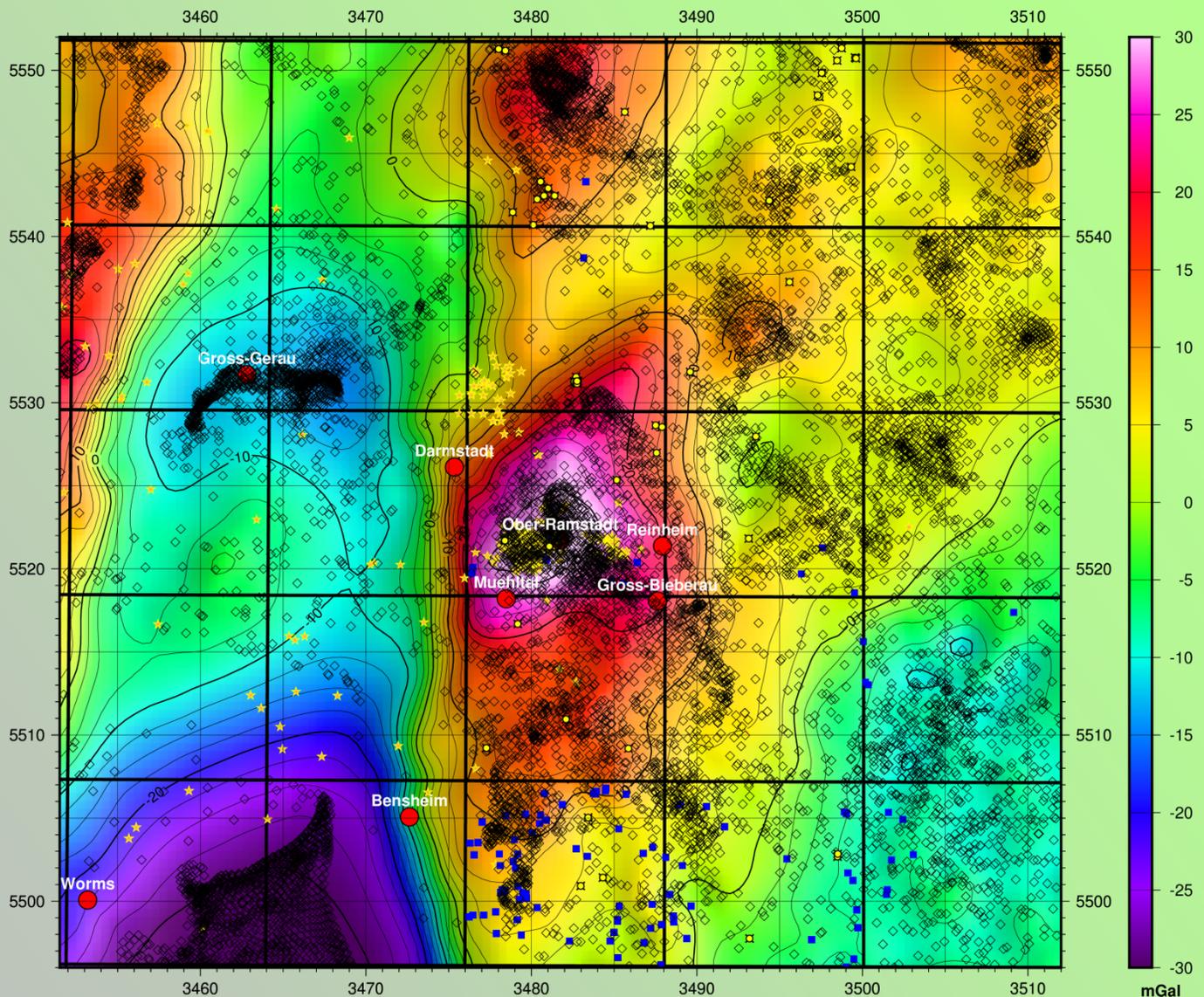


» Schnittfläche in 8 km Tiefe

» Über der Bouguerschwerekarte werden die Schnittpunkte der Eigenvektoren mit der Tiefenfläche von 8 km gezeigt.

» Die Tiefenlage, die einen Punkthaufen am konzentriertesten zeigt, ist die Lage des Massenzentrums. Zu beachten ist, dass dieses bei weiten, flachen Strukturen unterhalb des Störkörpers selbst liegt.

- Tektonik
- Städte
- + Schweremesspunkte
- Dichtemessungen
- ★ Erdbebenlokationen
- TK Blätter
- ⊠ Bohrungen



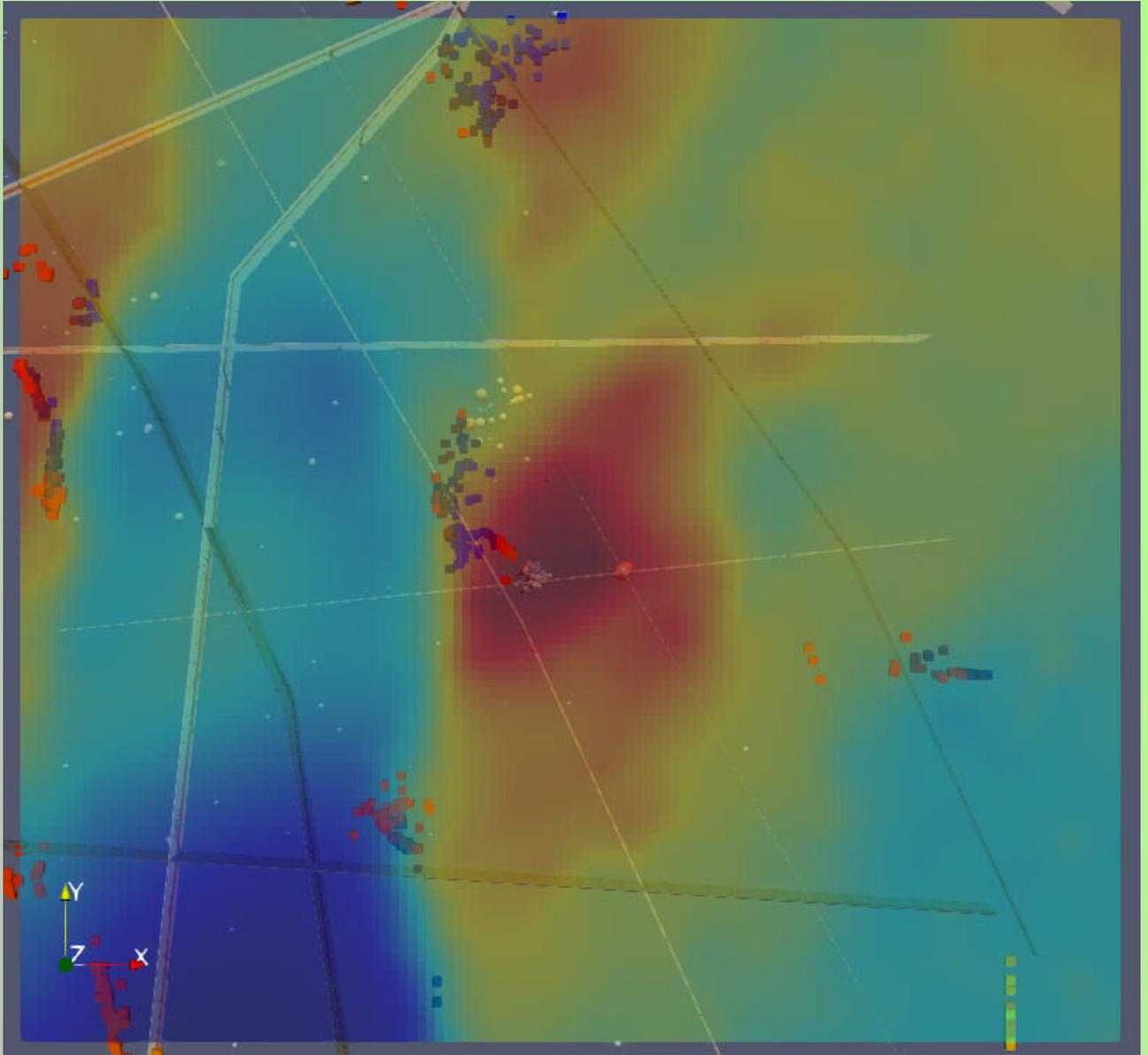
» Schnittfläche in 9 km Tiefe

» Über der Bouguerschwerekarte werden die Schnittpunkte der Eigenvektoren mit der Tiefenfläche von 9 km gezeigt.

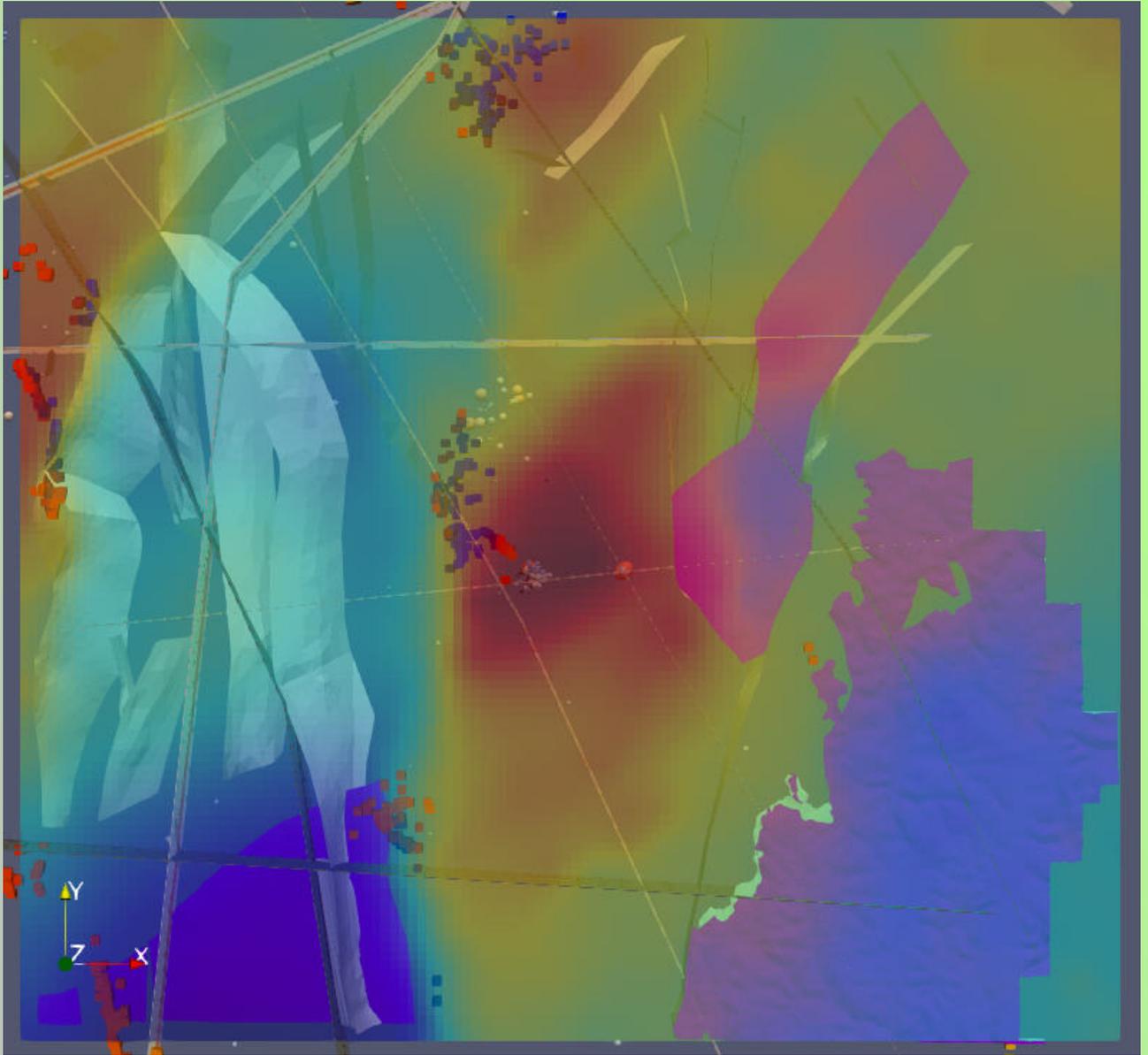
» Die Tiefenlage, die einen Punkthaufen am konzentriertesten zeigt, ist die Lage des Massenzentrums. Zu beachten ist, dass dieses bei weiten, flachen Strukturen unterhalb des Störkörpers selbst liegt.

- Tektonik
- Städte
- + Schweremesspunkte
- Dichtemessungen
- ★ Erdbebenlokationen
- TK Blätter
- Bohrungen

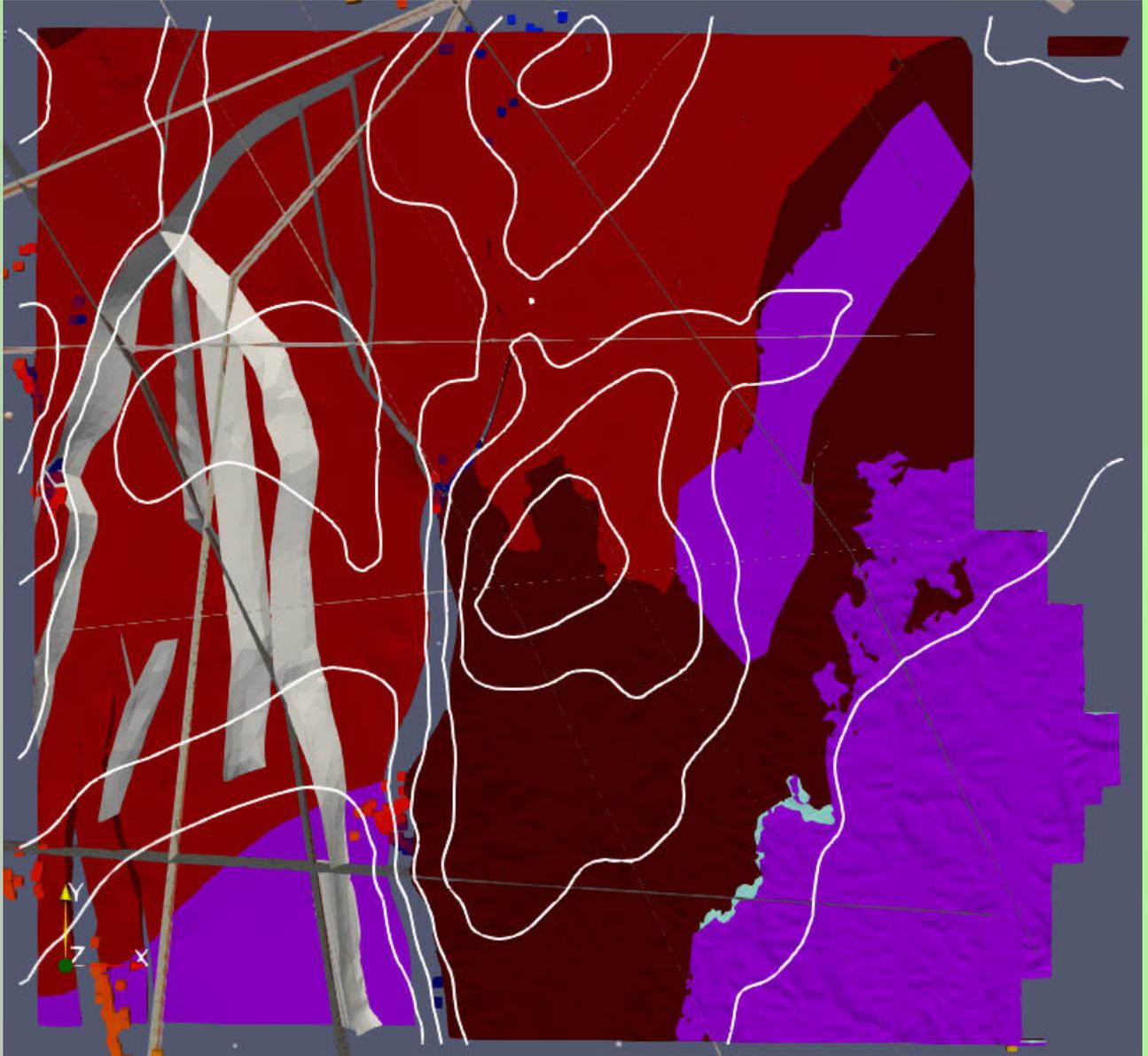
- » Als Hintergrundmodell für die später folgende Modellierung (Bericht Teil 2) wurde ein geologisches Modell zur Verfügung gestellt. Dafür müssen die Horizonte durchgehend vorhanden sein, weshalb eine geringfügige Nachbearbeitung unter Berücksichtigung der Schichtmächtigkeiten notwendig ist. Zum Darstellen im Visualisierungsprogramm ParaView werden die Originaldaten verwendet.
- » Abgesehen von den Horizonten sind geologische Profilbilder verfügbar, die mit den vorhandenen Koordinateninformationen ebenfalls im 3D-Modell dargestellt werden. Da die Profilbildlängen nicht immer mit den vorgegebenen Koordinaten-Distanzen übereinstimmen, sind die Schnittpunkte zum Teil inkonsistent. Für einen großräumigeren Überblick sind die Profile jedoch gut geeignet.



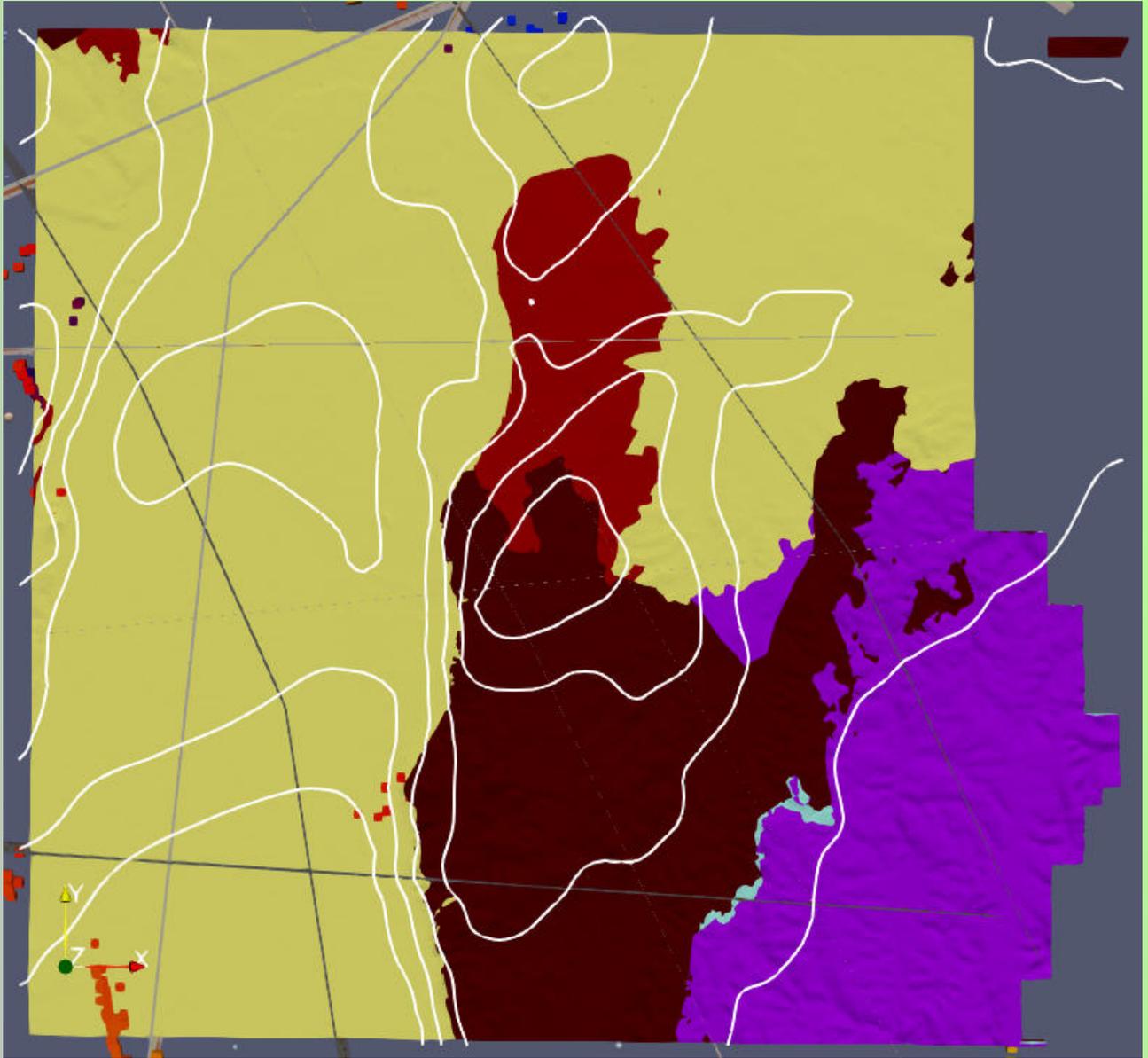
- » **Bouguerschwere, zusammen mit den Erdbebenlokalationen und Lösungen der Euler-Dekonvolution**
- » Zu dieser Ansicht (vgl. Seite 47) aus dem 3D-Modell werden auf den folgenden Seiten die vorliegenden Horizonte aus dem geologischen Schichtmodell hinzugefügt.
- » (Vgl. Seite 51 für eine seitliche Ansicht.)



