

# **Erdmassenberechnung mit Hilfe von digitalen Geländemodellen = Calcul de cubes de terrassement à l'aide de modèles numériques du terrain = Earth mass calculation with the help of digital site models**

Autor(en): **Holzhausen, K. / Venzin, K.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Anthos : Zeitschrift für Landschaftsarchitektur = Une revue pour le paysage**

Band (Jahr): **26 (1987)**

Heft 4: **Wie hältst du's mit der EDV? = Quelle va être mon attitude face à l'informatique? = What's your attitude to EDP?**

PDF erstellt am: **16.08.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-136259>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

## Erdmassenberechnung mit Hilfe von digitalen Geländemodellen

am Beispiel der Parkanlage bei der Universität Zürich-Irchel

K. Holzhausen, Landschaftsarchitekt BSLA, Atelier Stern und Partner, Zürich, in Zusammenarbeit mit dem Ingenieurbüro EIC Etudes d'Ingénieurs civils s.a., Zürich, Sachbearbeiter K. Venzin, dipl. Kulturingenieur ETH

---

**Erfahrungsgemäss stellt uns das Kubaturausmass grösserer Erdbewegungen immer wieder vor Probleme und erfordert einen oft stark unterschätzten Arbeitsaufwand. Mit Hilfe von digitalen Geländemodellen kann diese Arbeit wesentlich erleichtert werden, wie das Beispiel der Parkanlage Uni Irchel zeigt.**

---

### Die Ausgangslage

Beim Bau der Parkanlage in der Umgebung der neuen Universität Zürich-Irchel war es u. a. die Aufgabe der Landschaftsarchitekten, die von den verschiedenen Hoch- und Tiefbauten verursachten gewaltigen Mengen an Aushubmaterial innerhalb des Areals zur Modellierung der neuen Geländeform zu verwenden. Dazu waren Erdbewegungen in der Grössenordnung von 400 000 m<sup>3</sup> notwendig. Bei Beginn der Projektierungsarbeit lagerte das Aushubmaterial bereits auf verschiedenen grossen, provisorischen Deponien.

Die ersten groben Erdmassenberechnungen zur Überprüfung der Massenbilanz im Projektstadium und zur Ausschreibung wurden noch mit herkömmlichen Methoden (mit Polarplanimeter nach Höhenlinienplänen) gemacht.

Für die Bauarbeiten und die Unternehmerabrechnung war aber eine Methode notwendig, die folgenden Anforderungen genügen musste:

1. Genügende Genauigkeit und Transparenz sowohl in den Geländeaufnahmen (Ausgangslage vor Beginn der Arbeiten, Zwischenzustände mit Zwischendeponien, Endzustand) als auch im rechnerischen Ergebnis, um von Unternehmer, Bauleitung und Bauherrn anerkannt zu werden.
2. Möglichkeit, mehrere Etappen und Arealteile getrennt zu erfassen und zu berechnen.
3. Aufwand für Geländeaufnahmen und Berechnungen mussten in einem vernünftigen Verhältnis zur Abrechnungssumme und zum Bauleitungshonorar stehen.

Das Ausmass nach Fuhrscheinen erfordert eine permanente Kontrolle, und auf kurze Distanz direkt verschobene Massen werden nicht erfasst. Die klassische Methode der Kubaturberech-

## Calcul de cubes de terrassement à l'aide de modèles numériques du terrain

illustré par le projet de la zone de verdure et de repos de l'université de Zurich-Irchel

K. Holzhausen, architecte-paysagiste BSLA de l'Atelier Stern et Partenaires à Zurich, en collaboration avec R. Kronig, ingénieur du génie rural EPFZ du bureau d'ingénieurs EIC – Etudes d'ingénieurs civils SA – à Zurich

---

**Le calcul des cubes de terrassement de grands mouvements de terre pose toujours des problèmes et nécessite un travail dont l'importance trop souvent sousestimée. L'exemple du parc de l'université Irchel démontre que des logiciels de terrain peuvent apporter une aide précieuse pour faciliter cette tâche.**

---

### Situation de départ

Lors de la construction de la zone de verdure proche de la nouvelle université de Zurich-Irchel, une des tâches des architectes-paysagistes a été d'utiliser les énormes masses de terre excavées pour les diverses constructions et bâtiments, afin de modeler la nouvelle forme du site. A cet effet, près de 400 000 m<sup>3</sup> de mouvements de terre étaient nécessaires. Au début des études, les matériaux d'excavation se trouvaient déjà sur différents grands dépôts provisoires.

