



VESTRA CAD auf dem Prüfstand

Von Dipl.-Ing. (FH) Philipp Rothenberger

Die Diplomarbeit „Begleitung eines Bauprojektes im Straßenbau von der Planung bis zur Bauausführung mit VESTRA CAD“ untersucht die Software der AKG auf Projekttauglichkeit im Bauwesen, und zwar zugeschnitten auf den Arbeitsablauf der Firma Leonhard Weiss GmbH & Co. KG. In der Arbeit wurde u. a. die Genauigkeit eines maschinengesteuerten Graders untersucht. Die hierfür erforderlichen Messungen sind mit VESTRA CAD ausgewertet worden.

Dipl.-Ing. (FH) Philipp Rothenberger ist bei der Leonhard Weiss GmbH & Co. KG beschäftigt.

Thema der Diplomarbeit

Die Diplomarbeit wurde an der Fachhochschule Würzburg-Schweinfurt im Dezember 2005 beim Fachbereich Kunststofftechnik und Vermessung zum Abschluss des Studiums im Studiengang Vermessung und Geoinformatik eingereicht. Betreut wurde die Arbeit von Prof. Dipl.-Ing. Wolfram Schauburger seitens der Hochschule sowie von Dipl.-Ing. Hellmut Billinger von der Leonhard Weiss GmbH & Co. KG. Die AKG Software Consulting GmbH stellte für die Diplomarbeit kostenfrei eine VESTRA CAD Lizenz zur Verfügung.

Schwerpunkt der Arbeit war einerseits die Überprüfung der Planungsdaten und deren Übertragung auf die Feldrechner und an die Baustelle. Ein weiterer Schwerpunkt der Arbeit war, dass die Daten der Messung in VESTRA CAD überführt und dort ausgewertet wurden. Für die Bearbeitung der Diplomarbeit musste ein Bauprojekt im Straßenbau als Grundlage dienen, das möglichst viele Bearbeitungsschritte im Laufe der Bauausführung verlangte. Mit einer Verbindungsstraße im Raum Würzburg wurde ein Straßenbauprojekt gefunden, das diese Kriterien erfüllte. Ein kurz vor der Asphaltierung gemessenes Schotterplanum diente als Grundlage für die Erzeugung eines IST-DGM, welches mit einem aus der Planung abgeleiteten SOLL-DGM verglichen wurde. Die Diplomarbeit beinhaltet eine Beschreibung der Kontrollmessung, den angesprochenen Vergleich und die Beurteilung der Ergebnisse.

Maschinensteuerung

Die Anforderungen an ein modernes Bauunternehmen steigen ständig. Die Vermessungstechniker und -Ingenieure sind es, die dafür sorgen, dass geplante Bauvorhaben zeitgemäß in die Örtlichkeit übertragen werden. Diese Aufgabe wird durch den Einsatz von maschinengesteuerten Baumaschinen (vor allem Raupen und Grader) wesentlich vereinfacht. Die Vorteile der Maschinensteuerung im Überblick:

- weniger geforderte Vermessungsarbeiten
- Zeitersparnis bei der Bauausführung
- Materialersparnis
- Kostenersparnis
- flächemäßige Bauausführung

Aufbereitung der Planungsdaten für die Maschinensteuerung

Damit die Daten auch von den Maschinen gelesen werden können, müssen jene in einer gewissen Art und Weise vorliegen. Für eine Straße wird das Sollbuch der Trasse aus einer Deckenbuchberechnung erzeugt. Dieses Deckenbuch wird bei der Leonhard

Weiss GmbH & Co. KG mit der Software GEO-Samos des Ingenieurbüros Breining berechnet, als Grundlage dienen alle für das Bauprojekt relevanten Planungsdaten. Die Einstellungen für das Deckenbuch sind so zu treffen, dass sie firmeninternen Vereinbarungen entsprechen. Wie die Erfahrung gezeigt hat, liegt ein guter Wert für das zu wählende Stationsintervall (siehe Abbildung 1 rechts oben) zwischen 2,00 und 2,50 m. Es bietet sich an, die Punktdichte bei Kuppen- und Wannenausrundungen gegenüber der Umgebung zu erhöhen. Grundsätzlich gilt jedoch, je weniger Punkte das aus dem Deckenbuch entstehende Sollmodell hat, desto schneller kann der Computer der Baumaschine die Trasse berechnen. Damit hängt auch zusammen, dass ein Modell maximal 2.000 Meter lang sein darf und aus möglichst wenigen Querschnittspunkten definiert sein sollte.

