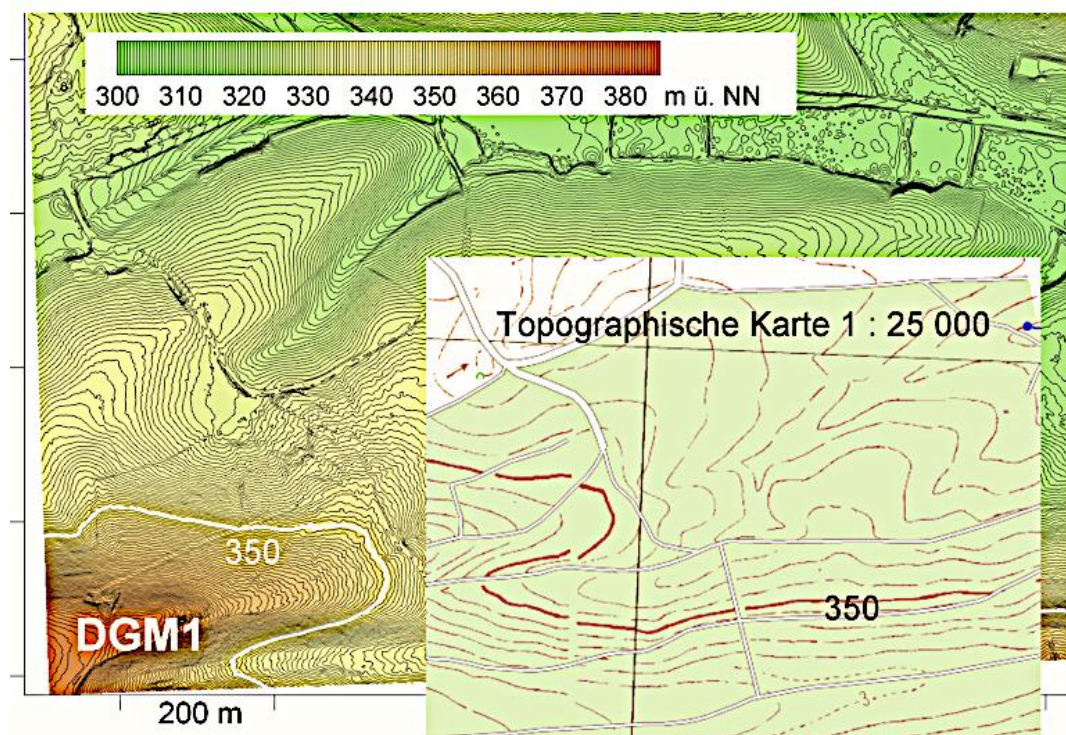


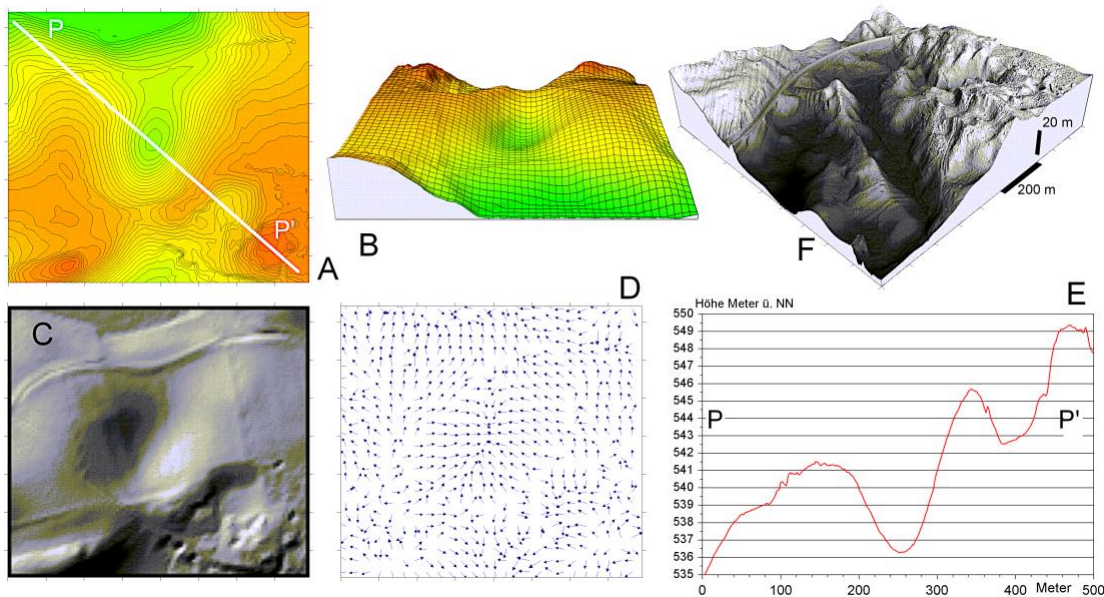
Eigenartigerweise besteht auch heute noch bei vielen Geologie- und Ingenieurbüros Unkenntnis über die generelle Nutzung und die vielfältigen Möglichkeiten des digitalen Geländemodells, wobei hier vor allen Dingen geologische und hydrogeologische Geländeaufnahmen angesprochen werden. Das DGM beschreibt die Geländeoberfläche mit Datensätzen eines dreidimensionalen Koordinatensystems mit Rechts (X)- und Hochwerten (Y) der üblichen Gauß-Krüger- oder UTM-Netze bzw. von geographischer Länge und Breite, sowie der Geländehöhe (Z) über NN an regelmäßigen Gitterpunkten. Die Daten werden aus einer Befliegung mit einem Laserscanning (LiDAR, engl. *light detection and ranging*) gewonnen, wobei aus den Primärsignalen des DOM (= digitales Oberflächenmodell) durch ein Datenprozessing alle Gebäude und die Vegetation herausgerechnet werden, sodass das DGM selbst in Waldgebieten die Oberfläche des Bodens sehr genau wiedergibt. Die Datensatz-Benennungen DGM1, DGM2, DGM5 beziehen sich auf die Gitterweite der Punktraster, wobei DGM1 ein 1m-, DGM2 ein 2m- und DGM5 wahlweise ein 5 m- oder 10 m-Raster zur Verfügung stellt. Die Lagegenauigkeit der Punkte beträgt beim DGM1 und DGM2 ca.  $\pm 0,5$  m bei einer Höhengenaugigkeit  $\pm 0,1-0,2$ m.. Die digitalen Datensätze für frei wählbare Kartenausschnitte können in der Regel per E-Mail von den Vermessungsämtern zu sehr moderaten Preisen und mittlerweile meist kostenlos bezogen werden. Zu bedenken ist, dass bei einem Quadratkilometer Fläche das DGM1 eine Million Datenzeilen liefert, was bei manchen Programmen, die den Datensatz weiter bearbeiten sollen, die maximal zulässige Zahl überschreitet und dazu rät, stattdessen besser das DGM2 zu ordern.

Es fragt sich, was man mit dem DGM anfangen kann, was im Folgenden an sehr einfachen Beispielen mit dem bekannten Programm SURFER für die Visualisierung algebraischer Flächen demonstriert wird, ehe dann reale geologische Situationen in der DGM-Analyse präsentiert werden.

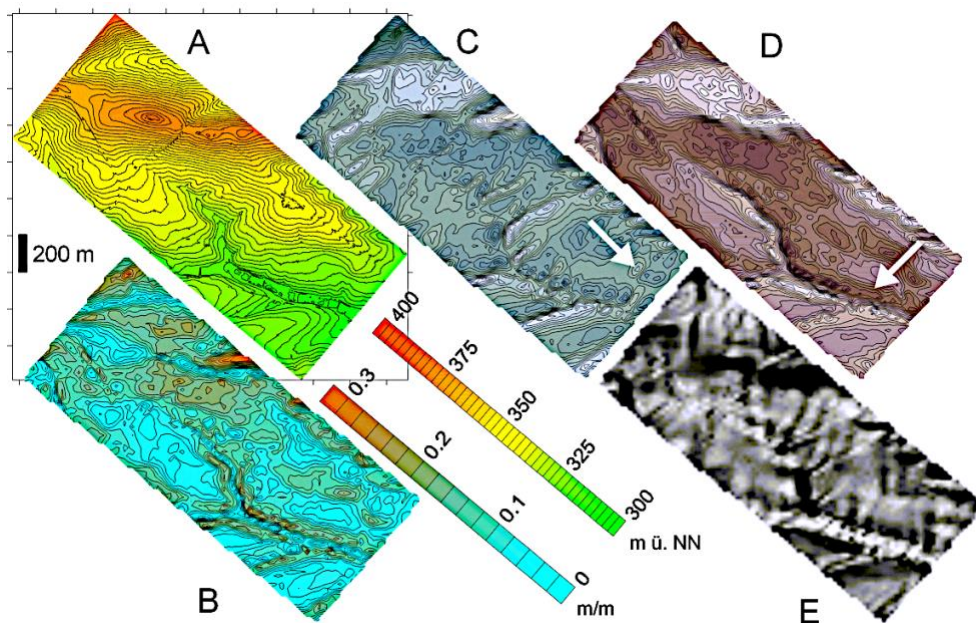
Alle nachfolgend in diesem Beitrag aufgeführten Graphiken, die sich auf das Digitale Geländemodell beziehen bzw. von diesem abgeleitet sind, verweisen auf diesen Quellenvermerk: *Grundlage: Digitales Geländemodell - Bayerische Vermessungsverwaltung; 12/15.*



**Abb. 1.** Vergleich der üblichen topographischen Karte 1 : 25 000 mit einer Karte des digitalen Geländemodells (Abstand der Isohypsen im DGM 0,5 m).