Les premiers calculs de mouvements de terre pour contrôler le bilan des masses au niveau de l'avant-projet, ainsi que pour établir les appels d'offres, furent encore effectués à l'aide de méthodes conventionnelles (planimètre polaire, plans avec courbes de niveau). Pour les travaux d'exécution et les décomptes de l'entrepreneur, il était cependant nécessaire de disposer d'une méthode répondant aux exigences suivantes:

1. Précision et transparence suffisantes, aussi bien pour les levés sur le terrain (situation avant le début des travaux, éventuels états intermédiaires, état final) que pour les résultats des calculs, de façon à être acceptée par l'entrepreneur, la direction des travaux et le maître de l'ouvrage.
2. Possibilité de saisir et de calculer séparément plusieurs étapes et plusieurs parties du site.
3. Les frais pour les levés du terrain et les calculs devaient être raisonnables, en relation avec le décompte final et les honoraires de la direction des travaux.

Un mètre selon bordereau de livraison exige un contrôle permanent. De plus, les masses déplacées sur de courtes distances ne sont pas saisies. La méthode classique de calcul de cubes sur

## Earth mass calculation with the help of digital site models

taking the grounds of the park at the University of Zurich-Irchel

K. Holzhausen, landscape architect BSLA, Atelier Stern und Partner, Zurich, in collaboration with the civil engineering firm EIC Etudes d'Ingénieurs civils S.A., Zurich, Project worker K. Venzin, dipl. Kulturingenieur ETH

---

**Experience shows that measuring the cubature of big earth movement schemes frequently presents us with problems often involving a greatly underestimated effort. With the help of digital site models, this work can be greatly facilitated as the example of the grounds of the park at the University of Zurich-Irchel proves.**

---

### The initial situation

When laying out the grounds of the park surrounding the new University of Zurich-Irchel, one of the landscape architects' many tasks was to utilise the enormous quantities of excavation material resulting from the various construction projects to model the new terrain form within the site. This required earth movements involving some 400 000 m<sup>3</sup> of soil. When the planning work for this began, the excavated material was already stored on various large, temporary dumping sites.

The first rough earth mass calculations for checking on the masses involved in the project stage and for the call for tenders were still made using traditional methods (with a polar planimeter in accordance with contour line plans).

However, for the construction works and when preparing the contractor's statement of account, it was necessary to have a method which had to satisfy the following requirements:

1. Adequate accuracy and transparency, both in the site surveys (initial situation prior to commencing work, intermediate situation with temporary dumps, final state) and in the calculation results in order to ensure acceptance by the contractor, the supervisor of work and the building sponsor.
2. Possibility of recording and calculating several stages and parts of the site separately.
3. The expenditure for site surveys and calculations had to be in a sensible relation to the sum total of the account rendered and the building supervisor's fee.

Measuring on the basis of lorry drivers' dockets involves keeping a permanent check, and those masses shifted directly over a short distance are not included. The classical method of

nung anhand von Querprofilen bringt bei einfachen und überschaubaren Problemen wohl noch befriedigende Resultate, scheitert aber an topographisch schwierigen Geländeformen mangels Genauigkeit.

Die Steigerung der Genauigkeit erfordert aber einen unverhältnismässig hohen Arbeitsaufwand (Feld- und Rechenarbeit). Das zur Volumenberechnung anfallende Datenmaterial erreicht sehr rasch die Grenze, wo sich die elektronische Datenverarbeitung geradezu aufdrängt.

Das hier vorgestellte Programmpaket zur Bearbeitung topographischer Probleme erfüllt unter anderem alle oben genannten Anforderungen.