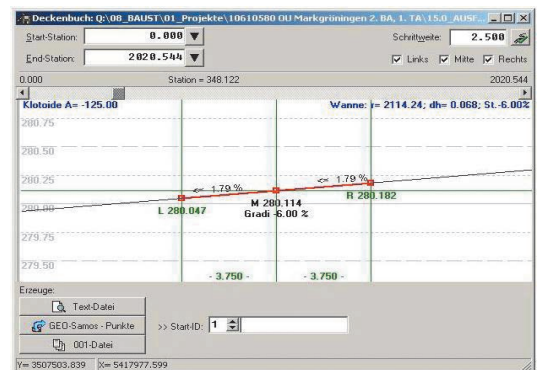


Abb. 1: Ausgabe eines Deckenbuches in GEO-Samos

Nachdem alle Einstellungen vorgenommen sind, wird das Deckenbuch über den links unten befindlichen Button als eine so genannte 001-Datei ausgegeben. Nun wird das Programm geöffnet, welches den PC in der Maschine simuliert, das GP2 Tool 3D der Firma Wirth Elektroniksystem. Anschließend wird die 001-Datei geladen. Dabei kontrolliert die Software das erzeugte Deckenbuch auf Fehler und konvertiert es in eine Datei mit der Endung *.xyz.

The screenshot shows a window titled 'Daten.yxz - Editor' with a menu bar (Datei, Bearbeiten, Format, Ansicht, ?) and a toolbar. The main area contains the text 'Automatisch generierte Datei' and a table of data. The table has 5 columns and 10 rows of data.

#end	Station	X	Y	Z
0.000	507386.268	417649.913	297.939	
0.000	507398.623	417645.870	298.264	
0.000	507411.424	417641.679	298.601	
2.500	507387.044	417652.291	297.876	
2.500	507399.401	417648.246	298.202	
2.500	507411.720	417644.213	298.526	
5.000	507387.821	417654.667	297.814	
5.000	507400.179	417650.622	298.139	
5.000	507412.018	417646.746	298.450	

Abb. 2: Ausschnitt einer xyz-Datei

Die Leonhard Weiss GmbH & Co. KG im Internet: www.leonhard-weiss.de



LEONHARD WEISS
BAUUNTERNEHMUNG

In diesem Format ist das Trassenmodell für den Bordcomputer des Graders lesbar. Um sicher zu gehen, dass die Konvertierung auch korrekt umgesetzt wurde, wird die erzeugte xyz-Datei neu in das GP2 Tool 3D geladen. Wenn dieser Import fehlerfrei abläuft und am simulierten Display des Graders eine Trasse mit den Informationen über Station, Querneigung usw. angezeigt wird, kann die Datei an die Baustelle bzw. an den Maschinisten übergeben werden.

Für Böschungen, Kreisverkehre und Abbiegespuren ist die Grundlage der Maschinensteuerung keine Trasse bzw. Deckenbuch, sondern ein DGM. Zu diesem Zweck wird ein in VESTRA CAD berechnetes Geländemodell gemäß GAEB 22.114 exportiert. Die Dateiendung *.114 der daraus entstehenden Datei wird durch die Dateiendung DAT ersetzt. Genau wie bei der Sollmodellbildung aus einer Trasse wird auch die Datei in ein Format für die Maschinensteuerung umgewandelt. Modelle aus einer DGM-Berechnung haben die Dateiendung *.tri. Die Kontrolle der tri-Datei erfolgt analog zur xyz-Datei durch erneutes Laden.

Übertragung der Planungsdaten an die Poliere

Jede Baustelle wird von einem Vermesser betreut. Da dieser aber natürlich noch weitere Baustellen betreuen muss, ist er nicht ständig vor Ort. Damit die Poliere kleinere Probleme, die mit der Planung oder der Vermessung zu tun haben, selbst bearbeiten können, müssen die Planungsdaten auch für die Baustelle dauerhaft zur Verfügung stehen. Hierzu gehört in erster Linie, dass die Pläne strukturiert in einem oder mehreren Ordnern im Baucontainer vorhanden sind. Evtl. sind die Planungsdaten noch um Pläne oder Dokumente, die für das Bauprojekt wichtig sein könnten, zu ergänzen. Die Daten und Pläne vom Planungsbüro werden also in analoger Form dem Polier zur Verfügung gestellt.