- » **Lokation des Buntsandsteins**
- » Die Elemente der vorherigen Seite, zusammen mit den Horizonten des Top Zechstein und des Top Buntsandstein.
- » Weiterhin sind einige Störungsflächen aus dem 3D-Modell hinzugeladen.



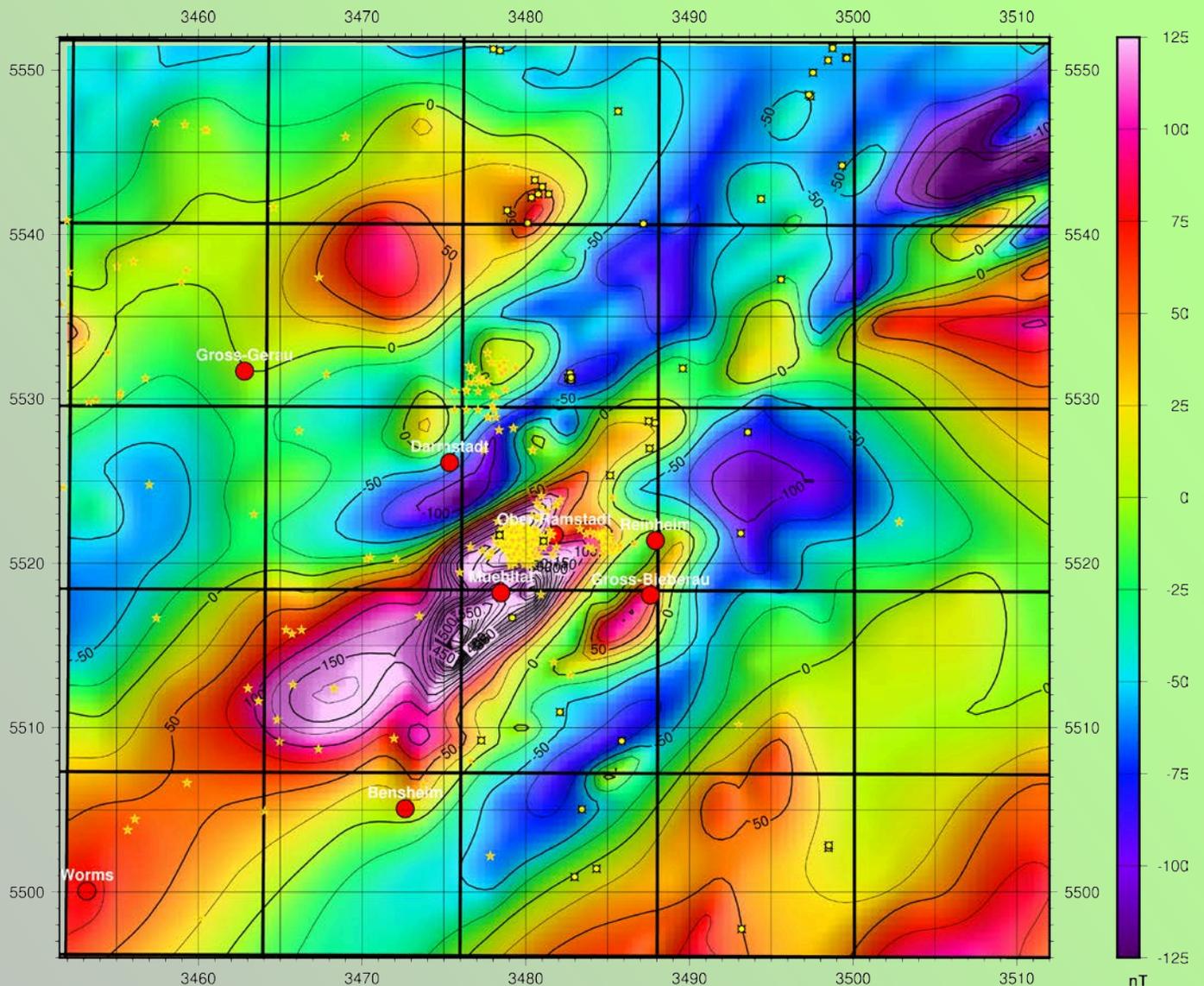
- » **Lokation des Rotliegenden und des Prä-Perms**
- » Die Elemente der vorherigen Seite, zusammen mit den Horizonten des Top Rotliegenden und des Top Prä-Perm.
- » Zur besseren Ansicht ist die Bouguer-schwere hier in Form von Isolinien dargestellt.



» Lokation des Quartärs/Tertiärs

- » Die Elemente der vorherigen Seite, zusammen mit dem Horizont des Top Quartär/Tertiär.
- » Die Westseite des Schwerehochs korreliert sehr gut mit dem Ausbiss dieses Horizonts. Auch auf der vorherigen Seite ist eine Korrelation (zum Ausbiss des Rotliegenden) zu erkennen.

- » Die gelieferten Daten sind eine Kompilation von verschiedenen Datensätzen auf einem Gitter in 1000 m Höhe. Im ersten Schritt wird eine Polreduktion durchgeführt, auf welcher die folgenden Filter, Feldtransformationen und Krümmungen beruhen.
- » Eine Polreduktion transformiert das Feld so, dass der induzierende magnetische Vektor senkrecht steht. Dadurch liegen Anomalien direkt über den Störkörpern statt verschoben dazu. Allerdings ist eine Polreduktion nur sinnvoll, wenn keine remanente Magnetisierung vorhanden ist. Mangels entsprechender Information wird davon ausgegangen, dass im Allgemeinen eine geringe Remanenz vorliegt und die Polreduktion deshalb sinnvoll interpretierbar ist. Bei der Analyse der Felder sollte allerdings beachtet werden, dass interpretierte Strukturen durch vorhandene Remanenz beeinflusst sein könnten.

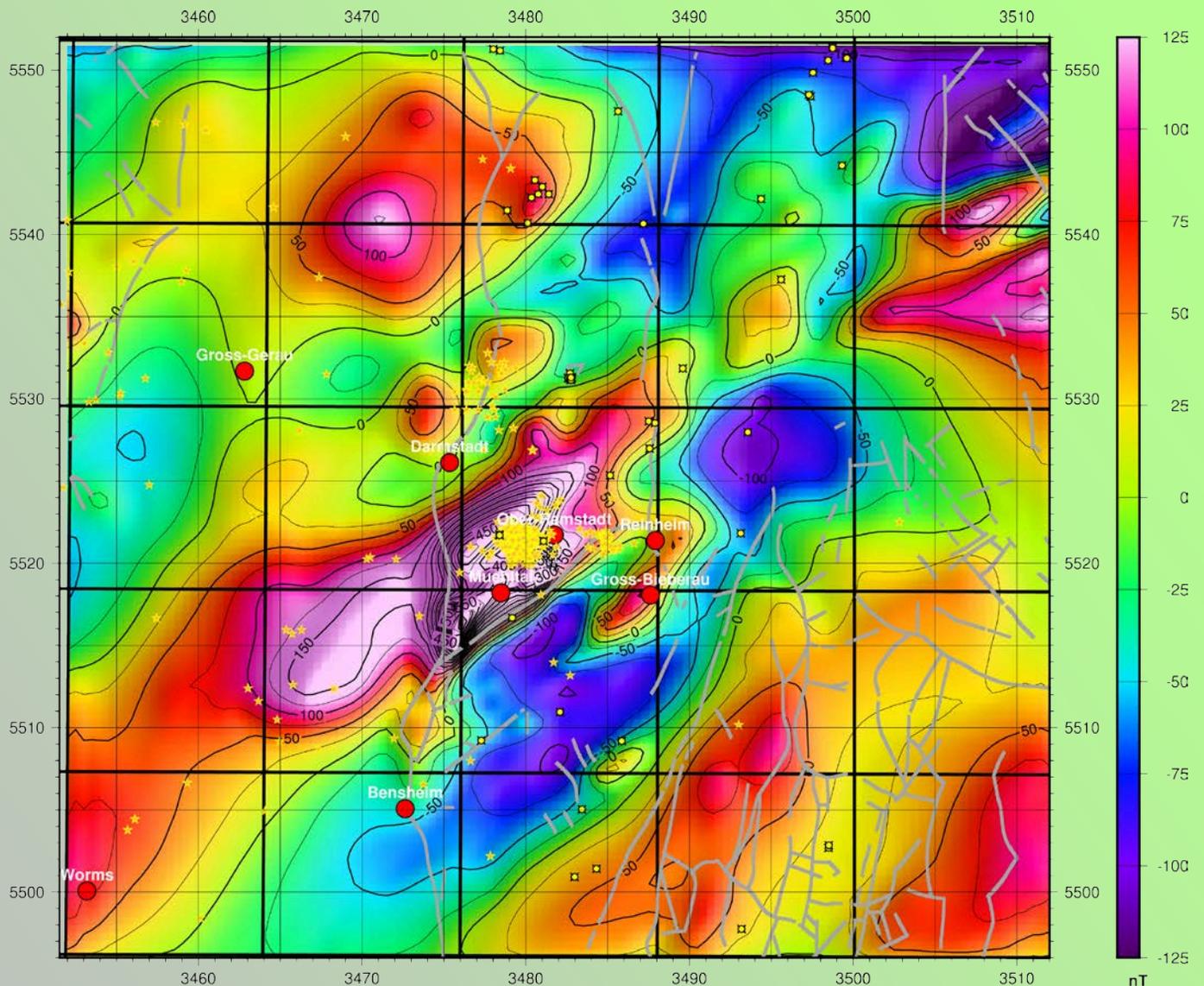


» Totale Magnetische Intensität (TMI)

» Diese Daten wurden bereits als 500 m - Gitter auf der einheitlichen Höhe 1000 m in Bezug auf das DGRF 1980 geliefert.

» Mit Hilfe der Equivalent-Quellen-Methode kann eine Polreduktion durchgeführt werden, die zur weiteren Analyse und Interpretation verwendet wird (siehe nächste Seite).

- Tektonik
- Städte
- + Schweremesspunkte
- Dichtemessungen
- ★ Erdbebenlokationen
- TK Blätter
- ⊠ Bohrungen



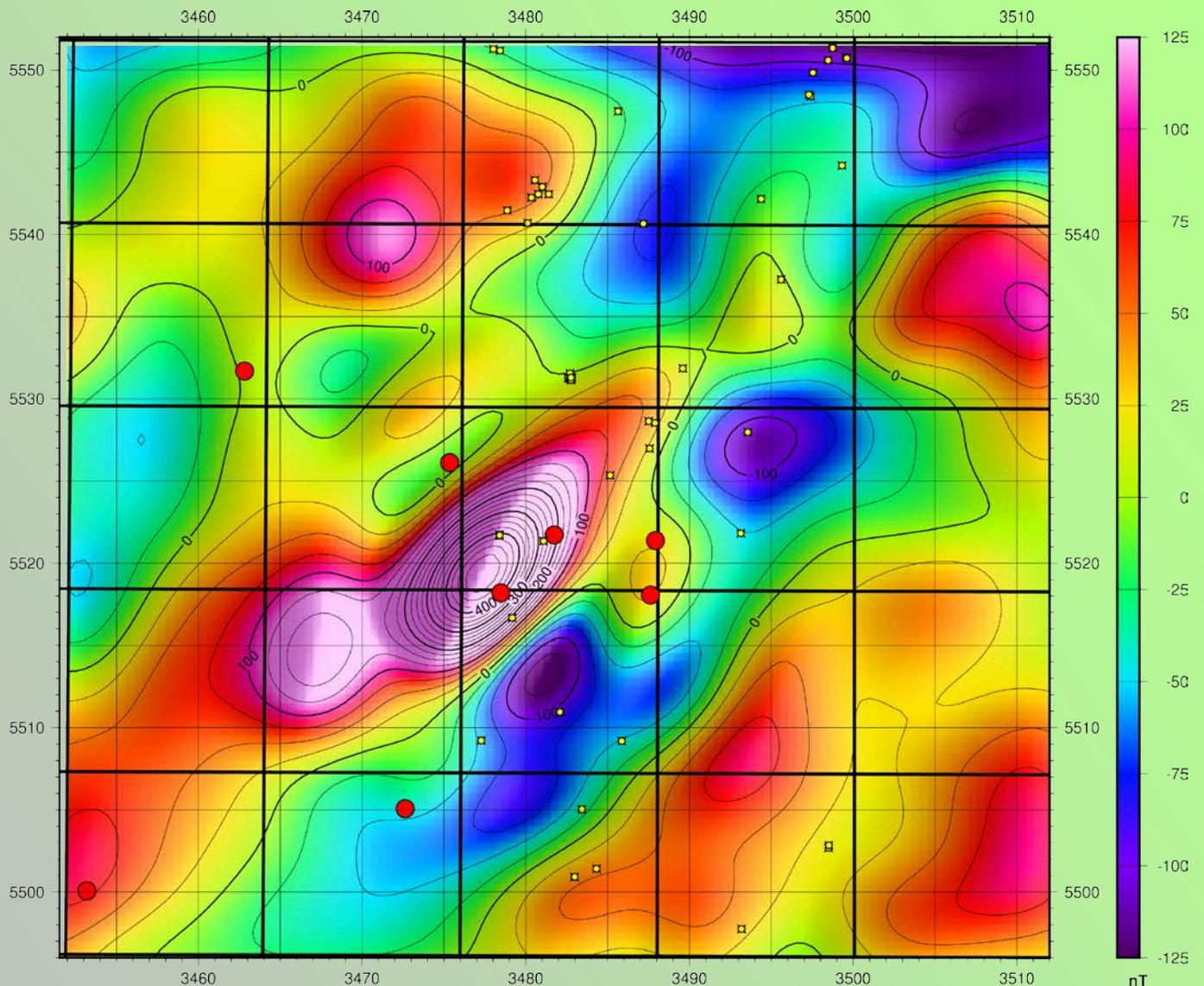
» Polreduzierte Totale Magnetische Intensität (RTP)

» Nach der Polreduktion liegen die magnetischen Maxima (sofern keine remanente Magnetisierung vorhanden ist) direkt über den Quellen. Daher ist diese Karte leichter zu interpretieren als die der TMI und Grundlage der folgenden Attribute.

» Die Beben bei Ober-Ramstadt liegen zwischen zwei benachbarten Maxima.

- Tektonik
- Städte
- ✚ Schweremesspunkte
- Dichtemessungen
- ★ Erdbebenlokationen
- TK Blätter
- ⊠ Bohrungen

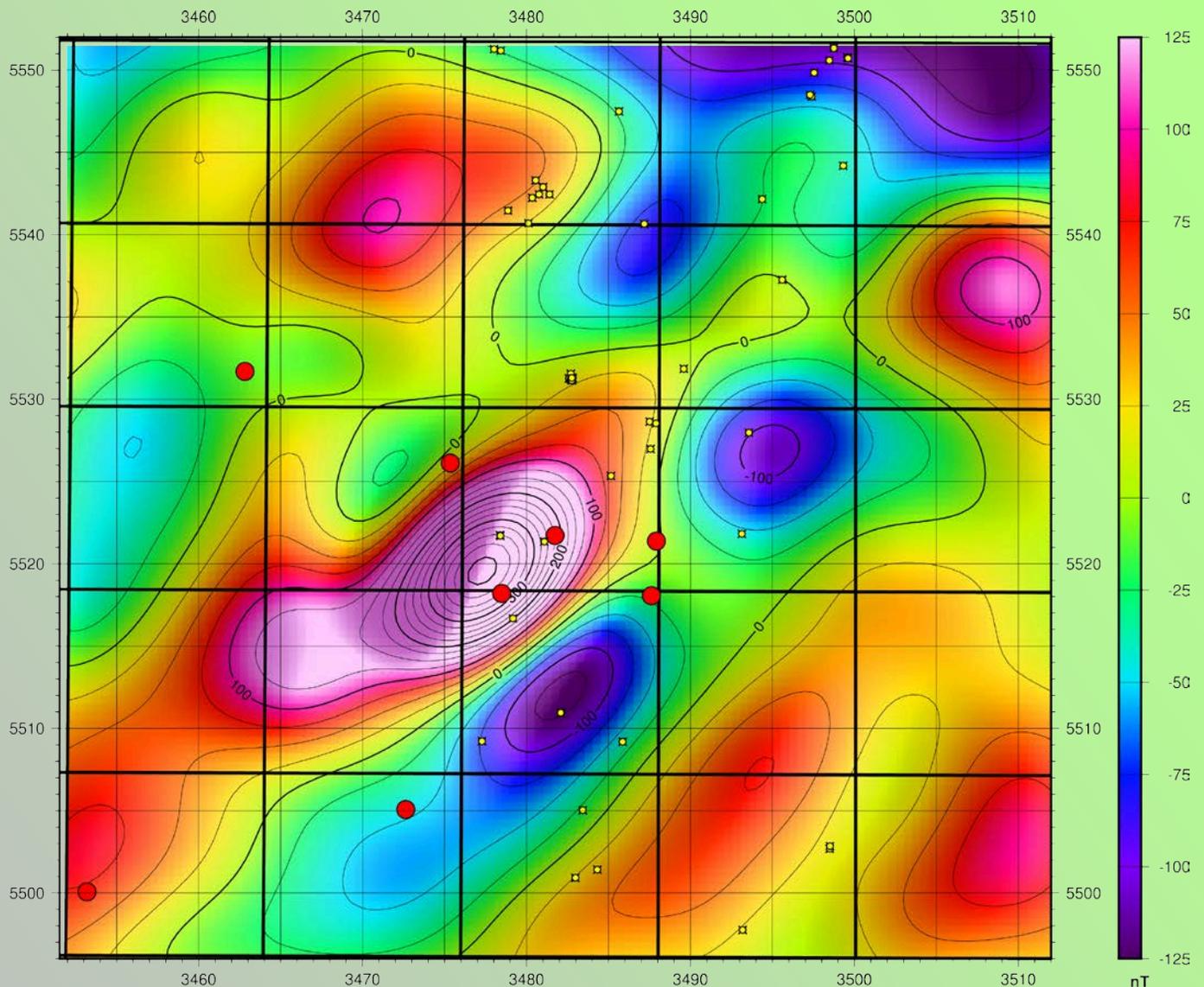
- » Tief- und Hochpassfilter sind der erste Analyseschritt. Aus den Hochpassfilterungen lässt sich abschätzen, ab welcher Wellenlänge geologisch interessante Signale enthalten sind. Die hochfrequenten Anteile stammen aus geringen Tiefen und sind häufig in der Polreduktion selbst nicht gut zu erkennen, weil sie von größeren Effekten überlagert sind. Tieffrequente Signale können sowohl von weit ausgedehnten oberflächennahen Strukturen ausgelöst werden, wie auch von kompakteren tieferen. Geologische Modelle oder Wissen aus anderen geophysikalischen Vermessungen bieten hier eine Interpretationshilfe.
- » In den Tiefpassfilterungen ist insbesondere das Maximum süd-östlich von Darmstadt gut zu erkennen. Es strahlt mit geringerer Amplitude in den Graben aus, als würde die Struktur unter dem Graben fortgesetzt. Bei größeren Filterwellenlängen ist schließlich keine Trennung zwischen Graben- und nicht-Graben-Bereich mehr möglich, und das Maximum erscheint als eine zusammenhängende Struktur.
- » In den Hochpassfilterungen ist die Vorzugsrichtung von Süd-West nach Nord-Ost sehr deutlich. Insbesondere die nördliche Kante des Maximums, die ebenfalls in dieser Richtung verläuft, wird dort sehr betont.