### Die Methode

Grundlagen der Volumenberechnung sind entweder die Felddaten, die mit selbstregistrierenden Tachymetern gewonnen und mit Hilfe der entsprechenden Programme zu dreidimensionalen Koordinaten umgewandelt werden, oder ab Plan digitalisierte Punkte bzw. Höhenkurven. Ein Programmabstein generiert aus diesem unregelmässigen Punkthaufen ein rasterförmiges digitales Geländemodell (DGM), indem die Geländeform in der Nachbarschaft jedes Rasterpunktes durch eine räumlich gekrümmte Fläche approximiert wird. Dadurch ist die Geländeform mathematisch bestimmt und die Höhe des Ra-

la base de profils en travers donne encore des résultats satisfaisants pour des problèmes simples et maîtrisables. Elle ne donne cependant plus satisfaction lorsque la topographie du terrain est compliquée, en raison de son manque de précision.

Une précision accrue entraîne pour sa part un surcroît de travail (levés et calculs) non linéaire. Le volume de données nécessaire pour calculer les masses déplacées atteint très vite la limite à partir de laquelle un traitement informatisé s'impose.

Le paquet de logiciels présenté ci-après remplit toutes les conditions énumérées plus haut pour traiter les problèmes topographiques.

### La méthode

Les données de base pour le calcul des volumes sont, soit les données levées sur le terrain à l'aide de tachéomètres enregistreurs, données transformées en coordonnées à trois dimensions grâce aux logiciels correspondants, soit les points, resp. les courbes de niveau, numérisés à partir de plans. Partant de ce paquet irrégulier de points, un module de programme génère un modèle numérique du terrain (DGM) en forme de réseau maillé, la forme du terrain aux environs des nœuds du réseau étant «arrondie» à l'aide d'une surface spatiale incurvée.

De ce fait, la forme du terrain et la hau-

cubature calculations on the basis of cross-sections still probably gives satisfactory results in the case of simple and readily surveyable problems, but is useless for topographically difficult terrain forms on account of its lack of accuracy.

However, increasing the accuracy requires a disproportionately large amount of work (field and calculation work). The data material collected for the volume calculations very rapidly reaches the limit where electronic data processing becomes virtually inevitable.

The program package presented here for processing topographical problems fulfils, among other things, all the requirements mentioned above.

### The method

The bases for calculating the volume are either the field data, which are obtained using self-registering tachymeters and converted into three-dimensional coordinates with the help of appropriate programs, or dots and contour lines digitalised from the plan. A program module generates a raster-like digital terrain model (DTM) from this irregular collection of dots by approximating the terrain form in the vicinity of each raster dot by a curved area. By this means the site form is determined mathematically and the height of the raster dot established. The irregular heap of dots is thus transformed into a



Abb. 1: Luftbild des auf den Abbildungen 2–4 dargestellten Geländeausschnittes der Parkanlage bei der Universität Zürich-Irchel, Zustand 1985 nach Vollendung der Erdbewegungen.

Foto: Comet Zürich

Fig. 1: Photo aérienne de la partie de terrain que présentent les illustrations 2 à 4 du parc à proximité de l'Université de Zurich-Irchel. Situation telle qu'elle se présentait en 1985 une fois achevés les déplacements de terrain.

Photo: Comète Zurich

Fig. 1: Aerial photo of the section shown in figures 2–4 of the park grounds at the University of Zurich-Irchel. State in 1985 after completion of the soil movements.

Photo: Comet Zurich



sterpunktes festgelegt. Der unregelmässige Punkthaufen wird so in regelmässig verteilte Rasterpunkte umgewandelt. Ein DGM ist damit die mathematisch definierte Erdoberfläche eines genau begrenzten Gebietes zu einem bestimmten Zeitpunkt (Bauphase).

Die Geländeunstetigkeiten, wie Bruchkanten (Böschungskanten usw.) Formlinien (Geländerücken, Bachläufe usw.) und markante Geländepunkte (Kuppen, Wannen), die bereits im Felde als solche definiert und speziell kodiert werden, können in den Programmen berücksichtigt werden. Ebenfalls in der Anfangsphase (Feldeinsatz oder Digitalisierungsphase) werden Aussparungsflächen (Teilgebiete, die nicht in die Berechnung miteinbezogen werden) und das zu bearbeitende Gebiet genau abgegrenzt.