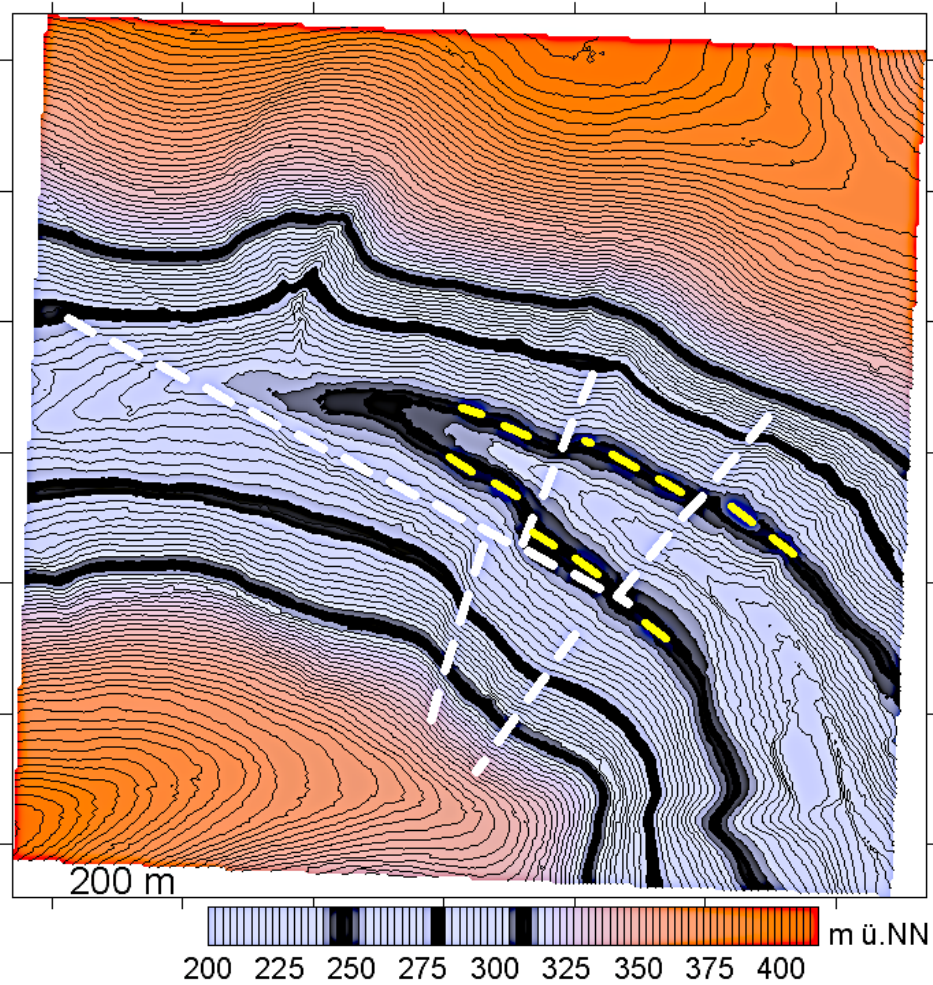
**Abb. 2.** Das DGM1 als topographische Karte mit frei wählbarem Abstand der Isohypsen, beliebig wählbaren Ausschnitten und beliebiger Farbskalierung (A); als 3D-Model mit frei wählbarer Beleuchtung und Perspektive, mit und ohne Gitter einstellbar (B); als Schummerungskarte mit frei wählbarer Beleuchtung (C, F); als Vektorkarte für Gefälledarstellungen, Richtung und Stärke (D); als Basis für präzise Höhenprofile (A, E). Bilder A - E: Moränen-Landschaft, offenes Acker-Gelände; Bild F: Moränen-Landschaft, dichtes Waldgebiet.



**Abb. 3.** DGM1 und Bearbeitung. A: Topographische Karte aus DGM1-Daten; Abstand der Isohypsen 2,5 m. B: Karte des berechneten Horizontalgradienten der Höhe = Gefälle des Geländes. 0,1 m/m entspricht 10 % Gefälle. C, D: Karten des richtungsabhängig berechneten Horizontalgradienten (nach 135° und 225°). E: Schummerungsversion der Karte in D. Man beachte das geometrische Muster, das die wesentlichen tektonischen Richtungen des Gebietes nachzeichnen dürfte. Äcker und Wald; Geologie: Keuper; Tonsteine, Sandsteine.