» Tiefpass 7.5 km der RTP

» Tiefpassfilter zeigen die langwelligeren Strukturen im Magnetfeld. Diese können entweder von tieferen Quellen hervorgerufen sein oder durch flache, weit ausgehende Suszeptibilitätsanomalien.

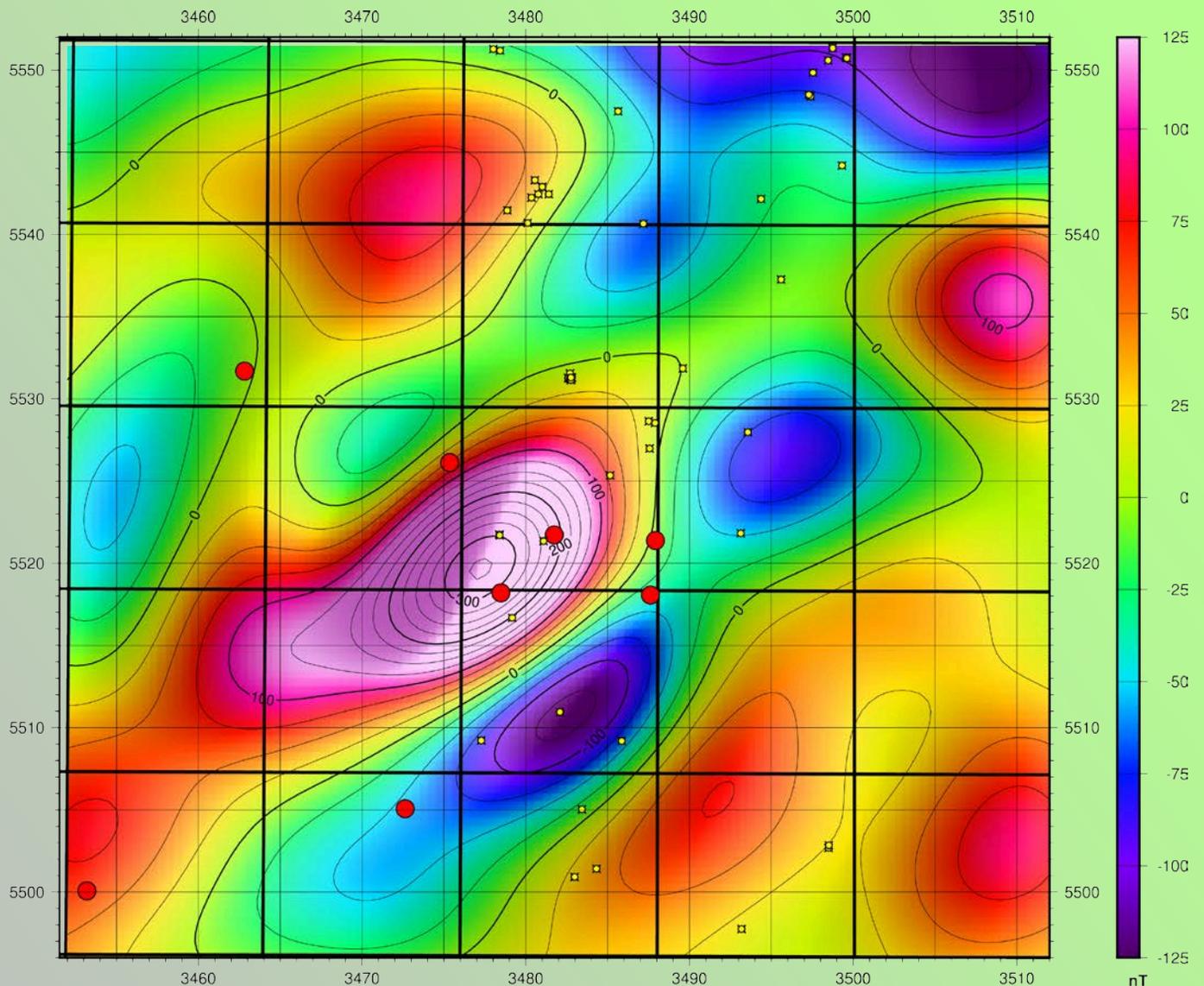
- Tektonik
- Städte
- + Schweremesspunkte
- Dichtemessungen
- ★ Erdbebenlokationen
- TK Blätter
- ⊠ Bohrungen



» Tiefpass 10 km der RTP

» Tiefpassfilter zeigen die langwelligeren Strukturen im Magnetfeld. Diese können entweder von tieferen Quellen hervorgerufen sein oder durch flache, weit ausgehende Suszeptibilitätsanomalien.

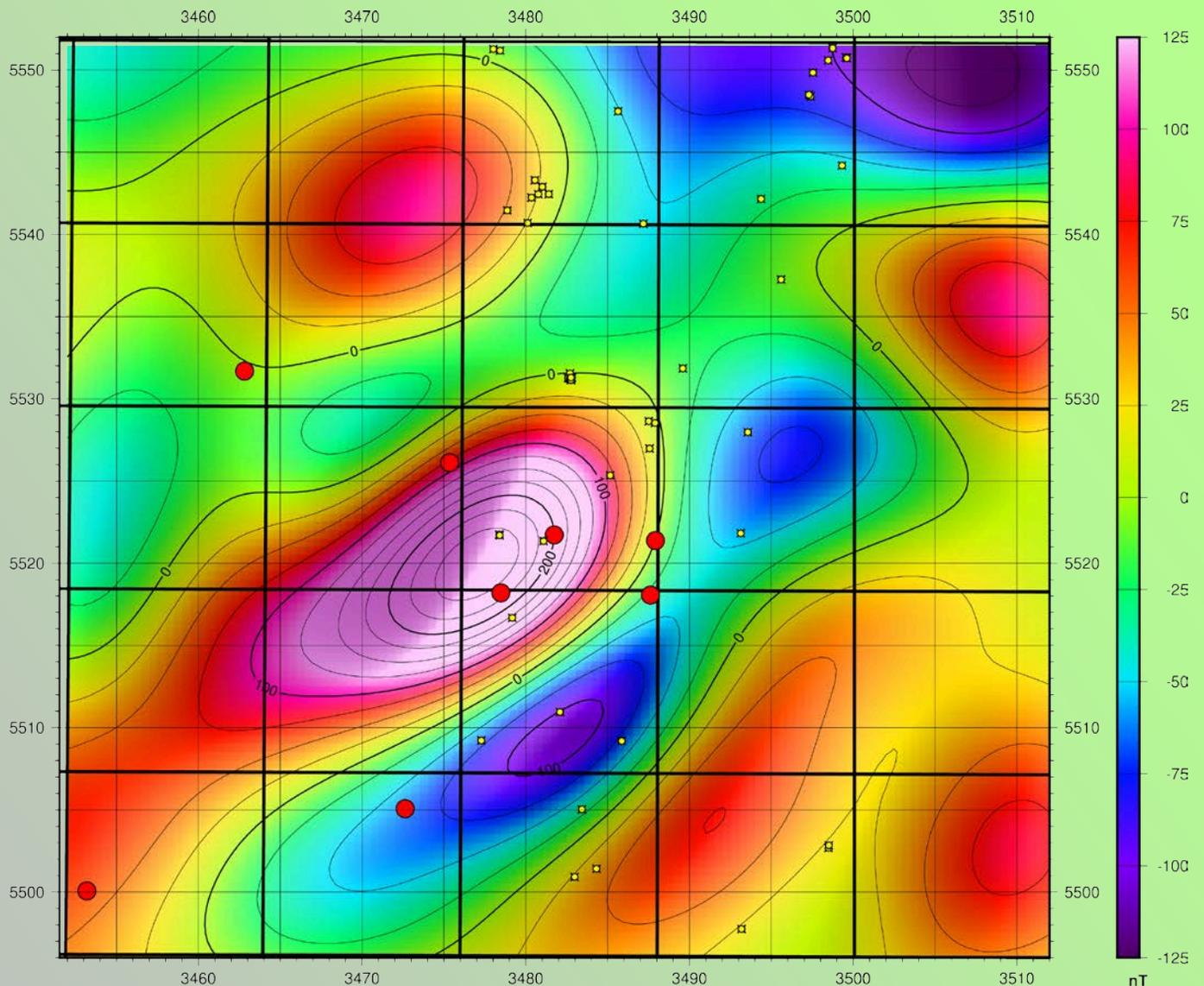
- Tektonik
- Städte
- + Schweremesspunkte
- Dichtemessungen
- ★ Erdbebenlokationen
- TK Blätter
- ⊠ Bohrungen



» Tiefpass 12.5 km der RTP

» Tiefpassfilter zeigen die langwelligeren Strukturen im Magnetfeld. Diese können entweder von tieferen Quellen hervorgerufen sein oder durch flache, weit ausgehende Suszeptibilitätsanomalien.

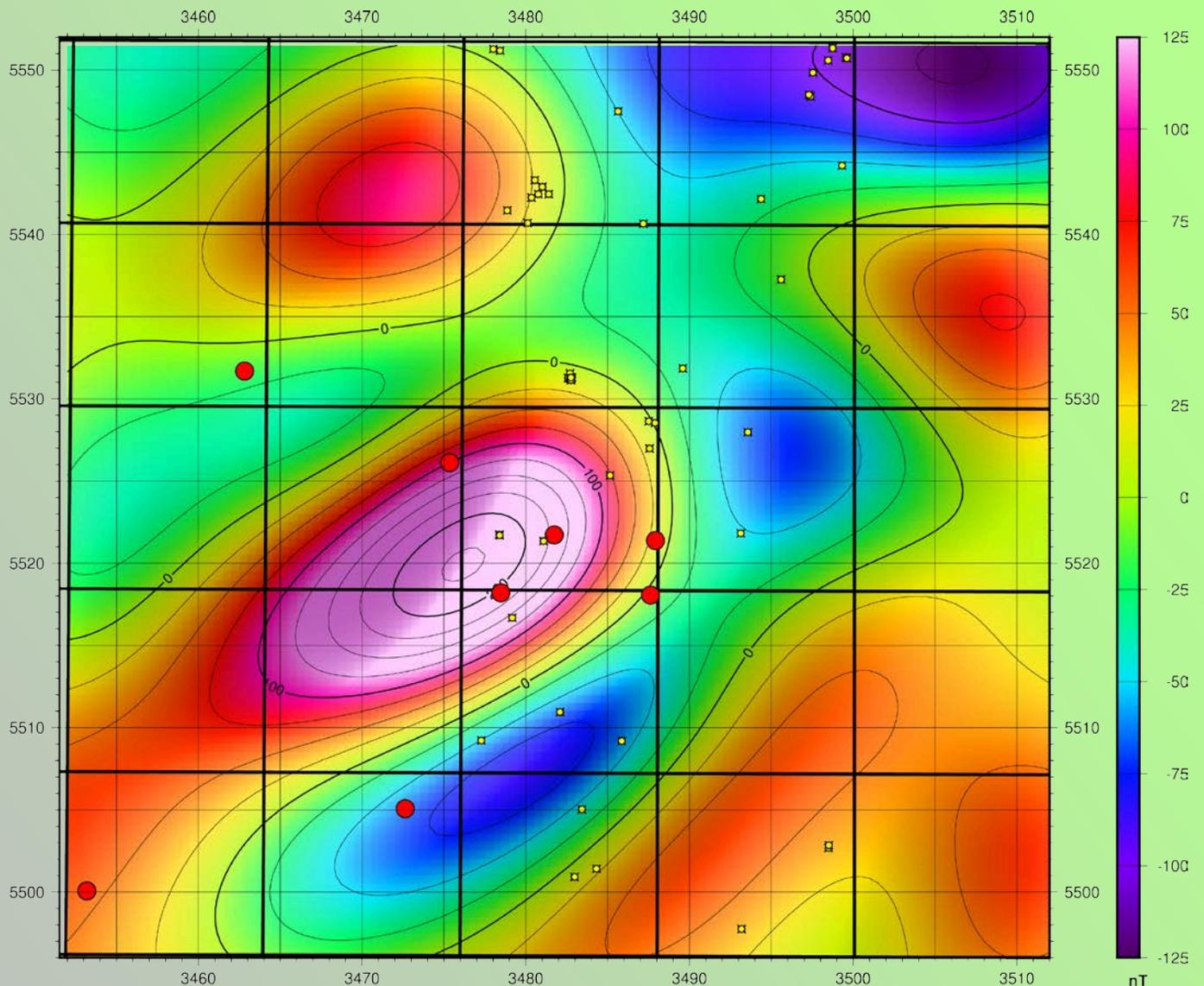
- Tektonik
- Städte
- + Schweremesspunkte
- Dichtemessungen
- ★ Erdbebenlokationen
- TK Blätter
- ⊠ Bohrungen



» Tiefpass 15 km der RTP

» Tiefpassfilter zeigen die langwelligeren Strukturen im Magnetfeld. Diese können entweder von tieferen Quellen hervorgerufen sein oder durch flache, weit ausgehende Suszeptibilitätsanomalien.

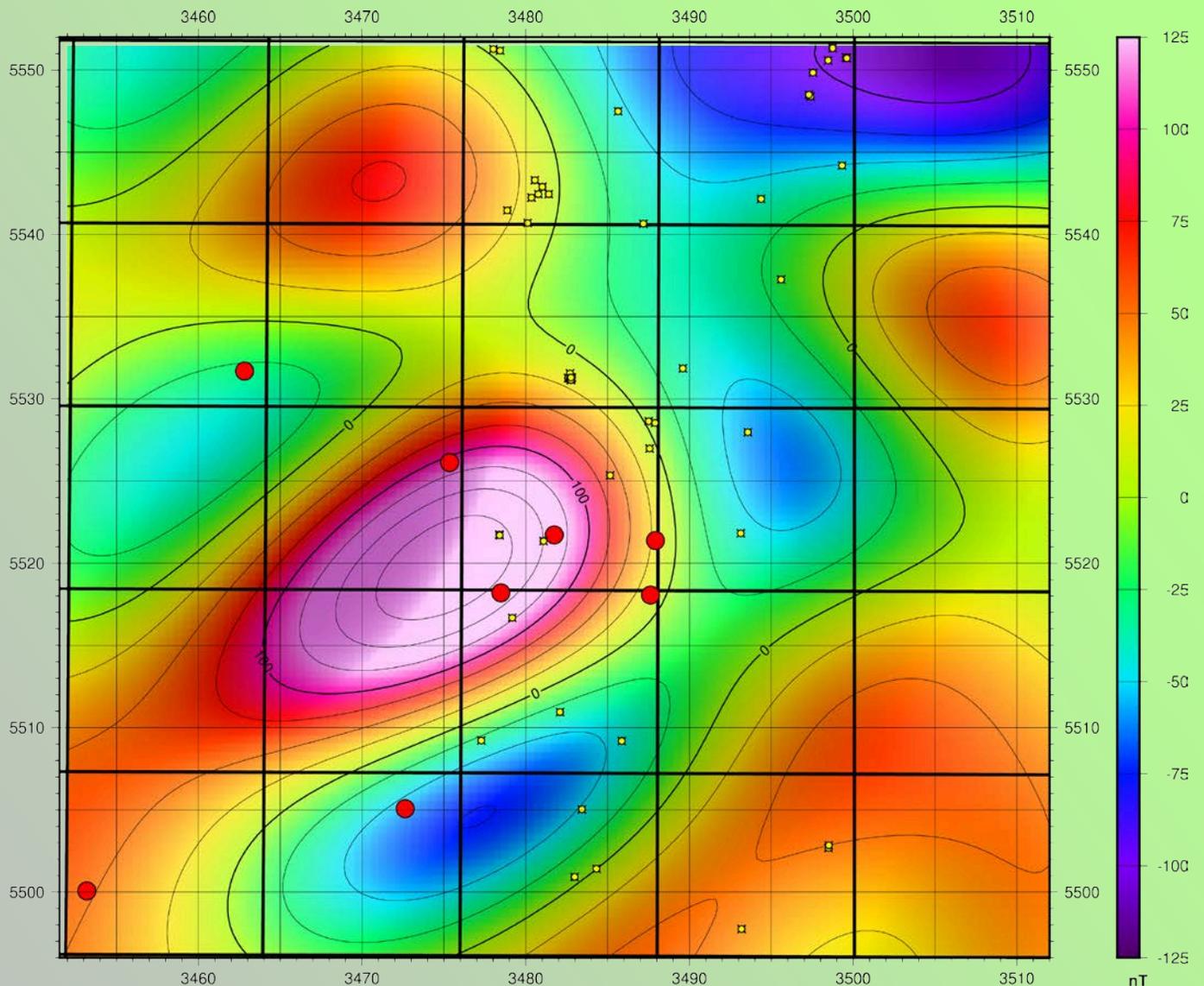
- Tektonik
- Städte
- + Schweremesspunkte
- Dichtemessungen
- ★ Erdbebenlokationen
- TK Blätter
- ⊠ Bohrungen



» Tiefpass 17.5 km der RTP

» Tiefpassfilter zeigen die langwelligeren Strukturen im Magnetfeld. Diese können entweder von tieferen Quellen hervorgerufen sein oder durch flache, weit ausgehende Suszeptibilitätsanomalien.

- Tektonik
- Städte
- + Schweremesspunkte
- Dichtemessungen
- ★ Erdbebenlokationen
- TK Blätter
- ⊠ Bohrungen

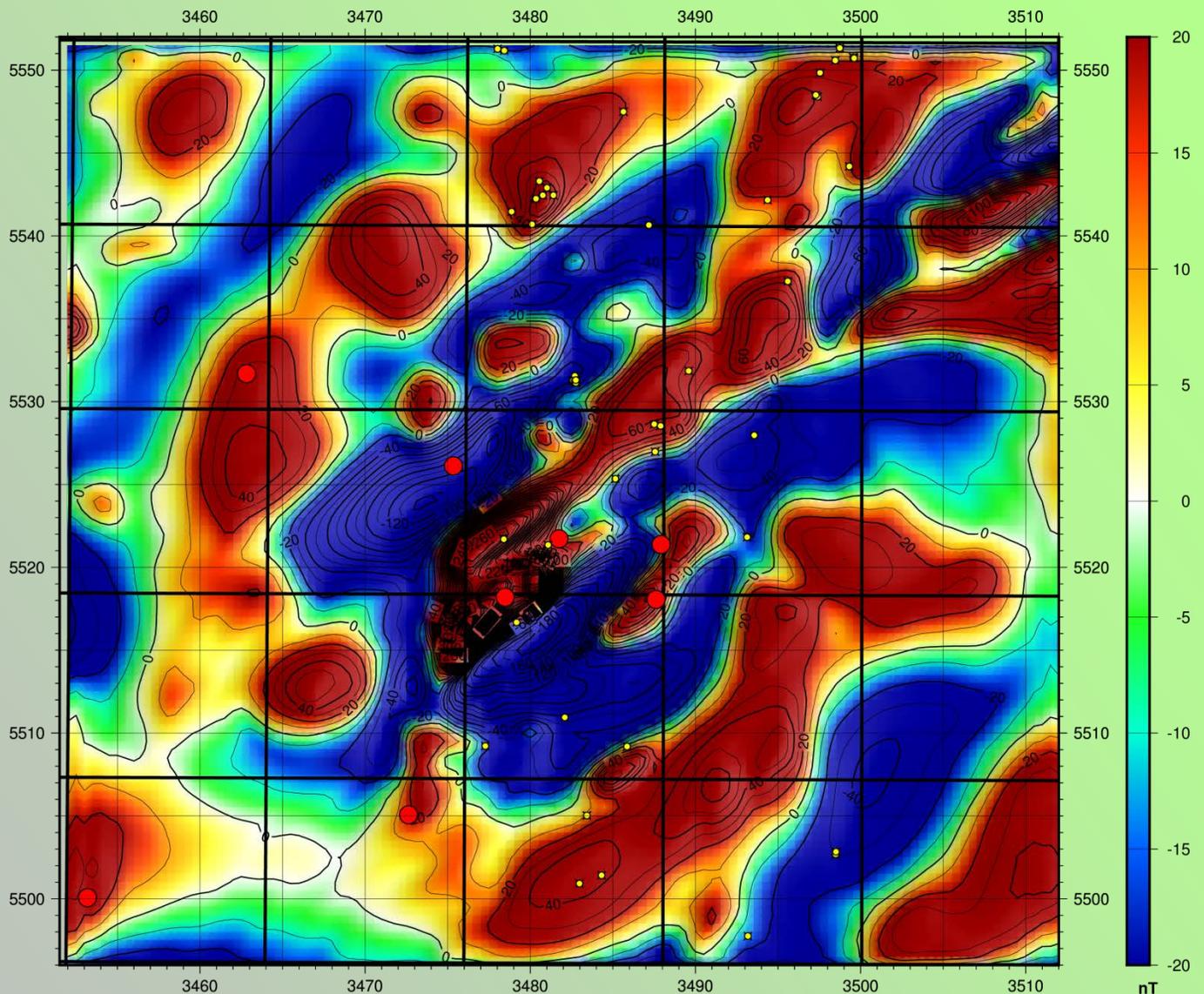


» Tiefpass 20 km der RTP

» Tiefpassfilter zeigen die langwelligeren Strukturen im Magnetfeld. Diese können entweder von tieferen Quellen hervorgerufen sein oder durch flache, weit ausgehende Suszeptibilitätsanomalien.