Zur visuellen Kontrolle der Berechnung des DGM kann dieses als Höhenlinienplan mit beliebig wählbarer Äquidistanz dargestellt werden. Zusätzlich sind diese Höhenlinienpläne auch eine ausgezeichnete Projektierungsgrundlage. Ohne grossen zusätzlichen Aufwand kann im Felde auch die Situation (z. B. Strassen, Gebäude usw.) erfasst und im Höhenlinienplan eingezeichnet werden. Nach dieser ersten Phase liegen nun als Basis der Volumenberechnung zwei digitale Geländemodelle bereit:

– Das DGM 1 (Abb. 2), hier eine neu zu gestaltende Parklandschaft vor Beginn der Erdbewegungsarbeiten. Als Grundlage diente eine topographische Aufnahme (Felddaten). Die mittlere Aufnahmedichte betrug etwa 300 Punkte pro ha, abhängig von der Unstetigkeit des Geländes. Die Berechnung des DGM erfolgte im 5-Meter-Raster mit Berücksichtigung von Bruchkanten und Formlinien. Dieser Höhenlinienplan stellt das Nullmodell für die späteren Kubaturberechnungen dar.

– Das DGM 2 (Abb. 3) umfasst dasselbe Gelände nach Abschluss der Erdbauarbeiten (Folgemessung).

Die Erdmassenberechnung innerhalb des frei wählbaren Perimeters geschieht durch den Vergleich der beiden Modelle, indem die Differenzen sich entsprechender Rasterhöhen gebildet werden. Daraus ergibt sich ein drittes DGM, dessen Rasterhöhen den berechneten Differenzen entsprechen. Dieses digitale Differenzmodell kann ebenfalls graphisch als sogenannte Differenzkarte (Abb. 4) dargestellt werden. Die Höhenlinien des Differenzmodells entsprechen Linien gleicher Höhendifferenz zwischen DGM 1 und DGM 2, sind also Linien gleicher Schüttung (negative Höhenlinien) bzw. gleichen Abtrages (positive Höhenlinien). Dadurch ist es möglich, Schüttungs- und Abtragszonen genau zu unterscheiden. Die Nulllinien des Differenzmodells stellen die Übergänge zwischen Schüttung und Abtrag dar.

Zugleich berechnet dasselbe Programm die Volumen des DGM 1 und DGM 2.

Die elektronisch berechneten Auf- und

teur des points nodaux sont déterminées mathématiquement. Le paquet irrégulier de points est donc transformé en un réseau de points répartis régulièrement. Un DGM est par conséquent la surface mathématique d'un terrain exactement délimité et ce, à un instant bien déterminé (étape de construction). Les particularités du terrain, telles que rupture de pente (talus, etc.), lignes spécifiques (arêtes, thalweg, etc.) ou points marquants (bosse, dépression), déjà définies sur le terrain et qui sont, à cet effet, codées spécialement, peuvent être prises en considération par les programmes. De même, dans la phase initiale (sur le terrain ou lors de la numérisation), les surfaces partielles dont il ne faut pas tenir compte dans les calculs, ainsi que le secteur à traiter, sont exactement définis.

Le calcul du modèle numérique du terrain peut être contrôlé visuellement en le représentant sous forme de plans avec courbes de niveau dont l'équidistance peut être choisie à volonté. Ces plans forment de plus une excellente base pour le projet. Sans grand travail supplémentaire, il est possible de saisir également la situation sur le terrain (routes, bâtiments par ex.) et de la faire figurer dans lesdits plans.

Après cette première phase, les deux modèles numériques du terrain (DGM) suivants permettent de calculer le volume:

– Le DGM 1 (fig. 2), dans notre exemple le nouveau paysage à modéliser avant le début des travaux de terrassement, avec pour base un levé topographique. La densité moyenne des points levés s'élève à près de 300 points par hectare, en fonction de la topographie du terrain. Le calcul du modèle numérique du terrain a été effectué sur la base d'une maille de 5 mètres de côté, en tenant compte des ruptures de pente et des lignes spécifiques. Ce plan fait office de levé 0 dans le calcul des masses qui va suivre.

– Le DGM 2 (fig. 3), représentant le même paysage, après la réalisation des travaux de terrassement (levé complémentaire).