Abb. 3. stellt einen Ausschnitt der gewohnten topographischen Karte 1 : 25 000 (TK25) dem entsprechenden Blattschnitt des DGM1 gegenüber, den man sich selbst aus dem erworbenen Datensatz bei selbst gewählter Farbgebung erzeugen kann. Während in der normalen TK25 der Isohypsenabstand selten und dann nur im flachen Gelände 5 m unterschreitet, kann das Programm für die DGM1-Karte jeden beliebigen Isohypsenabstand bis hinunter zu den  $\pm 10$  cm der Höhenauflösung der Originaldaten bereitstellen. Damit fangen aber die Möglichkeiten des Programms erst an, was die folgenden Bilder mit einigen Beispielen einmal fürs Lockergestein und einmal fürs Festgestein zeigen. Während sich die Bearbeitungen der Felder in Abb. 2 allein auf den originalen Datensatz der Höhen ü. NN stützen, geht das Datenprozessing in Abb. 3 einige Schritte weiter. Ausgehend wiederum von der Karte der reinen Höhendaten (A), bringt B das Resultat einer mathematischen Operation, der Berechnung des Horizontalgradienten. Der Horizontalgradient beschreibt an jedem Punkt des Gitters, das für die Interpolation und die Isolinien-Konstruktion vorab aus den Originaldaten erzeugt wird, die größte Geländeneigung als Zahl. Aus diesen Zahlen entsteht sozusagen eine verfeinerte topographische Karte mit der Darstellung des Gefälles und seiner flächigen Veränderungen (Abb. B) mit einer neuen Skalierung in Meter/Meter. 0,1 m/m bedeuten dann einfach 10% Gefälle. Dann kann man das Programm veranlassen, bei der Gradientenberechnung an jedem Punkt nur in eine ganz bestimmte, frei wählbare Richtung zu schauen und den sogenannten gerichteten Horizontalgradienten und das Gefälle des Geländes nur in diese Richtung zu berechnen, woraus eine neue Karte entsteht. In Abb. C ist das für die "Blickrichtung" Südost, in Abb. D für die Richtung Südwest geschehen. Es ist ersichtlich - und zu erwarten - dass der gerichtete Horizontalgradient bevorzugt Geländestrukturen senkrecht zu der für die Berechnung gewählten Richtung betont. Orientieren sich Geländestrukturen dann an geologischen Gegebenheiten, so lassen sich sehr häufig geologische Streichrichtungen auffällig gut in den Gradientenkarten verfolgen. In bestimmten Variationen der Kartendarstellung kann sich daraus ein linienhaft-geometrisches Strukturmuster entwickeln, wie die Schummerungskarte in Abb. E mit dem Nachzeichnen des tektonischen Inventars deutlich macht.

Wenn Abb. 3 (E) aufzeigt, wie sich Geologie im DGM widerspiegeln kann, so liegt der Zusammenhang in den teilweise erheblichen Unterschieden in der Gesteinhärte, die sowohl lithologisch als auch tektonisch bedingt sein können. Greift die Erosion in Schichtpaketen mit abwechselnd weichen und harten Einheiten an, so leisten erstere weniger Widerstand, was vor allem bei stärker ausgeprägter Morphologie Geländestufen im Kontakt zu harten Gesteinen erzeugt. Versetzt eine tektonische Bewegung an einer Verwerfung weiche gegen harte Schichten, so resultieren linienhafte Geländestrukturen, die mit dem hochauflösenden DGM häufig rasch tektonisch interpretiert werden können. Auch Störungszonen mit Gesteinsauflockerung kann die Erosion bevorzugt angreifen und im DGM sichtbar machen.



**Abb. 4. DGM1: Topographie und Geologie, Abstand der Isohypsen 2,5 m. Einige interpretierte Verwerfungen (weiß) und ein Bezugshorizont (gelb). Mittlerer Buntsandstein mit einer Wechselfolge von Tonsteinen, Sandsteinen und Konglomeraten.**