» Zusammen mit der 20km Hochpassfilterung auf der nächsten Seite ergibt sich das Ausgangsfeld.

- Tektonik
- Städte
- + Schweremesspunkte
- Dichtemessungen
- ★ Erdbebenlokationen
- TK Blätter
- ⊠ Bohrungen

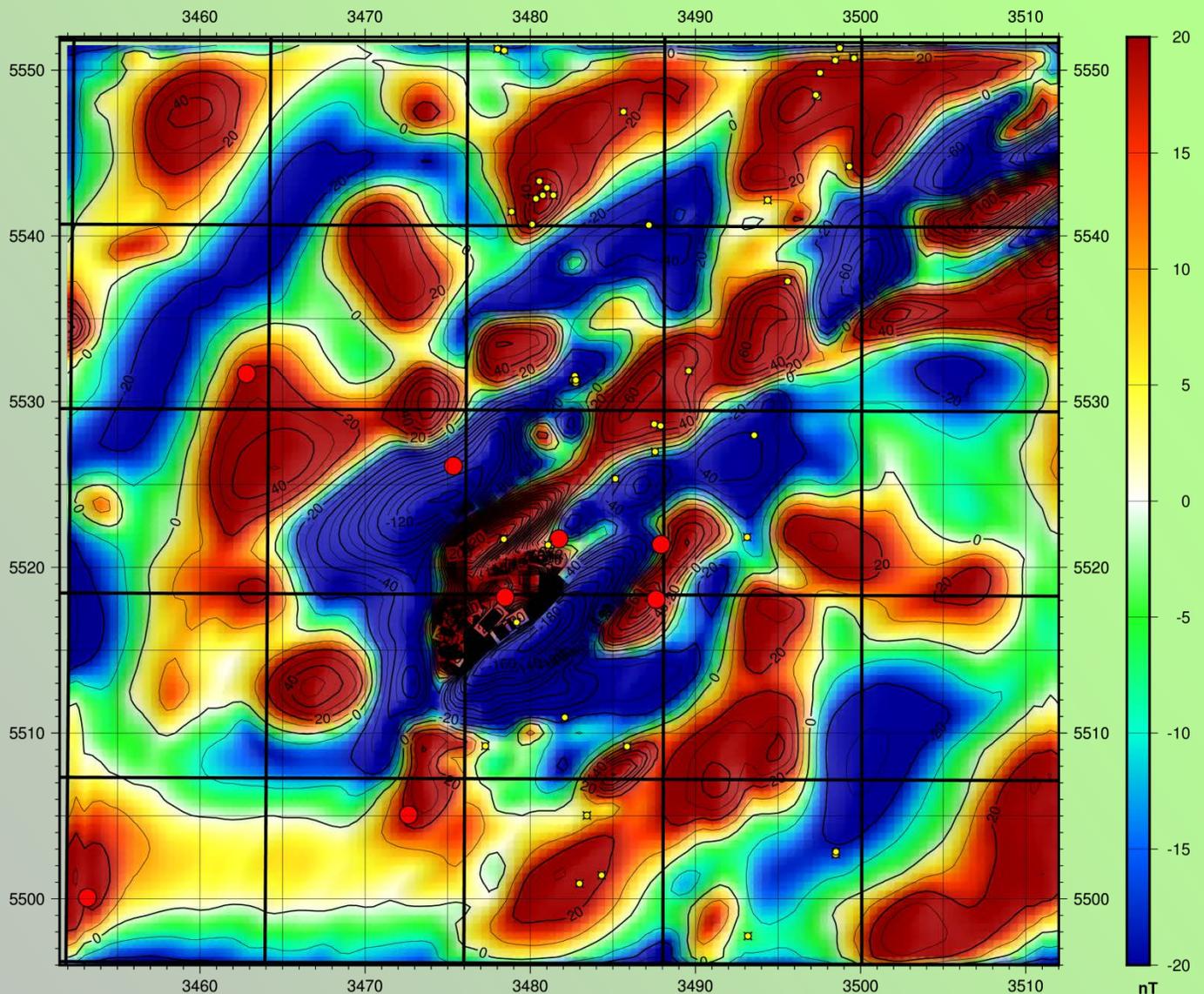


» Hochpass 20 km der RTP

» Hochpassfilter zeigen die kurzwelligeren Strukturen im Magnetfeld. Diese werden von oberflächennäheren Quellen hervorgerufen.

» Zusammen mit der 20km Tiefpassfilterung auf der vorigen Seite ergibt sich das Ausgangsfeld.

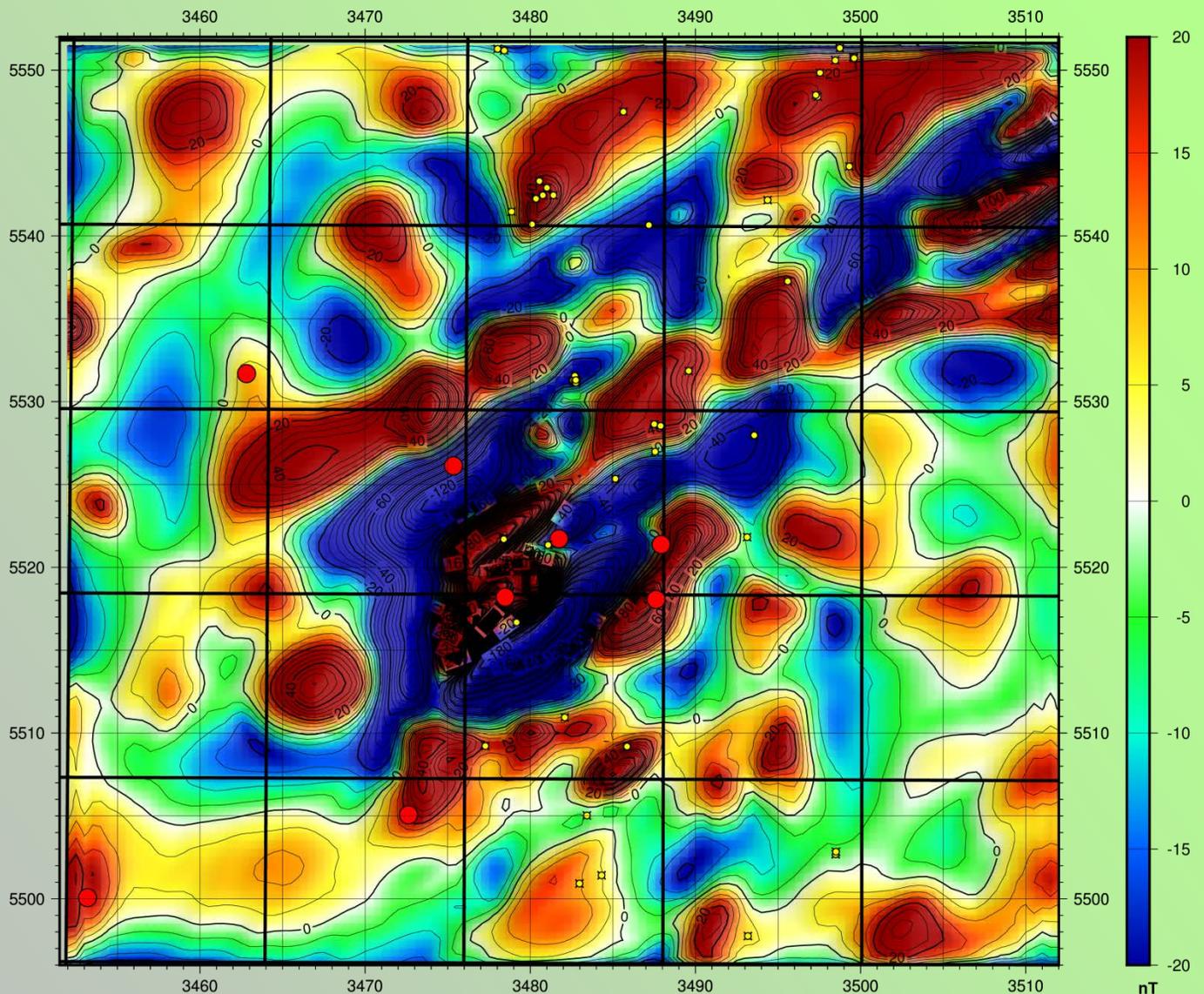
- Tektonik
- Städte
- + Schweremesspunkte
- Dichtemessungen
- ★ Erdbebenlokationen
- TK Blätter
- ⊠ Bohrungen



» Hochpass 17.5 km der RTP

» Hochpassfilter zeigen die kurzwelligeren Strukturen im Magnetfeld. Diese werden von oberflächennäheren Quellen hervorgerufen.

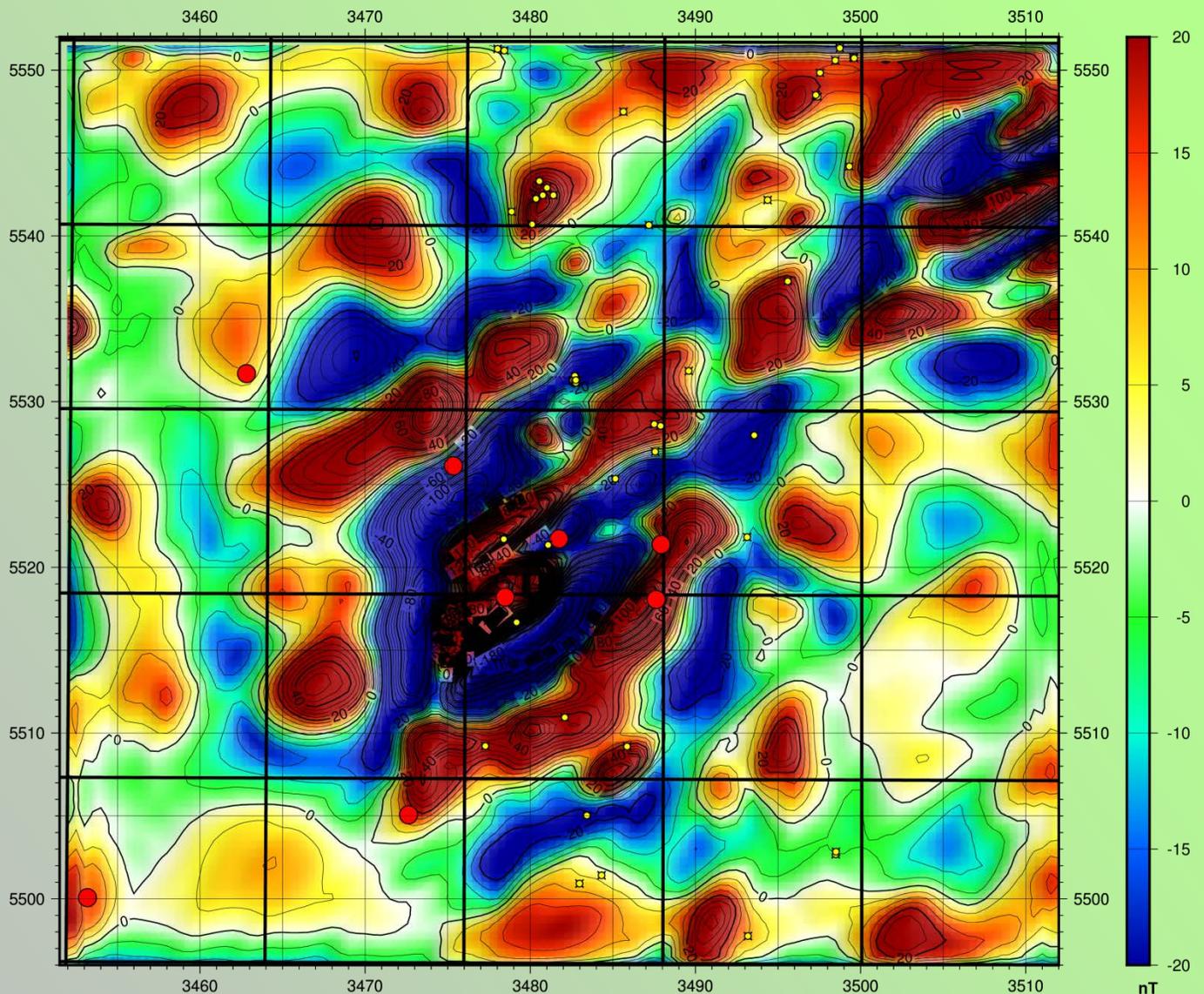
- Tektonik
- Städte
- ✚ Schweremesspunkte
- Dichtemessungen
- ★ Erdbebenlokationen
- TK Blätter
- ⊠ Bohrungen



» Hochpass 15 km der RTP

» Hochpassfilter zeigen die kurzwelligeren Strukturen im Magnetfeld. Diese werden von oberflächennäheren Quellen hervorgerufen.

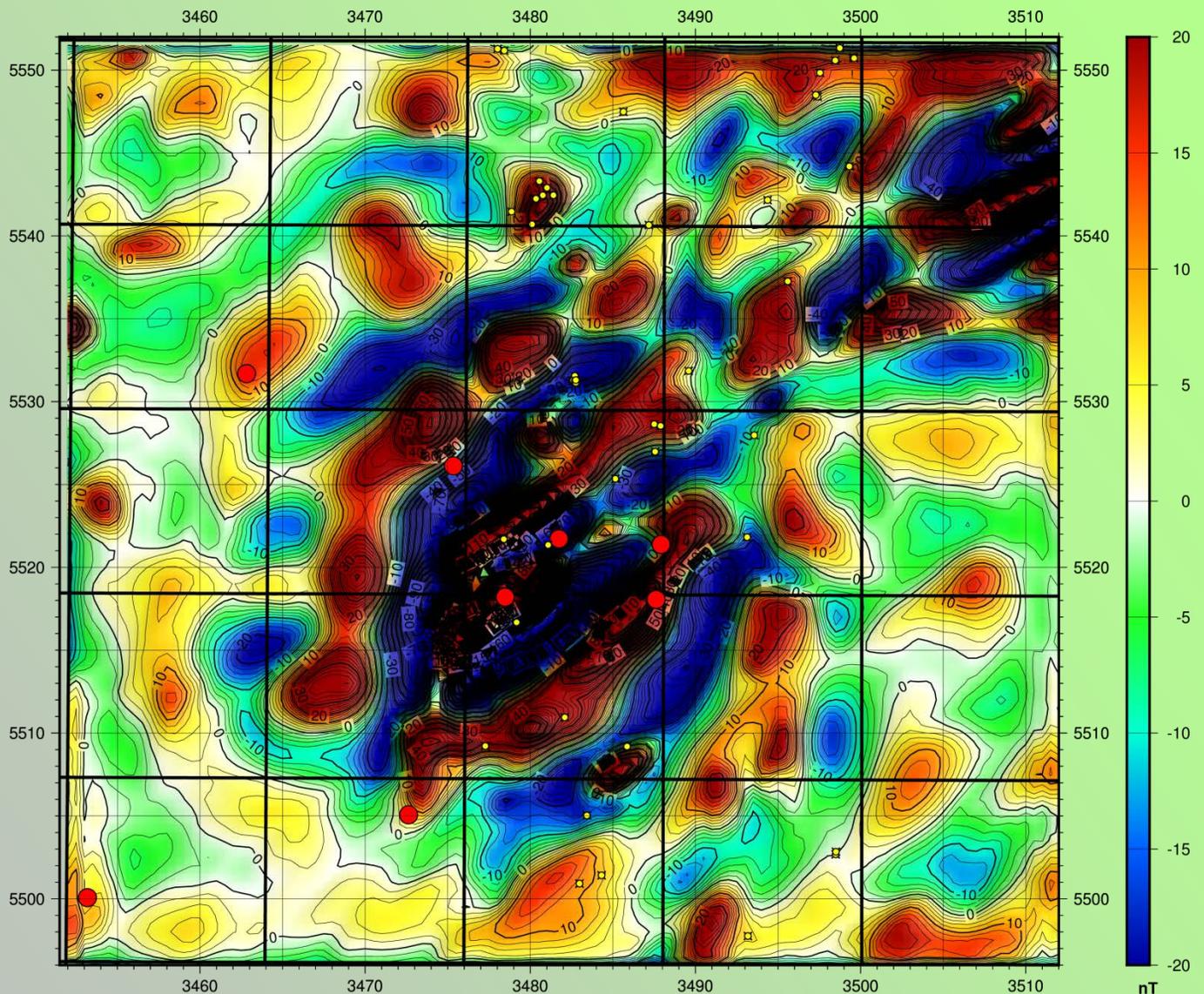
- Tektonik
- Städte
- + Schweremesspunkte
- Dichtemessungen
- ★ Erdbebenlokationen
- TK Blätter
- Bohrungen



» Hochpass 12.5 km der RTP

» Hochpassfilter zeigen die kurzwelligeren Strukturen im Magnetfeld. Diese werden von oberflächennäheren Quellen hervorgerufen.