Le calcul des masses de terre à l'intérieur d'un périmètre librement choisi est défini se fait par comparaison des deux modèles, les différences se traduisant à chaque nœud du réseau par une cote déterminée, ce qui engendre un troisième modèle numérique du terrain. Ce modèle, dit modèle des différences, peut également être représenté graphiquement (fig. 4). Les courbes de niveau de ce dernier modèle sont des courbes de même différence de niveau entre les DGM 1 et 2, ce sont donc des courbes de même déblai (courbes de niveau négatives), resp. de même remblai (courbes de niveau positives). Il est donc parfaitement possible de faire une distinction précise, entre zones de remblais et zones de déblais. Les courbes zéro du modèle des différences indiquent les passages entre le déblai et le remblai.

system of regularly distributed raster dots. A DTM is thus the mathematically defined earth surface of an exactly defined area at a specific point of time (construction phase).

The irregularities on the terrain, such as fold edges (slope edges, etc.), surface lines (ridges, stream courses, etc.) and prominent features on the site (peaks, troughs), which are already defined and specially coded as such in the field, can be taken into account in the programs. Also in the initial phase (field assignment or digitalisation phase), the areas to be omitted (those part areas not to be included in the calculation) and the area to be dealt with are delimited exactly.

For a visual check on the DTM calculation, this can be displayed as a contour plan with the equidistance selected as required. In addition, these contour plans are also an excellent basis for planning. Without any great additional expenditure, the situation (e.g. roads, buildings, etc.) can also be recorded in the field and included in the contour line plan.

After this first phase, two digital terrain models are now available as the basis for volume calculations:

– The DTM 1 (fig. 2), here a park landscape to be designed before beginning the earth movement works. A topographical survey (field data) served as the basis. The mean survey density was approximately 300 dots per ha, regardless of the irregularity of the terrain. The calculation of the DTM was made in a 5 metre raster, taking account of the fold edges and contour lines. This contour line plan provides the zero model for the subsequent cubature calculations.

– The DTM 2 (fig. 3) covers the same terrain after completion of the earth movement works (subsequent measurement).

The earth mass calculation within the freely selectable perimeter is made by comparing the two models as differences in the corresponding raster heights are formed. This produces a third DTM, the raster heights of which correspond to the differences calculated. This digital differential model can also be displayed graphically as a so-called differential map (fig. 4). The contour lines of the differential model correspond to the lines of the same difference in height between DTM 1 and DTM 2, are thus lines of the same piling up (negative contours) or same excavation (positive contours). As a result it is possible to differentiate between piling-up and excavation zones exactly. The zero lines of the differential model represent the transition between piling-up and excavation.

At the same time, the same program calculates the volumes of the DTM 1 and DTM 2.

The electronically calculated piling-up and excavation volumes are, admittedly, gross figures. A check has still to be made by the building supervisor on

Abtragsvolumen sind allerdings Bruttowahlen. Es muss noch von der Bauleitung überprüft werden, wieweit sie durch bereits eingebaute Fremdmaterialien (Wegeunterbau, Teichsohlenabdichtung usw.) oder durch Arbeiten anderer Unternehmer verfälscht wurden. Erst die bereinigten Nettozahlen dienen als Basis für die Unternehmerrechnung. Rückblickend kann gesagt werden, dass die elektronische Erdmassenberechnung mit digitalem Geländemodell bei grossen Erdbewegungen mit komplizierten Formen den manuellen Methoden in bezug auf Zeitaufwand und Genauigkeit überlegen ist. Der Nutzen wäre allerdings noch grösser, wenn bereits von der allerersten Geländeänderung an, über sämtliche Projektstadien bis zum fertigen Endzustand und bis zur Unternehmerabrechnung mit dieser Methode gearbeitet würde. Besonders interessant wären Prognosen von Massenbilanzen bei verschiedenen Projektvarianten und das Nachführen der Massenbilanzprognosen bei Projektänderungen.