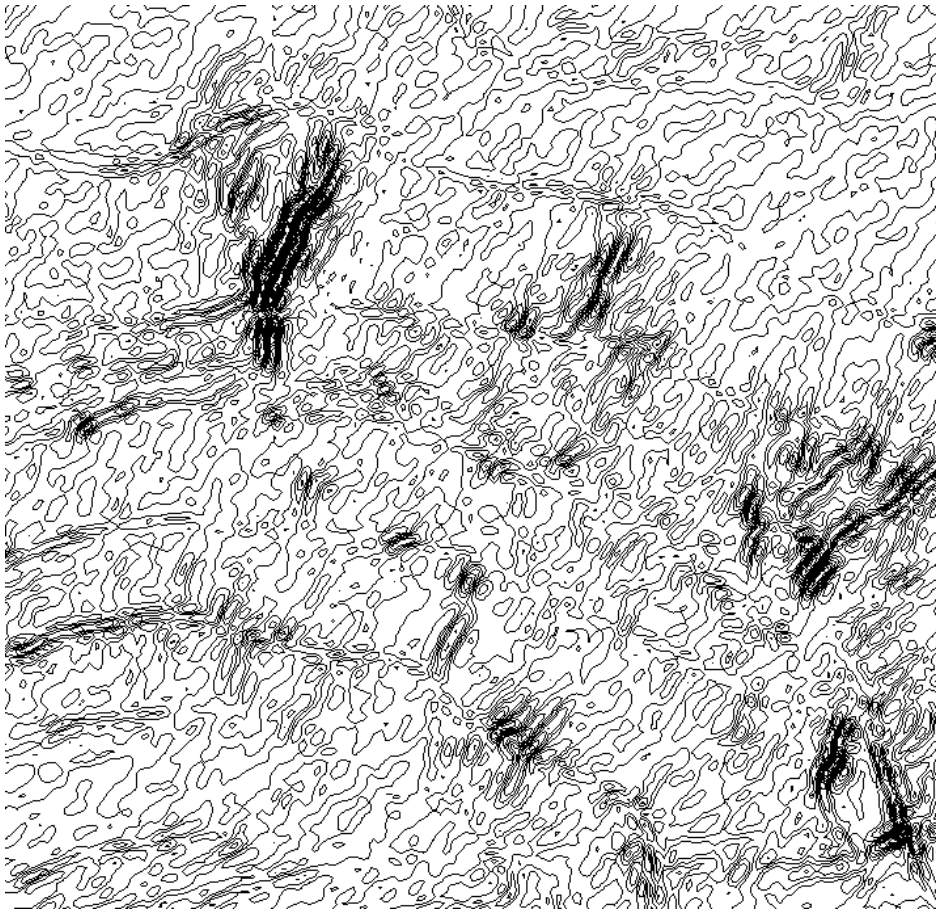


Abb. 5. Richtungs(SE)-gefilterte DGM1-Daten betonen Vorzugsrichtungen, die tektonisch oder generell morphologisch interpretiert werden können

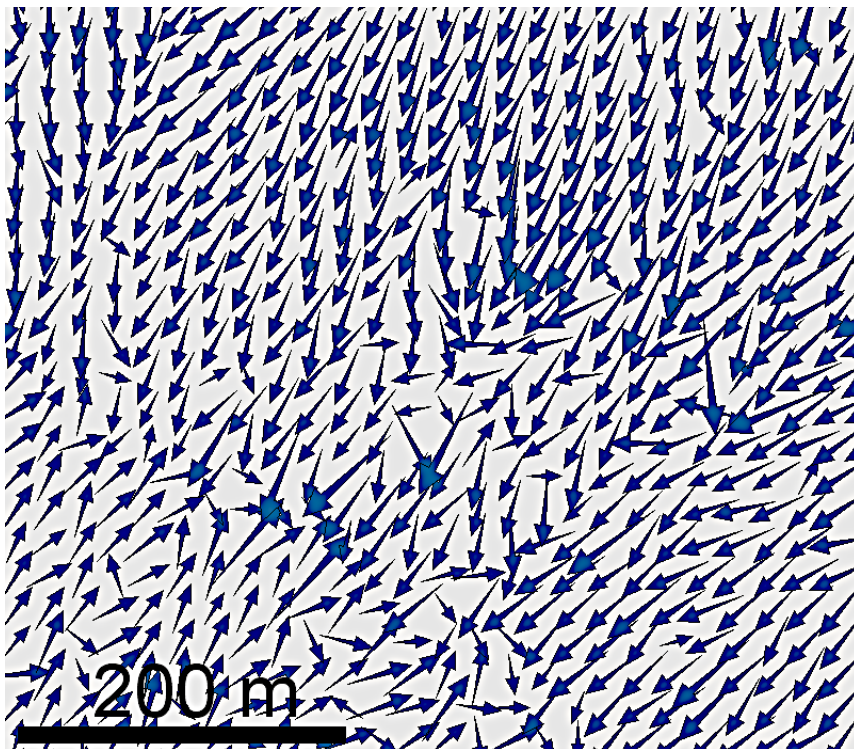
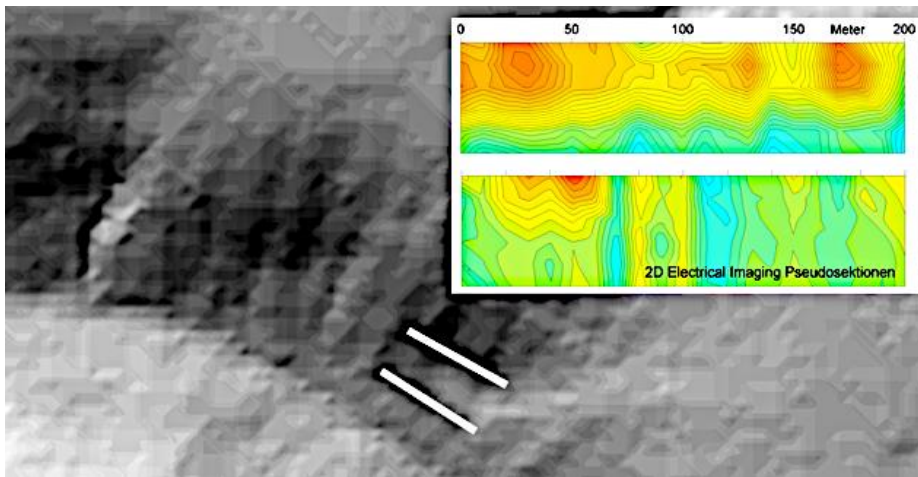