- Tektonik
- Städte
- + Schweremesspunkte
- Dichtemessungen
- ★ Erdbebenlokationen
- TK Blätter
- ⊠ Bohrungen

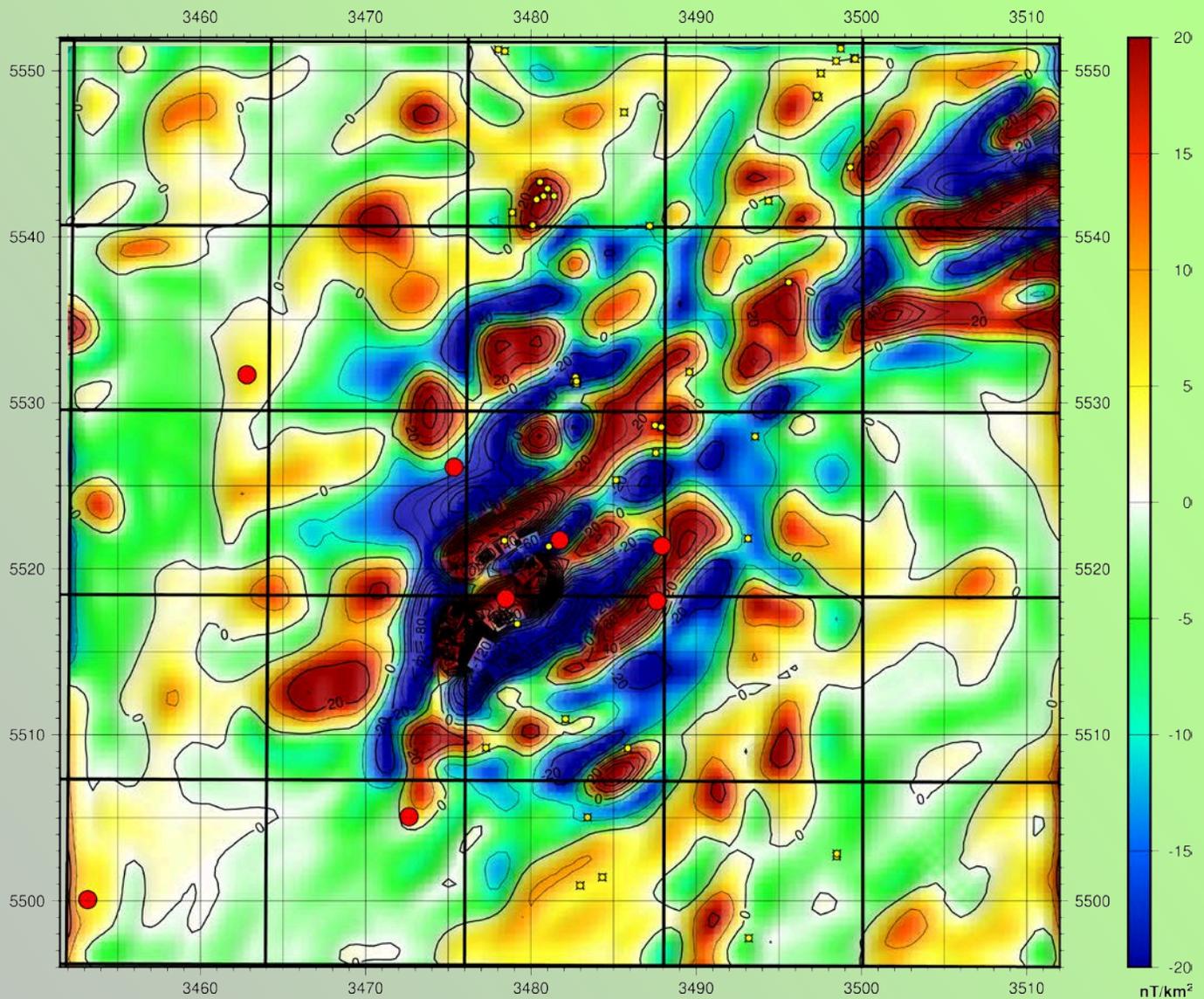


» Hochpass 10 km der RTP

» Hochpassfilter zeigen die kurzwelligeren Strukturen im Magnetfeld. Diese werden von oberflächennäheren Quellen hervorgerufen.

- Tektonik
- Städte
- + Schweremesspunkte
- Dichtemessungen
- ★ Erdbebenlokationen
- TK Blätter
- Bohrungen

- » Feldtransformationen kombinieren verschiedene Ableitungen des polreduzierten Magnetfelds. Dadurch sprechen sie auf hochfrequente Anteile des Feldes an, während langwellige Signale von geringer Bedeutung sind. Somit lassen sich in vielen Feldtransformationen Störungszonen und oberflächennahe laterale Suszeptibilitätskontraste sehr gut kartieren.
- » Wie zu erwarten, können die Strukturen, welche in den Hochpassfilterungen sichtbar wurden, auch in den Feldtransformationen verfolgt werden. An manchen Stellen ergibt sich jedoch ein differenzierteres Bild und/oder können andere Muster erkannt werden. Dies kann jedoch auch durch die Wahl der Farbskala und ihren Wertebereich beeinflusst werden. Für die Interpretation sollte das Feld, auf dem die Transformationen beruhen, stets im Blick gehalten werden.
- » Die Süd-West/Nord-Ost Richtung ist auch in den Feldtransformationen gut sichtbar. In vielen Transformationen wirkt die Hauptanomalie jedoch kompakter als in den Hochpassfilterungen. In einigen kann man gute Korrelationen zur Schwere erkennen, auch wenn die Hauptanomalie der Magnetik eher im westlichen Teil der Schwereanomalie liegt.

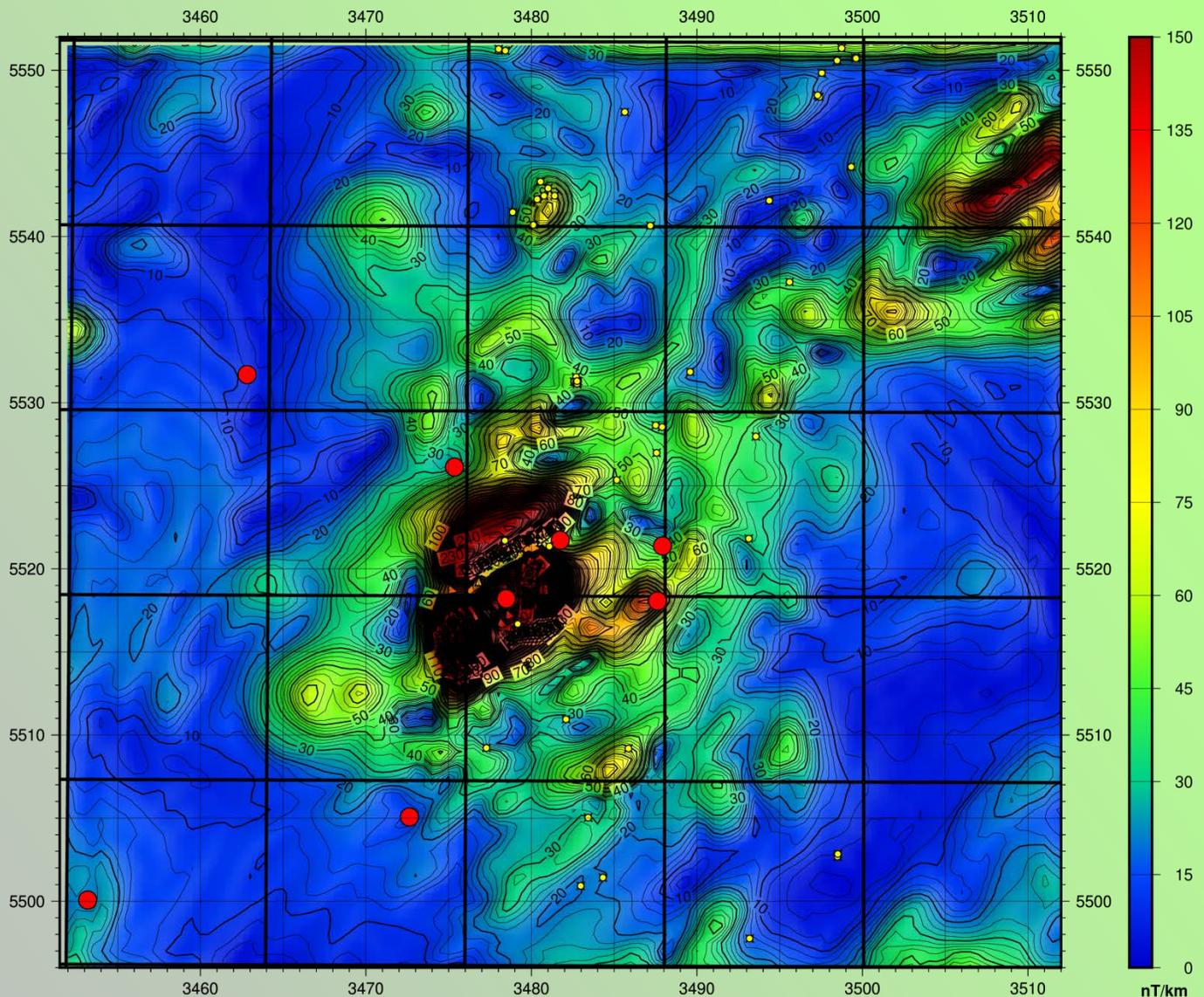


» Zweite Vertikale Ableitung der RTP, 2 km Tiefpassfilter

» In der zweiten vertikalen Ableitung erkennt man die höherfrequenten Anteile des Magnetfeldes. Da auch Rauschen verstärkt wird, betrachtet man hier das Ergebnis nach einem Tiefpassfilter.

» Das zentrale Hoch ist auch in diesen hochfrequenten Anteilen zu erkennen.

- Tektonik
- Städte
- + Schweremesspunkte
- Dichtemessungen
- ★ Erdbebenlokationen
- TK Blätter
- Bohrungen

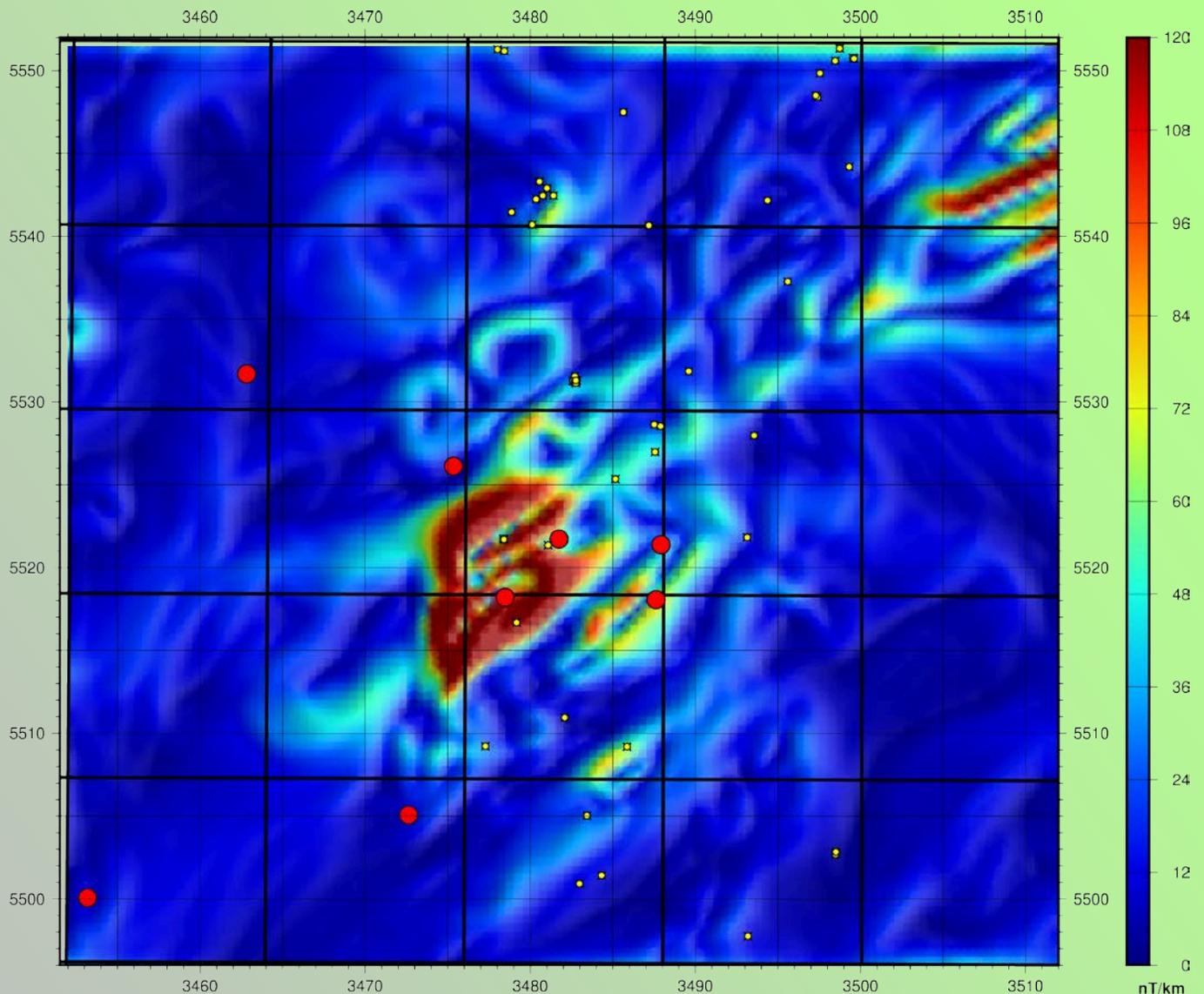


» Amplitude des Analytischen Signals

» Die Amplitude des Analytischen Signals hat hohe Bedeutung in der Interpretation des magnetischen (RTP-) Feldes, weil sie wenig sensitiv gegenüber der Inklination und Deklination ist.

» Sie ist ein interessantes Attribut, da die Maxima im Idealfall über den Quellen und/oder ihren Kanten liegen.

- Tektonik
- Städte
- + Schweremesspunkte
- Dichtemessungen
- ★ Erdbebenlokationen
- TK Blätter
- ✦ Bohrungen

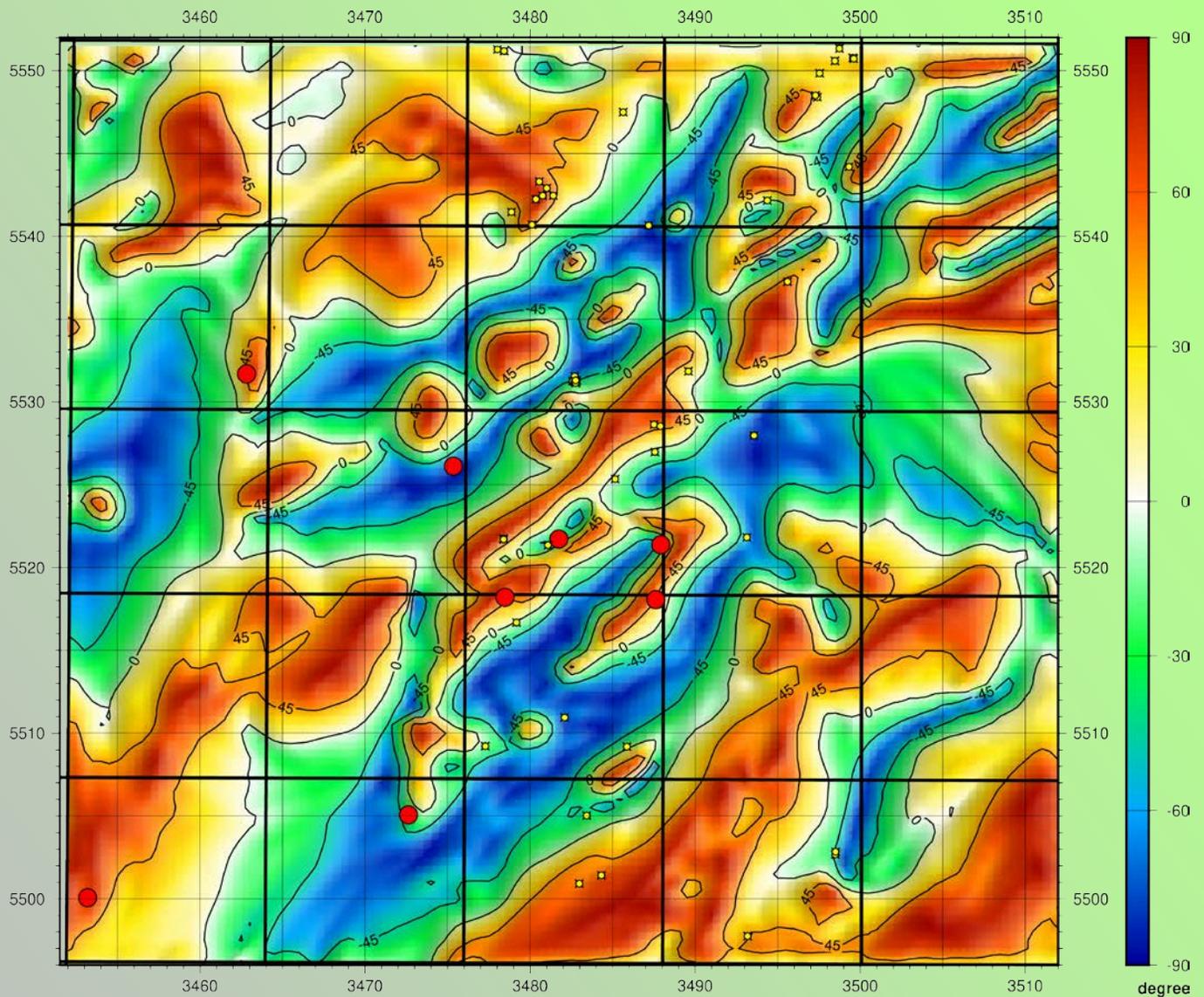


» Horizontalgradientenmagnitude der RTP

» Die Magnitude der horizontalen Gradienten wird verwendet, um Ränder von Strukturen anhand der Maxima zu verfolgen.

» Für genügend mächtige Strukturen mit vertikalen Kanten liegen die Hochs in der Karte genau über ihren Rändern.

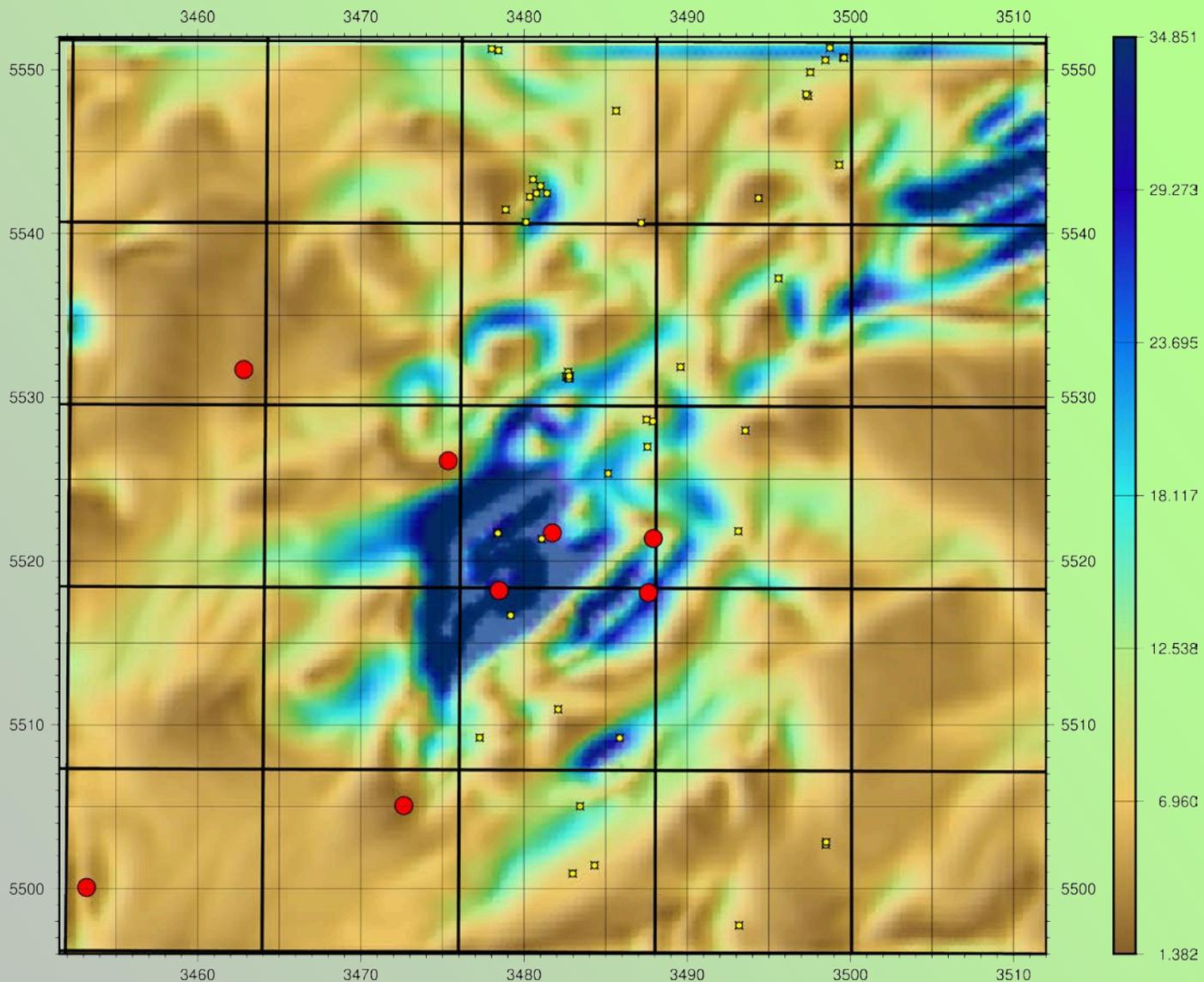
- Tektonik
- Städte
- + Schweremesspunkte
- Dichtemessungen
- ★ Erdbebenlokationen
- TK Blätter
- ✦ Bohrungen



» Tilt Derivative der RTP

- » Der Tilt Derivative zeigt langwellige und kurzwellige Strukturen. Seine Maxima liegen bei lokalen Hochs, seine Minima bei lokalen Tiefs des Magnetfelds. Die Nulllinie läge bei einem idealen Modell (mit ausschließlich isolierten Körpern, deren magnetische Wirkungen sich nicht überlagern) über den Kanten der Störkörper.