Si l'on calcule alors le volume du modèle des différences par rapport à l'horizon zéro, il en résulte le bilan des masses, ventilé en remblai (volume positif) et déblai (volume négatif). Ces volumes sont toutefois des volumes bruts. La direction des travaux doit encore contrôler dans quelle mesure ces chiffres ont pu être éventuellement faussés, par des matériaux en provenance de tiers et déjà mis en œuvre (fondation de chemins, étanchéité du fond des étangs, etc.) ou par des travaux effectués par d'autres entreprises. Seuls les chiffres nets servent de base pour le décompte de l'entrepreneur. Avec du recul, il est possible d'affirmer que dans le cas de grands mouvements de terre aux formes compliquées, le calcul électronique des masses à l'aide de modèles numériques du terrain est supérieur au calcul manuel, eu égard à sa rapidité et à sa précision. Cet avantage est encore plus marqué si l'on travaille à l'aide de cette méthode dès la toute première modification de la forme du terrain, en passant par toutes les étapes du projet jusqu'à l'état final et les décomptes de l'entreprise. Il est également particulièrement intéressant de pouvoir prévoir les bilans des masses pour différentes variantes du projet, ainsi que de mettre à jour ces bilans en cas de modification.

the extent to which they have been falsified by outside material which has already been incorporated (path substructures, pond bottom sealing, etc.), or by other contractors' works. Only the corrected net figures serve as a basis for the contractor's calculations. In retrospect it may be said that electronic earth mass calculations with a digital terrain model are superior to manual methods with respect to the time expended and accuracy in the case of large earth movement schemes with complicated forms. Admittedly, the advantage would be even greater if this method were to be employed right from the very first change in terrain through all stages in the project right up to the completed final stage and to the contractor's submission of his statement of account. Particularly interesting would be forecasts of the mass results with various project variants and the following up of mass result forecasts in the case of project changes.

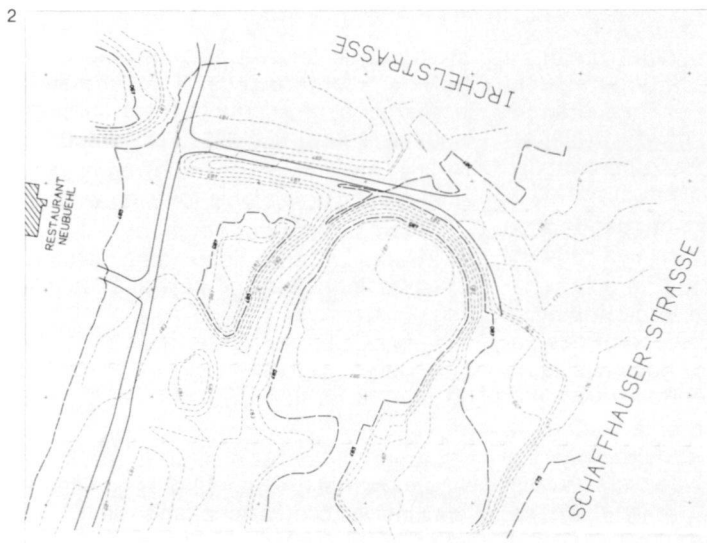


Abb. 2: Nullmessung (DGM 1): Topographische Aufnahme vor Beginn der Erdbewegungsarbeiten. Äquidistanz: 1 m.

Fig. 2: Mesure zéro (DGM 1): Relevé topographique avant le début de travaux de déplacement de terrain. Equidistance: 1 m.

Fig. 2: Zero measurement (DGM 1): Topographic survey before beginning soil movements. Equidistance: 1 m.



Abb. 3: Folgemessung (DGM 2): Topographische Aufnahme nach Abschluss der Erdbewegungsarbeiten. Äquidistanz: 1 m.

Fig. 3: Mesure suivante (DGM 2): Relevé topographique au terme des travaux de déplacement de terrain. Equidistance: 1 m.

Fig. 3: Subsequent measurement (DGM 2): Topographic survey after completion of the soil movements. Equidistance: 1 m.



Abb. 4: Differenzmodell (DGM 3): Durchgezogene Linien: Schüttung; gestrichelte Linien: Abtrag; Äquidistanz: 1 m.

Fig. 4: Modèle différencié (DGM 3): Lignes continues: remblais; lignes brisées: excavation; équidistance: 1 m.

Fig. 4: Differential model (DGM 3): Continuous lines: dumping; broken lines: excavation; equidistance: 1 m.