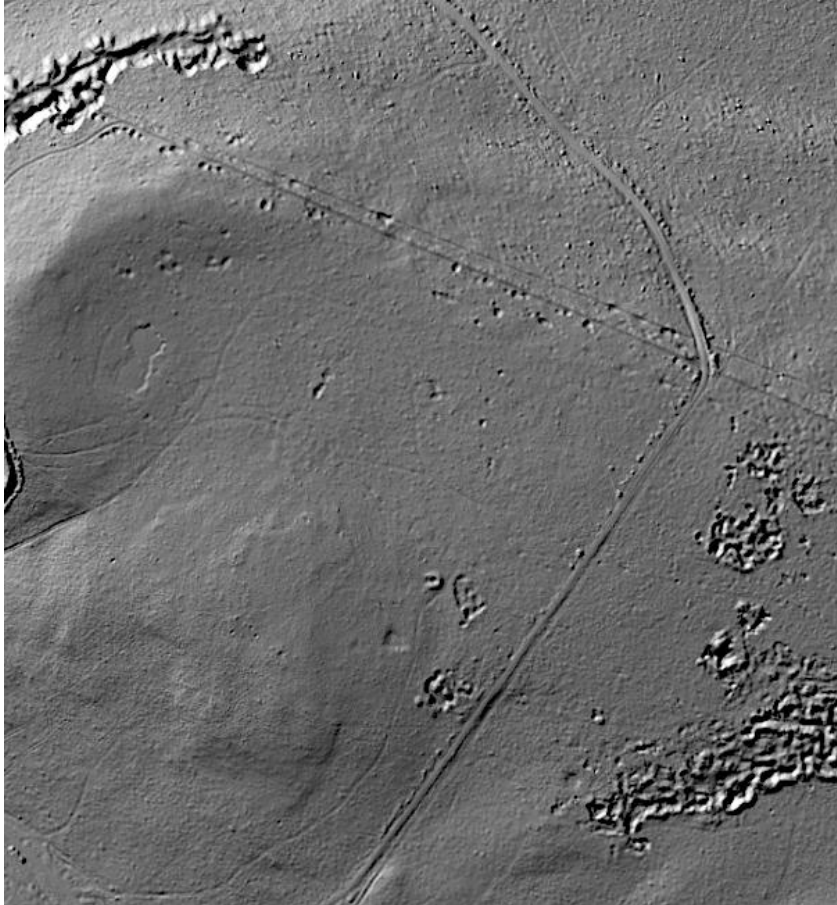
Abb. 6. Das digitale Geländemodell DGM1 als Vektorkarte. Die Vektorpfeile zeigen in Richtung des Gefälles, dessen Stärke mit der Vektorlänge korrespondiert. Der mittlere Bereich ist auch tektonisch stark gestört, was mit der Geophysik nachgewiesen wurde.

Die Möglichkeiten des Datenprocessing beim digitalen Geländemodell sind ungemein vielfältig, **verlangen aber auch eine gehörige Einarbeitung und Vertrautheit mit dem Programm.**, was vermutlich die meisten Geologen und Ingenieurgeologen immer noch beim DGM abschreckt.