- Tektonik
- Städte
- ✚ Schweremesspunkte
- Dichtemessungen
- ★ Erdbebenlokationen
- TK Blätter
- ⊠ Bohrungen

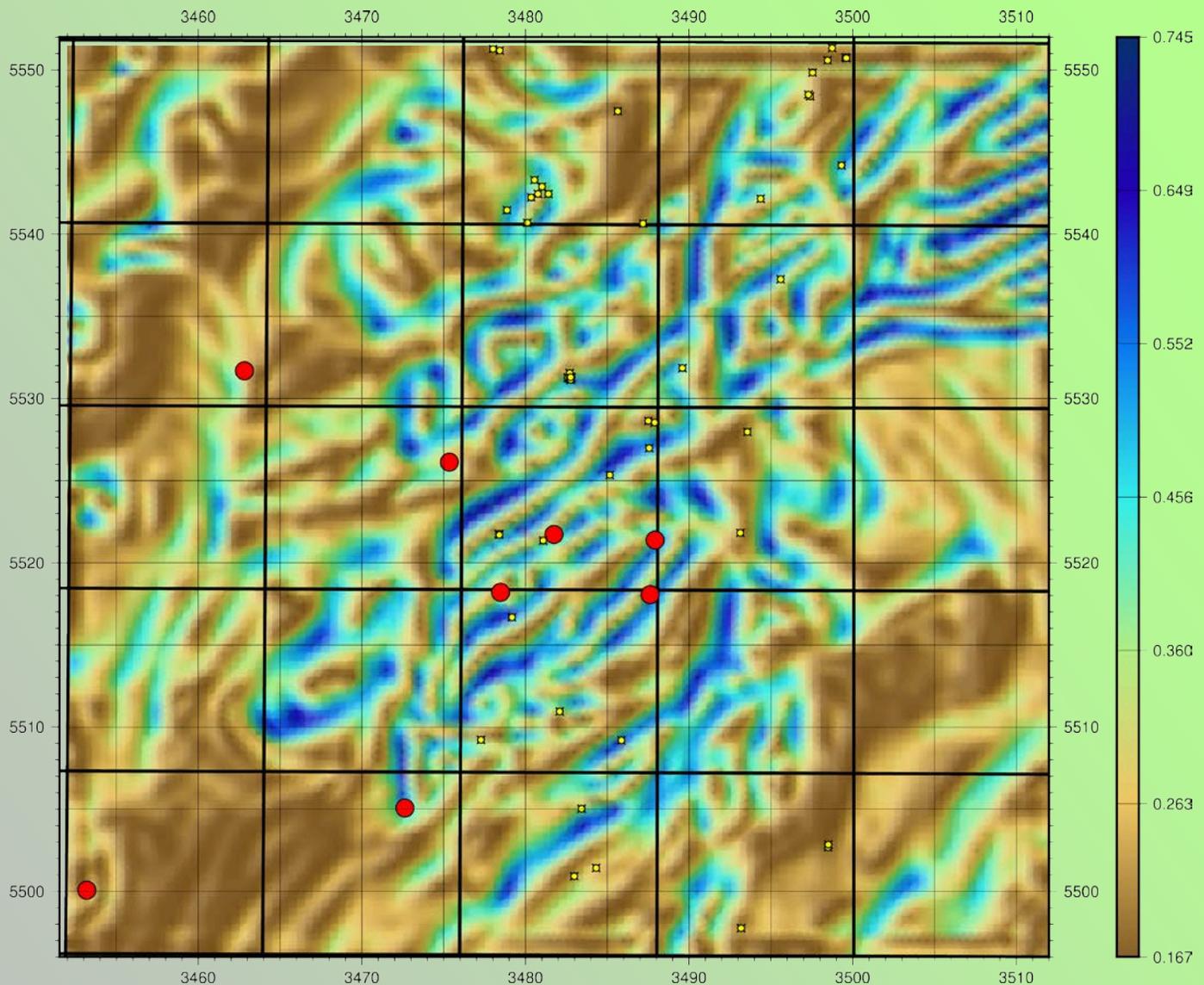


» Standardabweichungsfiler der RTP

» Der Standardabweichungsfiler berechnet die lokale Standardabweichung um jeden Gridpunkt.

» So werden Gebiete hervorgehoben, in denen sich das Magnetfeld stärker ändert.

- Tektonik
- Städte
- + Schweremesspunkte
- Dichtemessungen
- ★ Erdbebenlokationen
- TK Blätter
- Bohrungen



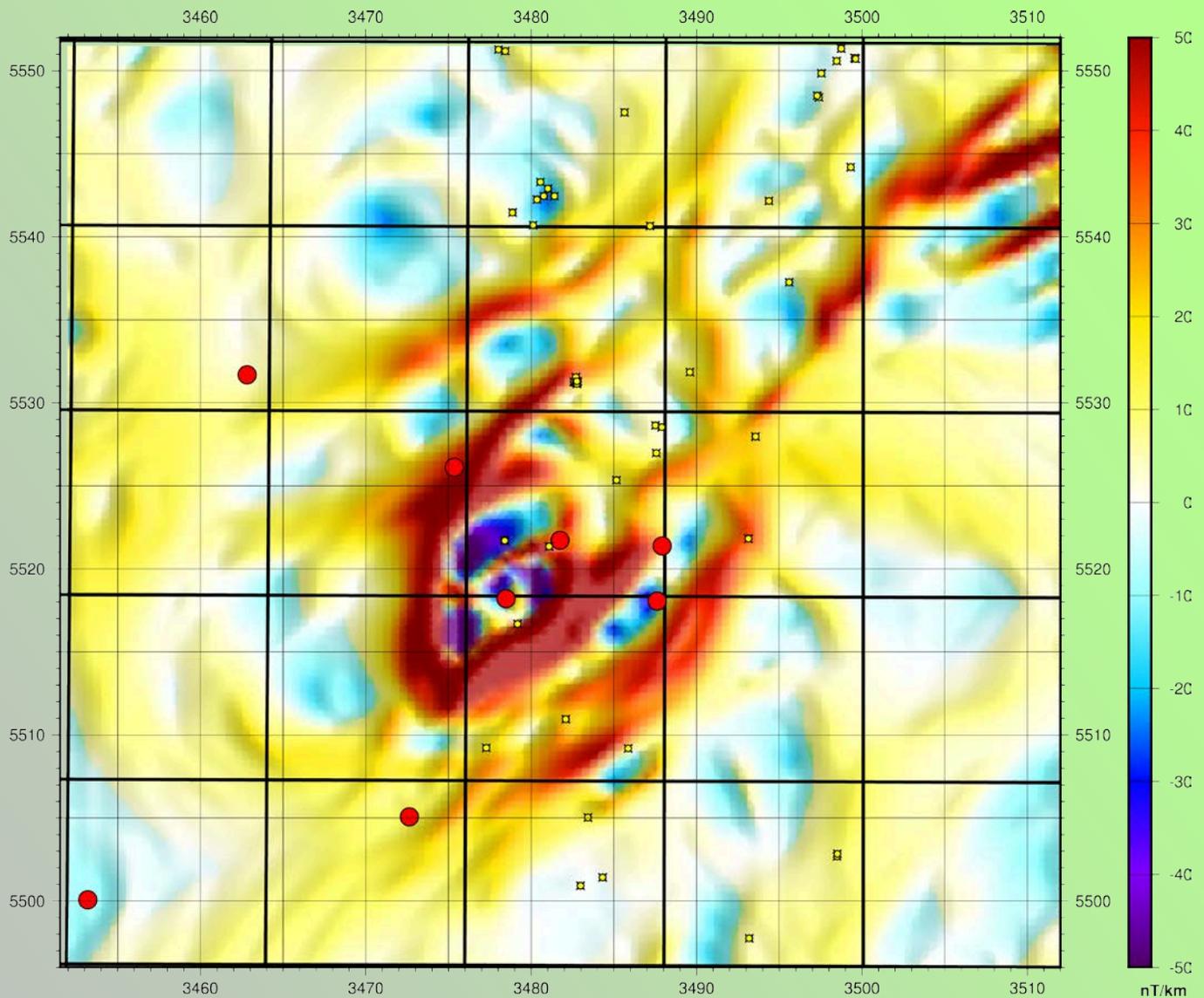
» Normalisierter Standardabweichungsfilter der RTP

» Der normalisierte Standardabweichungsfilter wird aus einer Kombination von standardabweichungsgefilterten RTP-Magnetfeldgradienten gewonnen.

» Er zeigt auch die sehr viel geringeren Änderungen im Magnetfeld.

- Tektonik
- Städte
- + Schweremesspunkte
- Dichtemessungen
- ★ Erdbebenlokationen
- TK Blätter
- ✦ Bohrungen

- » Ähnlich wie die Feldtransformationen kombinieren die Krümmungsfelder verschiedene Ableitungen des polreduzierten Magnetfelds. Sie sind jedoch etwas anders zu interpretieren, da hier die Krümmung des Potentials der Polreduktion analysiert wird. Da etliche Krümmungsgrößen definiert sind, werden aus dieser Vielzahl im Allgemeinen nur die größte und die kleinste verwendet.
- » Die lokale Form des Magnetfelds ist leicht aus der minimalen und maximalen Krümmung zu erfassen. Dies lässt sich am Beispiel eines Grabens verdeutlichen, der eine (betragsmäßig) große Krümmung in der Richtung der ihn überquerenden Brücke hat, senkrecht dazu jedoch eine Krümmung um Null besitzt.
- » Im Wesentlichen sind in den Krümmungen die gleichen Strukturen zu sehen wie auch schon in den Feldtransformationen. In der maximalen Krümmung scheint die Form der Anomalie eher kompakt mit zum Maximum ansteigenden Flanken, in der minimalen Krümmung ist die Süd-West/Nord-Ost Richtung dominant und stellt somit einen Rücken im Potenzialfeld dar.

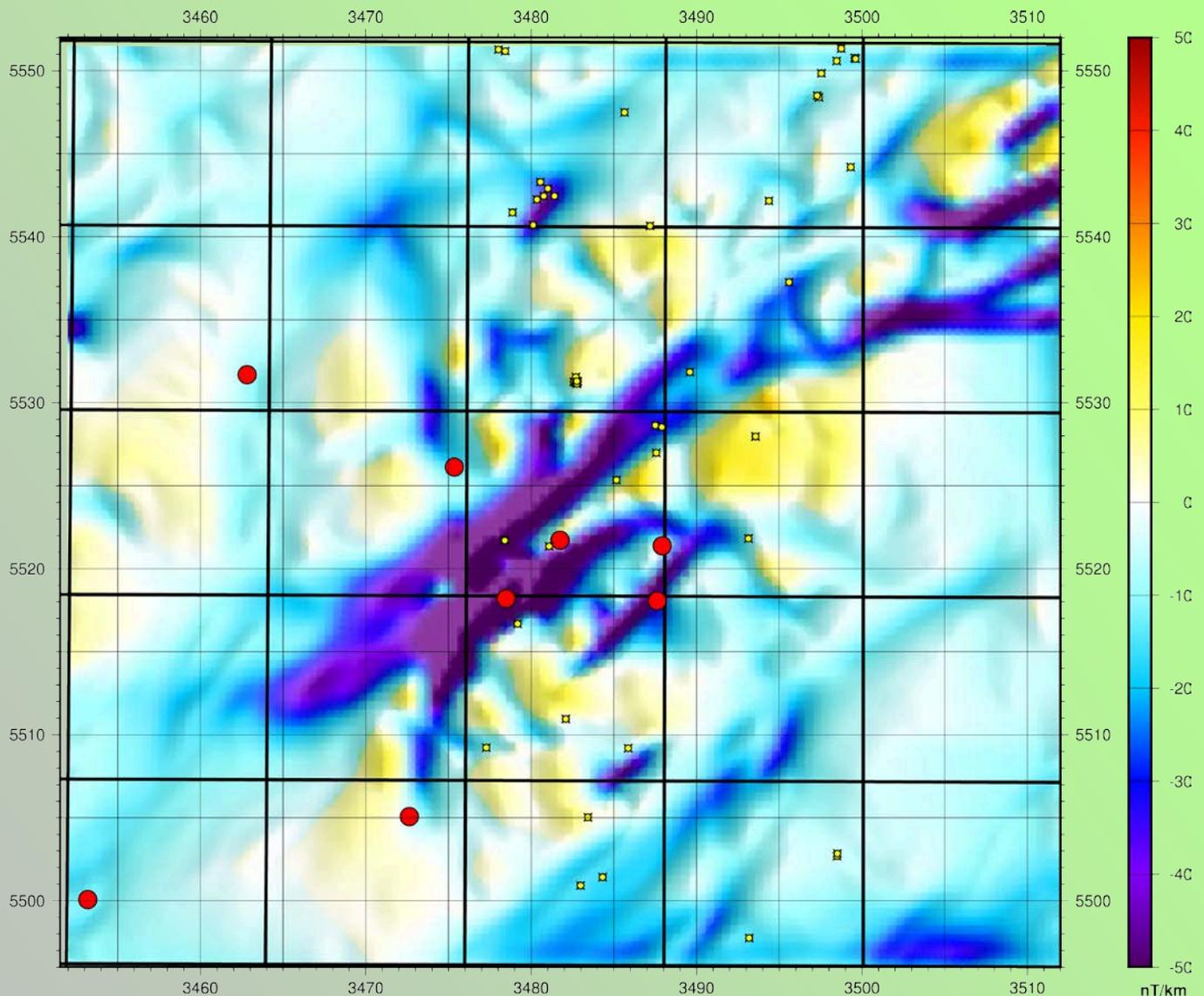


» Maximale Krümmung des polreduzierten magnetischen Potentials

» Die maximale Krümmung (des RTP-Potentials) hebt generell Störungen hervor.

» Sie steht senkrecht auf der minimalen Krümmung (siehe folgende Attributkarte).

- Tektonik
- Städte
- + Schweremesspunkte
- Dichtemessungen
- ★ Erdbebenlokationen
- TK Blätter
- ⊠ Bohrungen

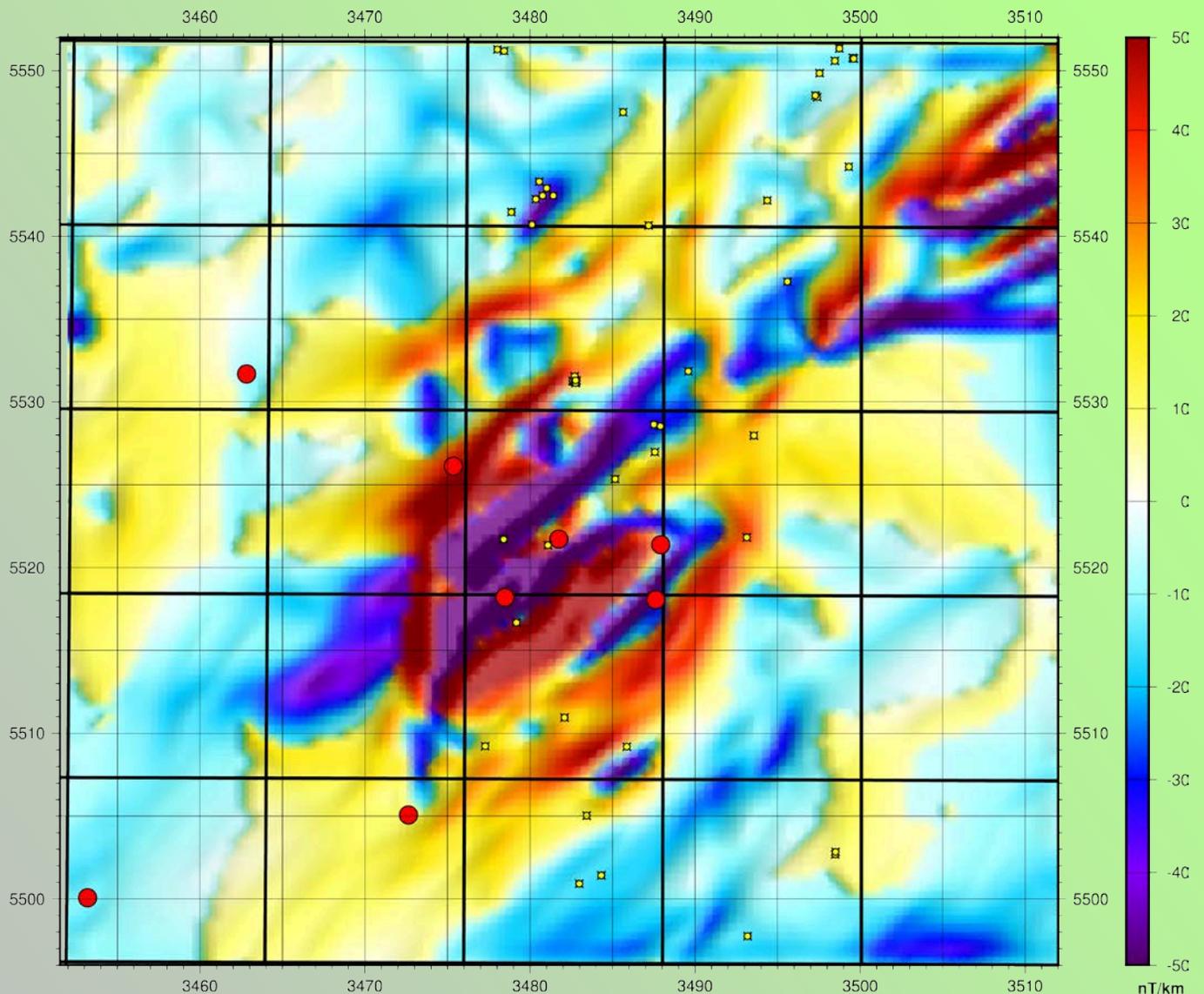


» Minimale Krümmung des polreduzierten magnetischen Potentials

» Die minimale Krümmung (des RTP-Potentials) hebt generell ebenfalls Störungen hervor.

» Sie steht senkrecht auf der maximalen Krümmung (siehe vorherige Attributkarte).

- Tektonik
- Städte
- + Schweremesspunkte
- Dichtemessungen
- ★ Erdbebenlokationen
- TK Blätter
- ⊠ Bohrungen

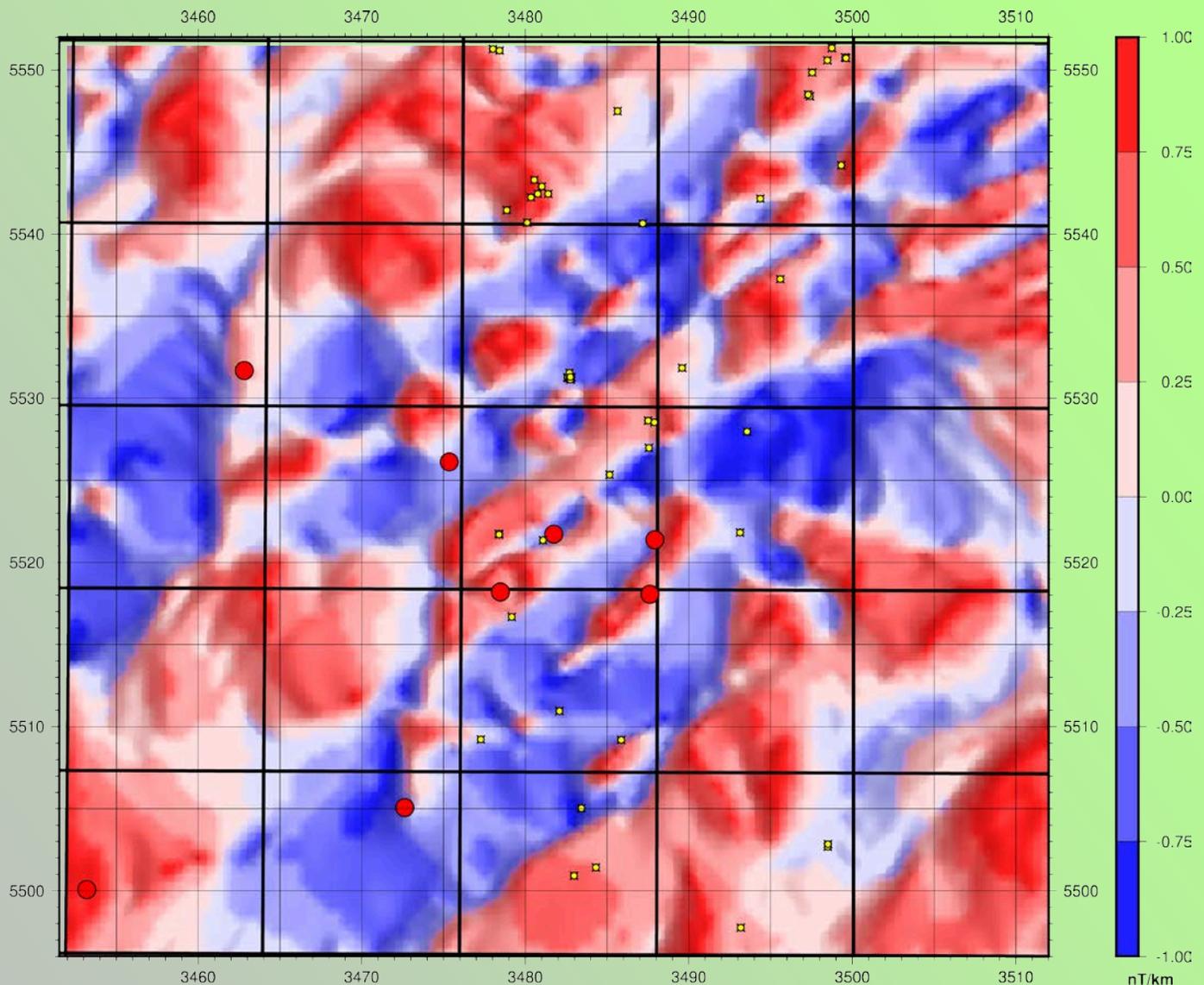


» Maximale Absolute Krümmung des polreduzierten magnetischen Potenzials

» Die maximale absolute Krümmung ist der größere der Absolutwerte aus minimaler und maximaler Krümmung.

» Große Störungen werden hier als nah beieinander liegende positive und negative Lineamente abgebildet. Täler und Berge im Feld werden dagegen als einzelne Farbe dargestellt.

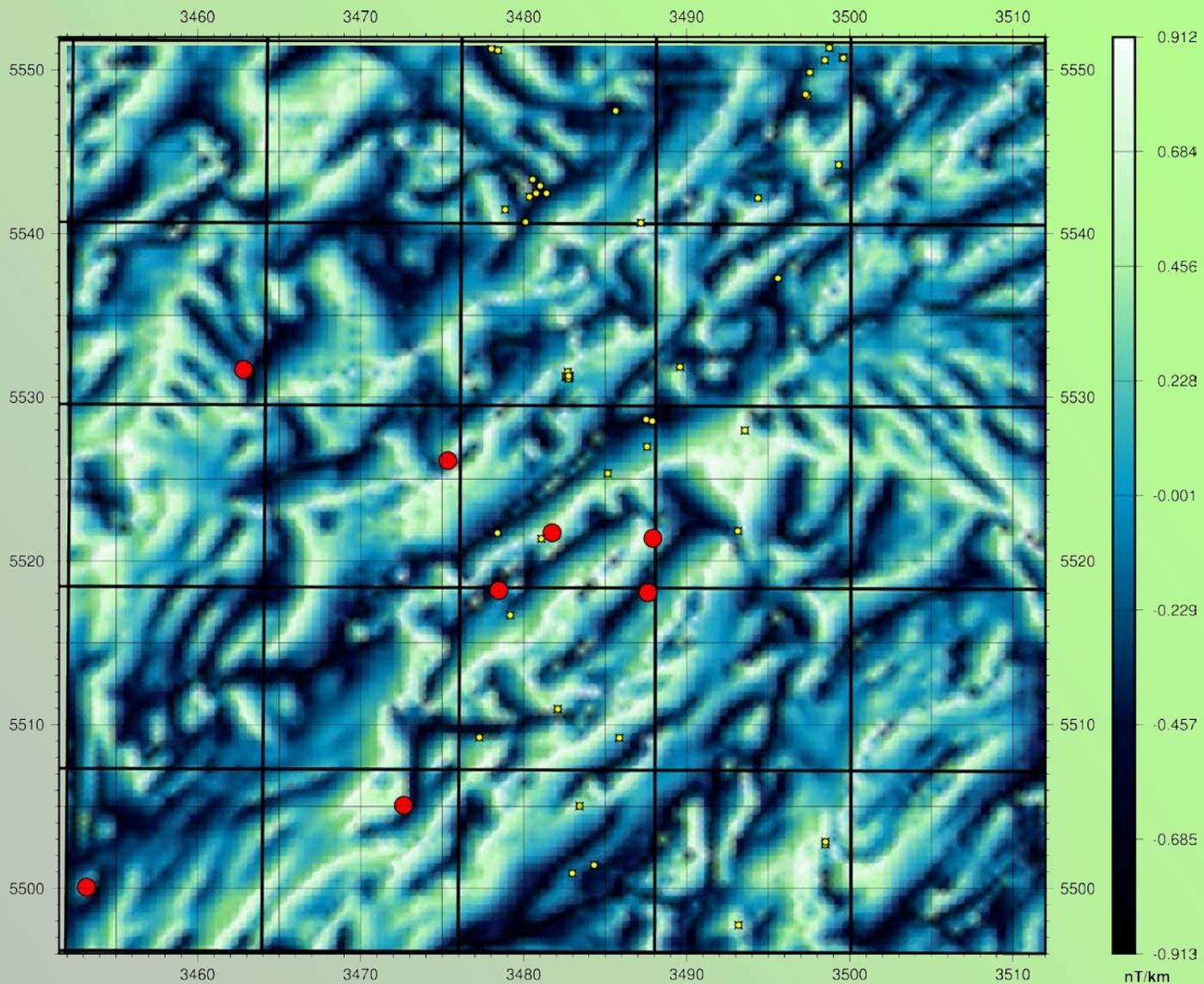
- Tektonik
- Städte
- + Schweremesspunkte
- Dichtemessungen
- ★ Erdbebenlokationen
- TK Blätter
- ⊠ Bohrungen



» Shape Index des Magnetfelds

- » Der Shape Index verdeutlicht, ob das Magnetfeld lokal eher wie
 - eine nach oben (-) bzw. unten (+) geöffnete Schale geformt ist (Absolutwerte um 1),
 - wie ein Tal (-) oder Höhenzug (+) (bei mittleren Absolutwerten) oder
 - eher flach ausgeformt ist (bei Werten um Null).

- Tektonik
- Städte
- ⊕ Schweremesspunkte
- Dichtemessungen
- ★ Erdbebenlokationen
- TK Blätter
- ⊠ Bohrungen

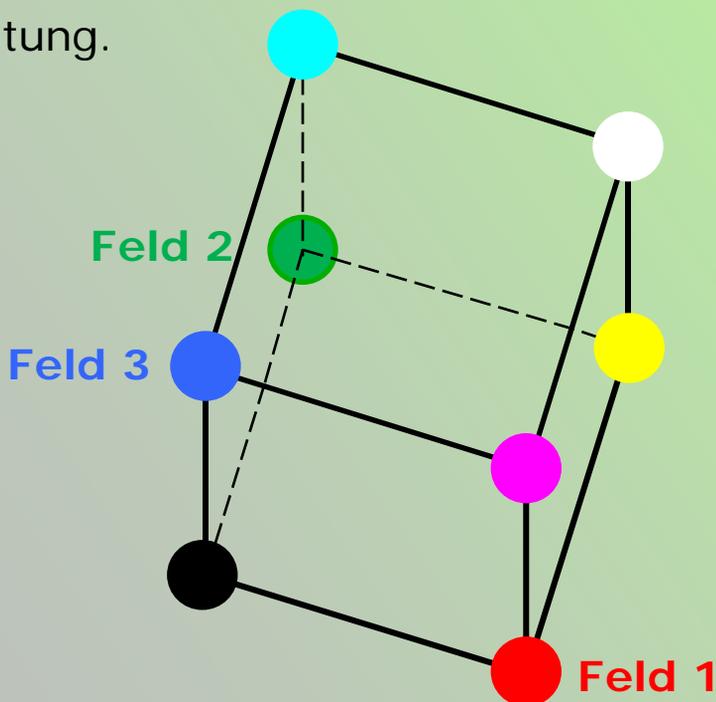


» Normalisierte Planare Krümmung des polreduzierten magnetischen Potentials

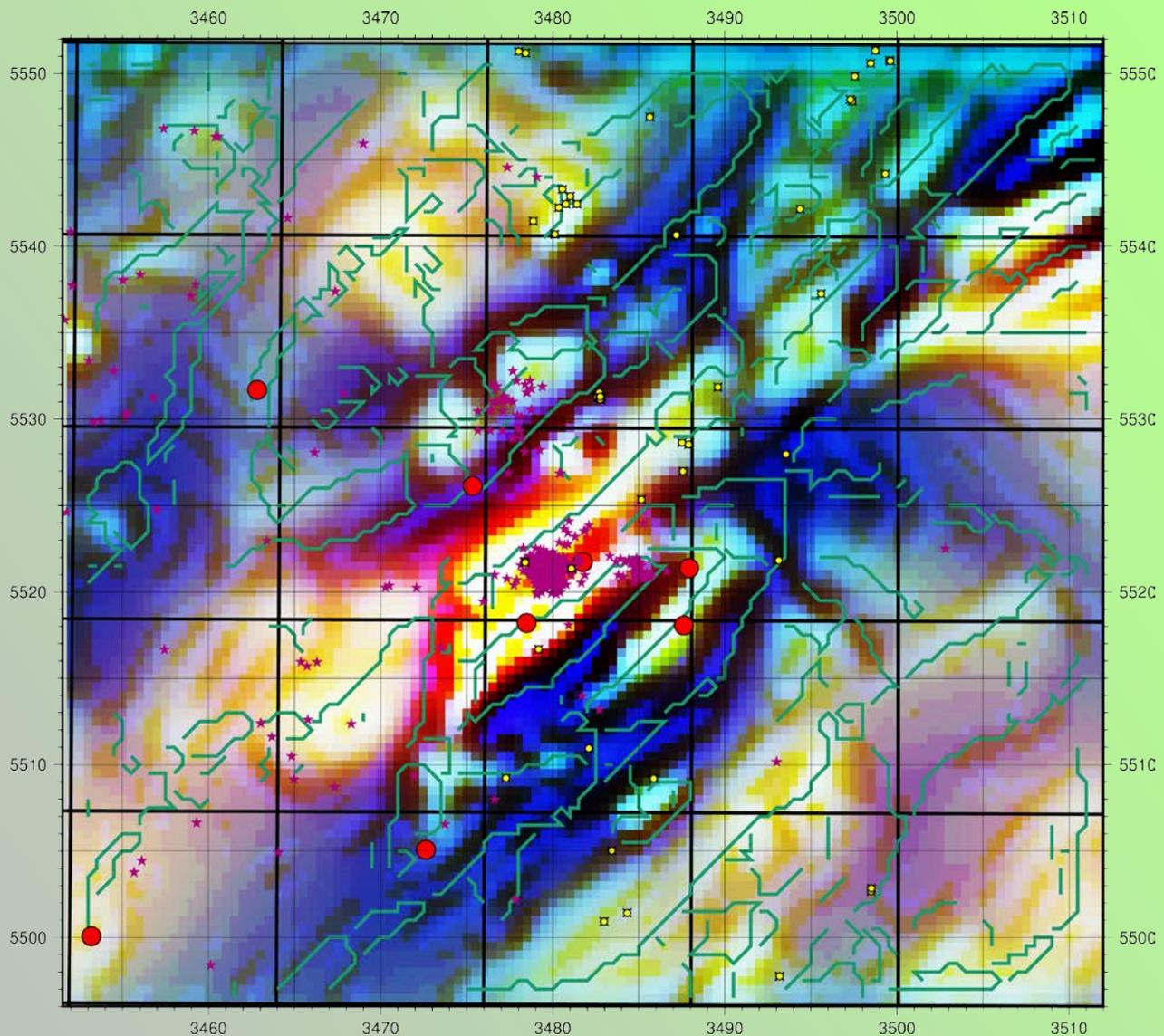
» Diese Krümmung hebt langgezogene Strukturen hervor. Lineare Feldanteile produzieren kleine Krümmungswerte. Durch die Normalisierung werden auch schwache Feldanteile deutlicher dargestellt.

- Tektonik
- Städte
- + Schweremesspunkte
- Dichtemessungen
- ★ Erdbebenlokationen
- TK Blätter
- Bohrungen

- » Neben Filtern, Feldtransformationen und Krümmungen gibt es noch Visualisierungen, die keiner dieser Kategorien zuzuordnen sind. Hilfreich kann z.B. eine kombinierte Darstellung von drei Feldern mit Hilfe der drei Farbfelder Rot-Grün-Blau sein. Physikalisch sinnvoll ist die Kombination eines Feldes mit seiner ersten und zweiten vertikalen Ableitung. Weiße Bereiche sind dann Bereiche, in denen sowohl das Ausgangsfeld als auch seine vertikalen Ableitungen Maxima besitzen. Umgekehrt sind dunkle Bereiche in allen drei Feldern durch Minima gekennzeichnet. Somit verdeutlicht eine solche RGB-Analyse sowohl die großräumigeren Strukturen als auch die sehr hochfrequenten Anteile der zweiten vertikalen Ableitung.



Dieser Farbwürfel verdeutlicht, wie die Farben in der RGB-Analyse zusammengesetzt sind. Der Vorstellung nach ist es ein Koordinatensystem mit x-, y- und z-Werten zwischen 0 und 1. Die drei Felder werden jeweils auf diesen Bereich normiert und dann als Koordinaten für die x-, y- und z-Achse verwendet. Die farblich markierten Ecken stellen demnach Extremfälle dar, wo alle drei Felder entweder 1 oder 0 sind. An den beschrifteten Eckpunkten wäre das genannte Feld 1, die anderen beiden 0. Cyan, Magenta und Gelb stellen Fälle dar, wo zwei Felder 1 sind und das dritte 0.



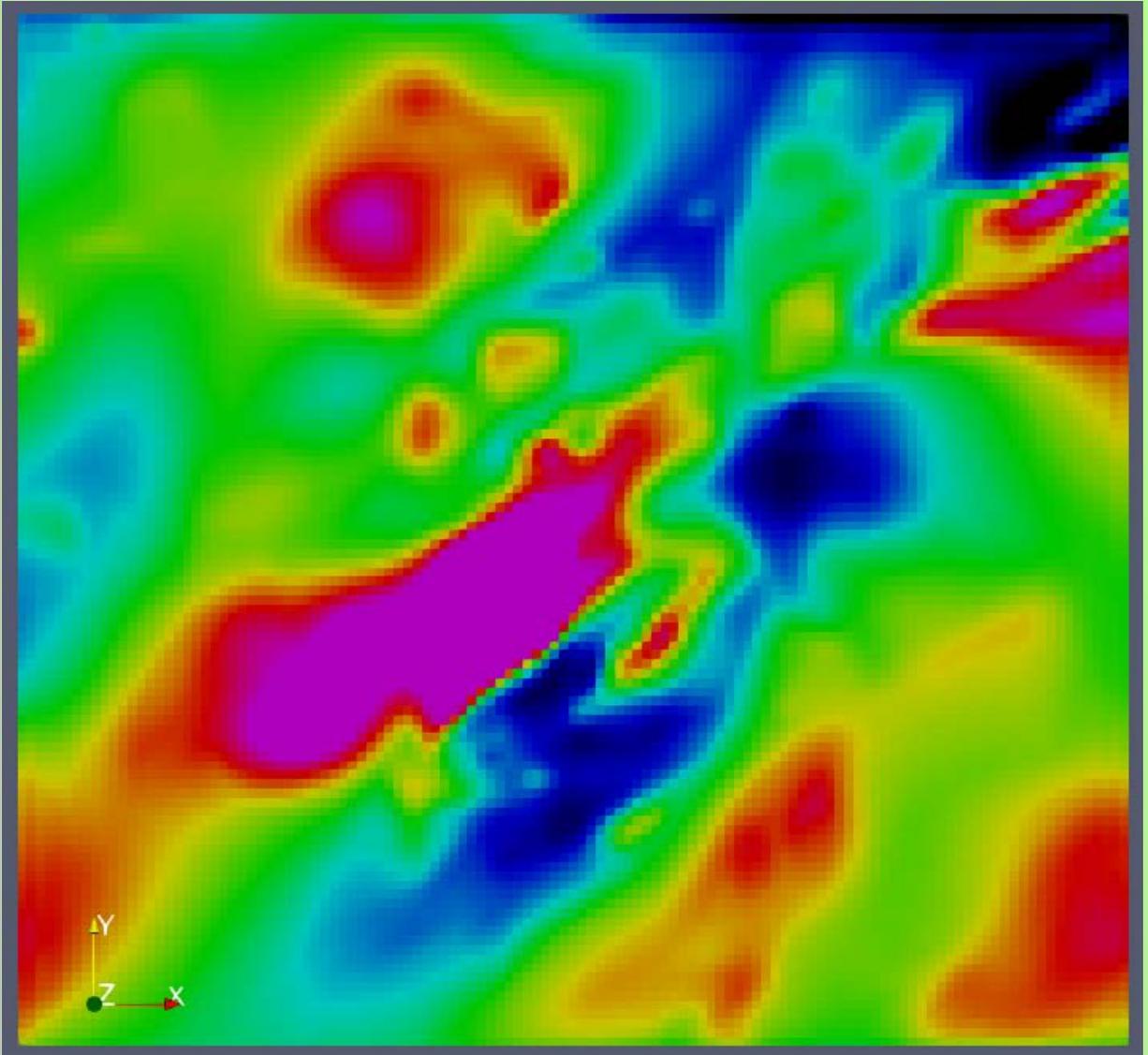
» RGB-Analyse der RTP

» In der RGB-Analyse werden für drei auf [0...1] normierte Parameter (hier RTP, RTP_z und RTP_{zz}) die Farben Rot, Grün und Blau genutzt. Für eine optimale Farbgestaltung werden sie Histogramm-equalisiert.

» Die aus dem Horizontalgradienten auto-bestimmten Lineamente (grün) korrelieren teilweise mit bekannten Strukturen

- Aus dem Shaded Relief bestimmte Kanten im Schwerfeld
- Städte
- ✚ Schweremesspunkte
- Dichtemessungen
- ★ Erdbebenlokationen
- TK Blätter
- Bohrungen

- » Auch die magnetische Karte wird im 3D-Modell zur Verfügung gestellt und kann dort mit allen anderen Modellobjekten zusammen dargestellt und verglichen werden. Hier gezeigt ist, wie oben für die Schwere, ein Vergleich mit den Umrissen der Oberflächengeologie. Da diese die gleiche Hauptrichtung hat wie die magnetische Karte, sind einige Korrelationen erkennbar.