Einige weitere Beispiele sollen das näher vermitteln. Die freie Wahl von Werte- und Farbskalierung (Abb. 4) mit Anwendung von Filterverfahren (Hochpässe, Tiefpässe, Richtungsfiler, Abb. 5), mit Vektorkarten, die dem Auge Besonderheiten der Morphologie besonders gut vermitteln können (Abb. 6), mit den genannten Berechnungen der horizontalen Ableitungen, variable 3D-Wiedergaben der Morphologie mit Schummerungseffekten (Abb. 7) sind auch für kleinere Geländeauschnitte praktikabel und können vorteilhaft für die Planung und Errichtung von Anlagen der oberflächennahen Geothermie eingesetzt werden. Geologische Risiken beim Abteufen und Installieren von Grundwasserwärmepumpen und Erdwärmesonden wie zum Beispiel Zonen intensiver Verkarstung (Abb. 8) oder Hangrutschungen (Abb. 9) sind insbesondere angesprochen.



**Abb. 7. Digitales Geländemodell DGM1 als Schummerungskarte. Das Streifenmuster dokumentiert schmale tektonische Blöcke, die auf querenden Profilen auch mit der Geophysik nachgewiesen werden (Einschub). Mehr zum Electrical Imaging in 3.6.1.**

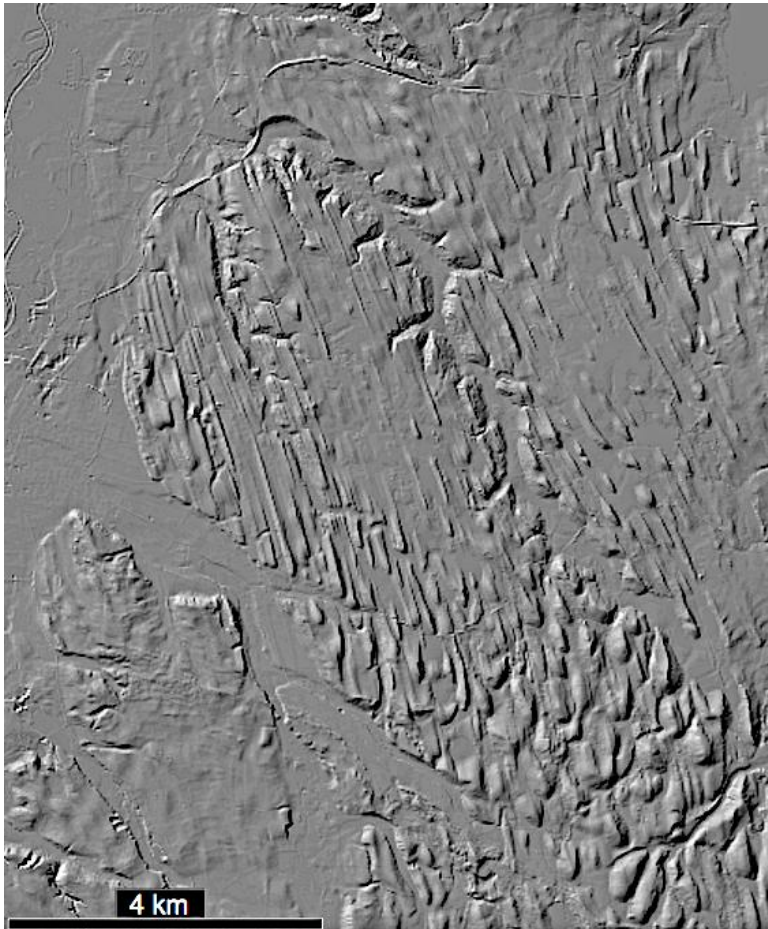


**Abb. 8. Schummerungskarte auf Basis des digitalen Geländemodells DGM1: Verkarstung im Jura mit Erdfällchen (Dolinen), Subrosionssenken und Trockentälern.**

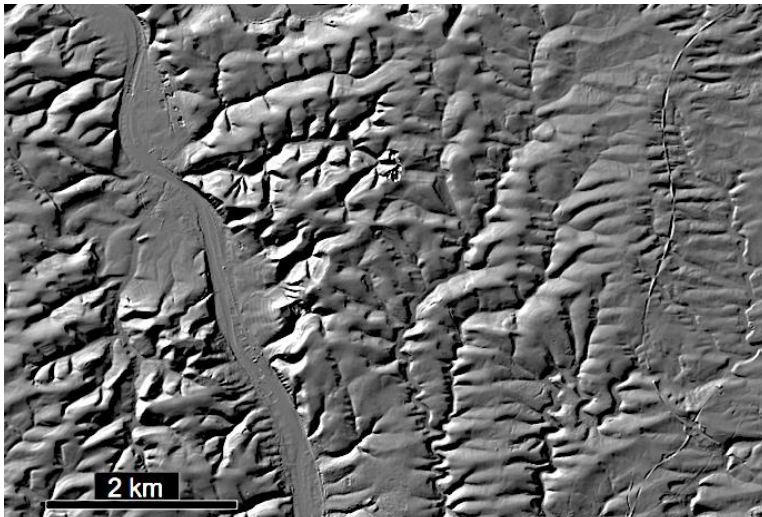


**Abb. 9. Hangrutsch in der Schummerungskarte des digitalen Geländemodells (DGM1).**

Vielfach geben bereits allein Schummerungskarten, die auf dem digitalen Geländemodell beruhen und zum Teil von den Vermessungsämtern frei verfügbar ins Internet gestellt werden, ganz wesentliche Informationen, zumal wenn man sie noch einer geeigneten Bildbearbeitung unterzieht. Was normale topographische Karten auch in Ansätzen nicht vermitteln, kann in Schummerungskarten sehr eindrucksvoll in Erscheinung treten (Abb. 10, Abb. 11).



**Abb. 10.** DGM1: Endmoränenlandschaft im Alpenvorland. In der topographischen Karte 1 : 25 000 sind die eigenartigen Geländeformen nicht annähernd zu erahnen.



**Abb. 11.** DGM1: Vermutlich tektonisch geprägte, richtungshaltende Geländeformen im Festgestein (Trias: Buntsandstein - Muschelkalk).

In vielen Fällen zeigt sich, dass DGM-Daten erhebliche Vorteile gegenüber einer Luftbild- oder Satellitenbild-Analyse von Fotolineationen besitzen. Abb. 12 zeigt dazu ein instruktives Beispiel mit einer Verwerfung, die extrem scharf als Boden- und Vegetationsgrenze im Luftbild erscheint, aber auch, eher leicht diffus, in der DGM-Schummerungskarte zu verfolgen ist. Das scheint der vorherigen Aussage zu widersprechen, solange man nicht Abb. 13 zur Kenntnis genommen hat. Dort

sind den beiden Aufnahmen der Abb. 12 zwei Luftbilder derselben Fläche hinzugefügt, die nur zu zwei anderen Zeitpunkten aufgenommen worden sind und auf denen die Verwerfungslinieation praktisch verschwunden ist. Hinzu kommt der DGM-Vorteil, dass selbst schwächste Morphologie-Lineationen auch in Wälder hinein zu verfolgen sind, wo die gewöhnliche Lineationsanalyse meist häufig versagt.

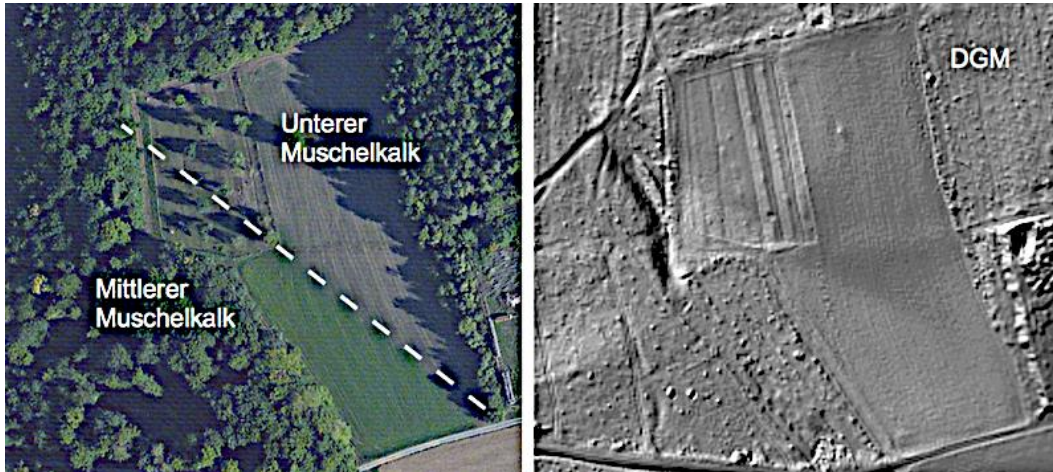


Abb. 12. Verwerfung als deutliche Fotolineation und in der Schummerungskarte des digitalen Geländemodells DGM1.



Abb. 13. Die Verwerfung von Abb. 12 im Luftbild zu unterschiedlichen Zeiten aufgenommen. Luftbild: Google Earth.