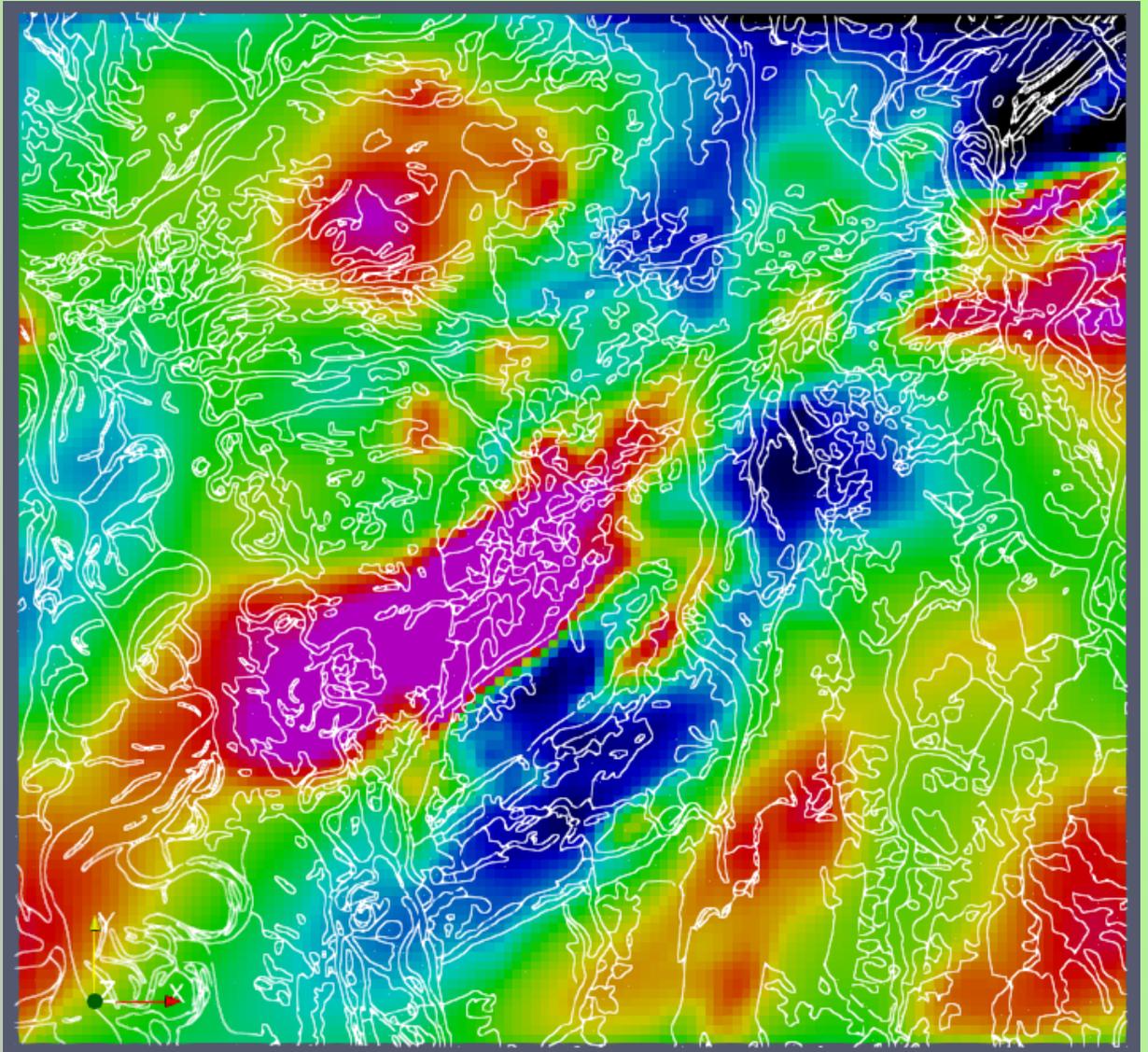


» Polreduziertes Magnetfeld im 3D-Modell

» Die bisher vorliegenden Daten sind in einem 3D-Modell zusammengefasst visualisiert worden, um sie besser zu verstehen.

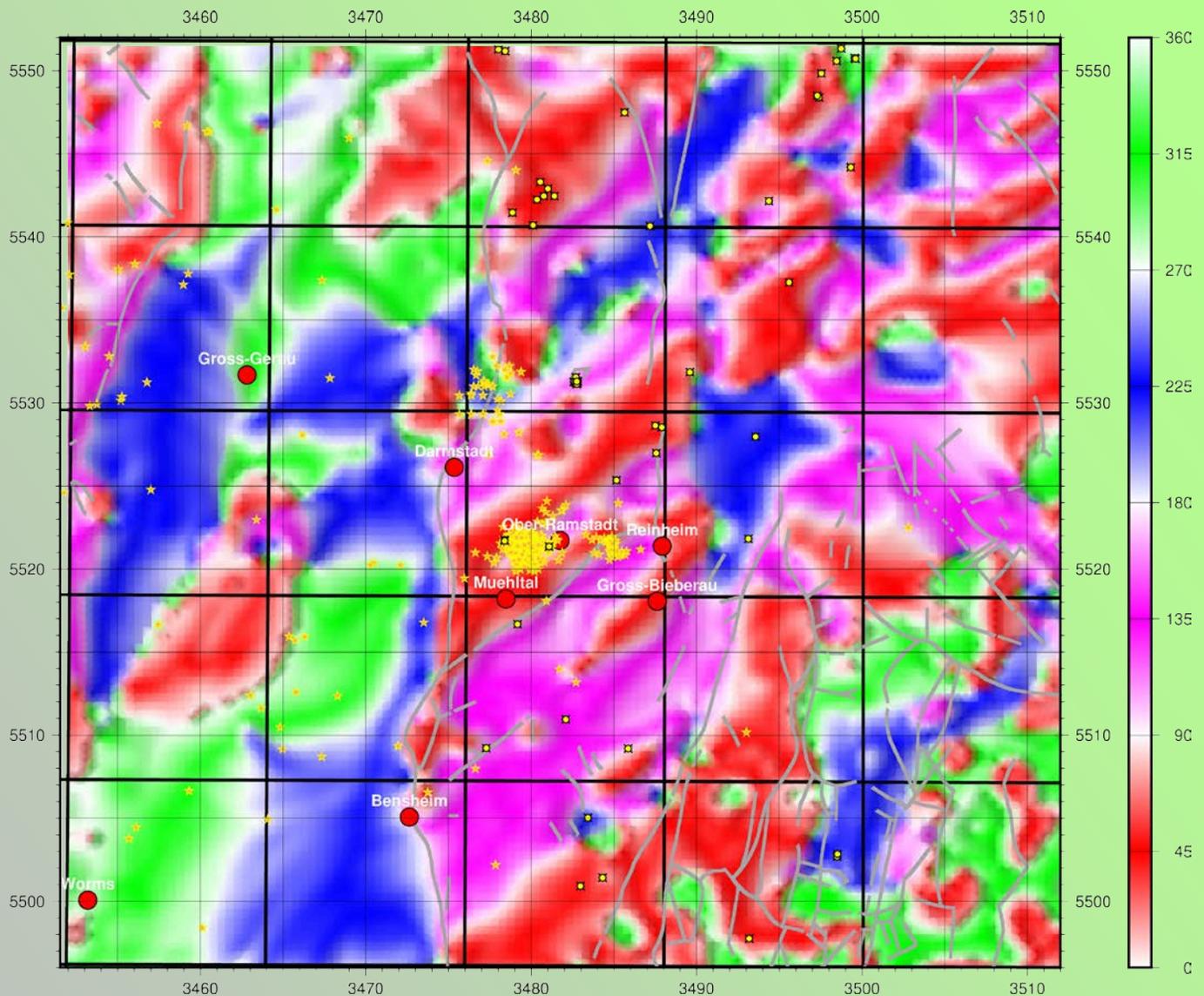
Hier gezeigt ist ein Snapshot des polreduzierten Magnetfelds, von oben betrachtet.

» Vergl. mit der folgenden Seite.



- » **Polreduziertes Magnetfeld im 3D-Modell, zusammen mit den Umrissen der geologischen Karte**
- » Legt man die Umriss der geologischen Karte über die RTP, so zeigt sich eine gute Korrelation mit dem zentralen Maximum und seinem Verlauf. Auch die sich nach Nord-Osten fortsetzende Struktur kann in der Oberflächengeologie verfolgt werden.

- » Es gibt zahlreiche Möglichkeiten Schwere und Magnetik gemeinsam darzustellen. Hier wird eine Grid-Korrelation der Tilt Derivatives von Bouguerschwere und polreduziertem Magnetfeld durchgeführt. Der Tilt Derivative hat den Vorteil, dass sein Wertebereich stets von $-90/+90$ Grad reicht und somit keine Probleme durch verschiedene Skalierungen auftreten. Zudem ist der Tilt Derivative meistens selbst schon eine gute Interpretationshilfe.

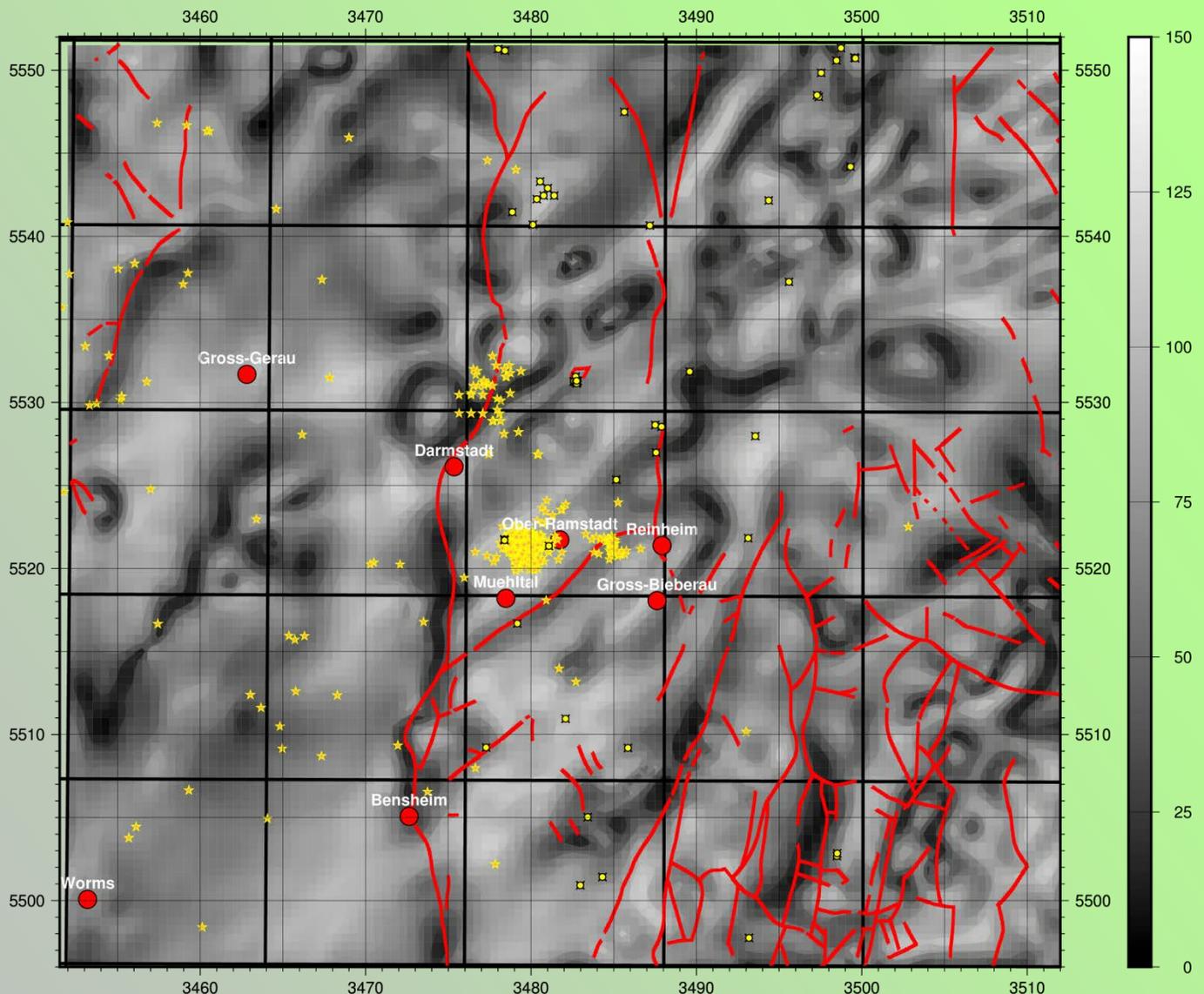


» Grid-Korrelation der Tilt Derivatives von Bouguerschwere und polreduziertem Magnetfeld

» In dieser Korrelation werden Bereiche farblich voneinander abgegrenzt:

- » • **Rot:** beide TDRs positiv
- **Blau:** beide TDRs negativ
- **Pink:** Schwere positiv, Magnetik neg.
- **Grün:** Magnetik positiv, Schwere neg.

- Tektonik
- Städte
- ✕ Schweremesspunkte
- Dichtemessungen
- ★ Erdbebenlokationen
- TK Blätter
- ⊠ Bohrungen



» Intensität der Grid-Korrelation der Tilt Derivatives von Bouguerschwere und polreduziertem Magnetfeld

» Hier werden Bereiche, in denen einer der Tilt Derivatives Werte um Null hat (und somit die Abgrenzung von positiven und negativem Bereich unsicherer ist) schwarz dargestellt. Weiße Werte zeigen Bereiche an, wo die Zuordnung sehr sicher ist.

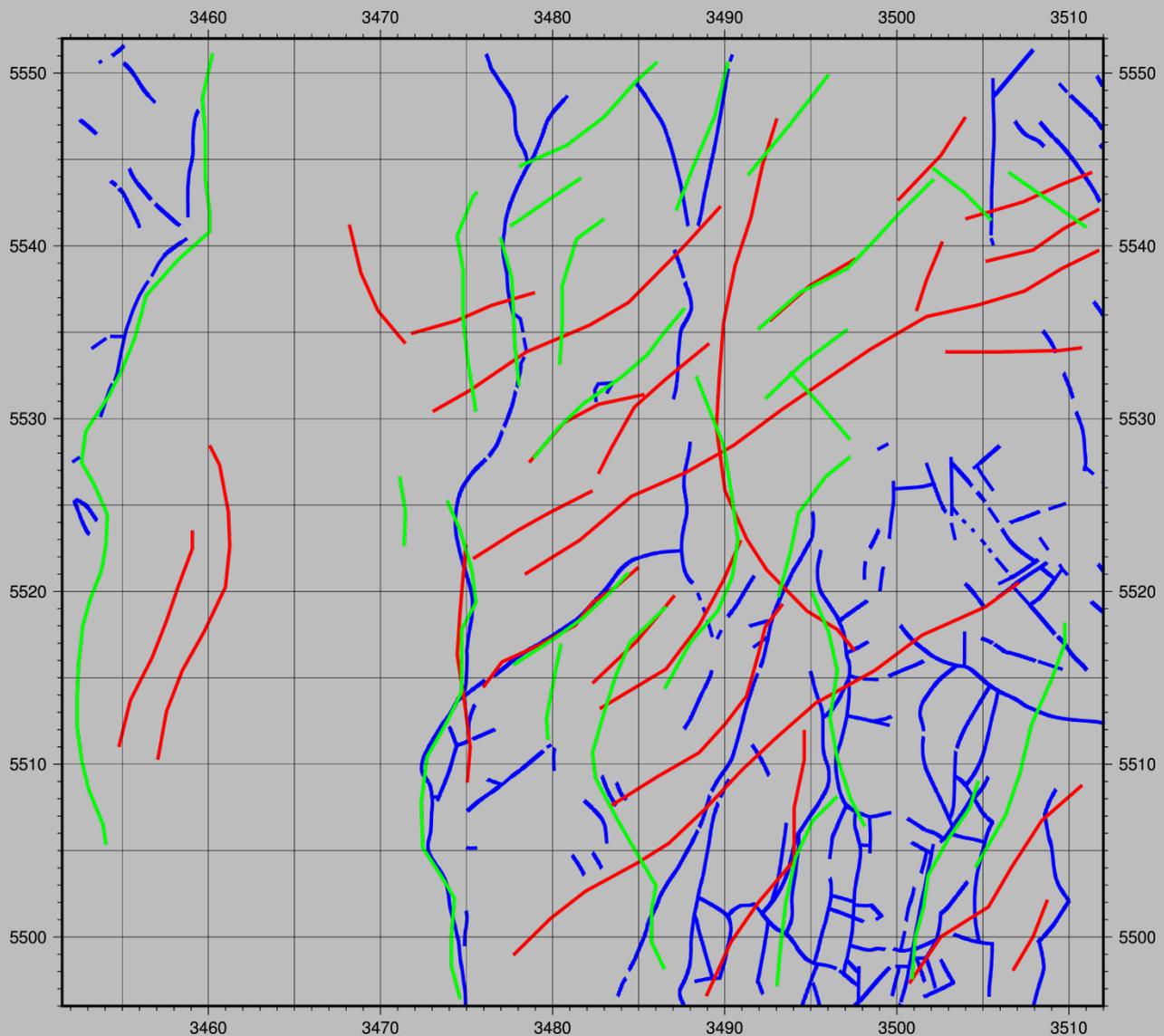
- Tektonik
- Städte
- + Schweremesspunkte
- Dichtemessungen
- ★ Erdbebenlokationen
- TK Blätter
- ⊠ Bohrungen

- » Aus den in diesem Dokument gezeigten Karten wurden Lineamente digitalisiert, die starke Gradienten in der Schwere bzw. Magnetik zeigen und somit auf hohe Dichte- oder Suszeptibilitätskontraste hindeuten. Sie sind im Appendix auf Seite 109 dargestellt und können als Overlay über die im Dokument gezeigten Karten gelegt werden.
- » Zwischen Schwere und Magnetik gibt es einige Korrelationen, jedoch besitzt das zentrale Maximum in der Schwere eine deutlich andere Form als in der Magnetik. Während es in der Schwere als ein Hoch mit dem Maximum bei Ober-Ramstadt erscheint, sind in der Magnetik zwei nebeneinander stehende Hochs mit Zentren westlich des Schweremaximums zu sehen. Aus diesem Grund wird eine gleichzeitige Modellierung basierend auf Schwere und Magnetik als schwierig angesehen.

- » Für die Interpretation lässt sich festhalten, dass die Quelle für das Schwerehoch wahrscheinlich nicht aus einem magnetisch homogenen Material ist, da sonst die Signatur in der Magnetik ähnlich der in der Schwere sein sollte. Jedoch können tektonische Prozesse die magnetischen Eigenschaften verändern, während die Dichteverteilung kaum verändert wird. Somit könnte ein Ausgangskörper mit vergleichbarer magnetischer Signatur existiert haben.
- » Außerdem rufen oberflächennähere Bereiche relativ zu tieferen stärkere magnetische Signale hervor als in der Schwere, weil das Magnetfeld mit der kubischen Distanz abfällt und das Schwerefeld nur mit der quadratischen. Aufgrund dieser unterschiedlichen Tiefenwirkung sind sich die Formen einer magnetischen und der zugehörigen gravimetrischen Anomalie meistens nur ähnlich, auch wenn Dichte- und Suszeptibilitätsverteilung vergleichbar sind. Es wäre daher denkbar, dass das Material, welches die Anomalien hervorruft, an den magnetischen Hochs sehr oberflächennah liegt, aber beim Schwerehoch die größte Mächtigkeit besitzt. Da die Unterschiede in der Anomalienform so groß sind, ist es wahrscheinlicher, dass es sich um einen dichten Körper mit inhomogenen magnetischen Eigenschaften handelt.

- » Die hier im Appendix bereitgestellte Seite zeigt die vorhandenen Lineamente aus der Tektonik sowie Interpretationen aus Schwere und Magnetik. Sie kann (innerhalb von PowerPoint) kopiert und über die in der Präsentation gezeigten Karten gelegt werden.

Lineamente (als Overlay)



- » **Lineament-Overlay zur Benutzung innerhalb der Präsentation**
- » **Blau:** Tektonik (aus vorhandener Datenbasis)
- » **Rot:** Lineamente aus der Magnetik (neu interpretiert)
- » **Grün:** Lineamente aus der Gravimetrie (neu interpretiert)

Hinweis zur Benutzung: Auf die Abbildung klicken, kopieren und auf beliebiger Karte (gleichen Maßstabs) einfügen