Zur Planungsdaten-Übertragung kann bisweilen auch die Bereitstellung eines weiteren Feldrechners gehören. Manche Bauarbeiter haben sich nämlich das einfache Vermessen und Abstecken mit einem GPS-Rover angeeignet. Für große Baustellen wird in der Regel ein Pfeiler für die GPS-Basisstation betoniert und die GPS-Anlage samt Rover verbleibt für die Dauer der Bauausführung an Ort und Stelle. Diese Anlage wird dann nicht nur für die Steuerung der Schubraupe mit GPS gebraucht, sondern auch um einfache Absteckungen oder Aufmaße durchführen zu können.



Abb. 3: Grader im Einsatz (Quelle: Leonhard Weiss GmbH & Co. KG)

Übertragung der Planungsdaten auf den Maschinen-PC

Die Vermesser erzeugen die Daten für die Maschinensteuerung und kopieren diese auf eine 3,5 Zoll-Diskette. Die Modelldaten werden dann an den Maschinisten des Graders übergeben. Anschließend werden die Daten über das Diskettenlaufwerk des GP2-Bordcomputers eingelesen, um nochmals die Lauffähigkeit der erzeugten Daten zu prüfen. Falls die Daten bereits mit dem Wirth GP2 Tool 3D funktioniert haben, treten gewöhnlich an dieser Stelle aber keine Probleme auf. Nach fehlerfreier Übergabe an den Wirth Maschinen-PC kann mit der Arbeit begonnen werden.

Kontrollmessung

Die zu erreichende Genauigkeit von maschinengesteuerten Baumaschinen wurde anhand einer Schottertragschicht untersucht, die ein so genannter ATS-Grader hergestellt hatte. Es wurde der IST-Zustand des Schotterplanums mittels Kontrollmessung bestimmt und mit dem aus der Planung ermittelten SOLL-Zustand verglichen.

Bevor die Totalstation sowie die Komponenten des Maschinenkontrollsystems die Steuerung der Baumaschine übernehmen, muss diese im Baustellennetz stationiert werden. Zu diesem Zweck führt der Fahrer eine so genannte *Freie Stationierung* durch. Als Anschlusspunkte dienen die Polygonpunkte des Baustellennetzes.

Planung der Messung

Für die Kontrollmessung am Grader wurde ein Teilstück des bereits erwähnten Bauvorhabens herangezogen. Nach Fertigstellung des Schotterplanums in diesem Bereich wurde ein Flächennivellement durchgeführt, um die Genauigkeit des Graders zu verifizieren. Für die fertige Straße war eine Breite von 6,50 m vorgesehen, also 3,25 m für jede Spur. Um aber die ganze Trassenbreite inklusive Bankett zu erfassen, sollte das Flächennivellement eine Breite von 7,00 m aufweisen. Im Abstand von 2,50 m wurden entlang der Achse jeweils fünf Punkte abgesteckt und anschließend in ihrer Höhe bestimmt.

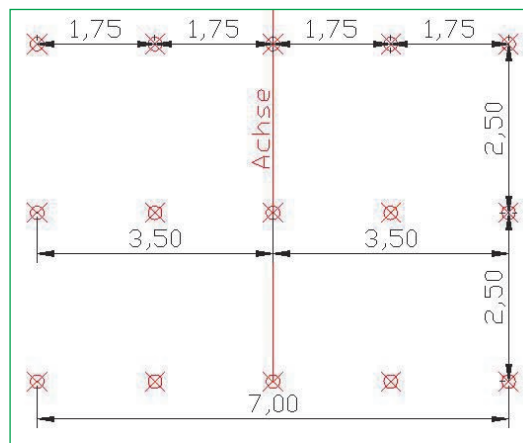


Abb. 4: Skizze für die Ausführung der Rasterpunkte-Absteckung

Auswertung der Messung

Da die Absteckung der Punkte nicht nach Sollkoordinaten, sondern nach Station und Achsabstand durchgeführt wurde, mussten zunächst die Koordinaten der Rasterpunkte für die Auswertung mit CAD erzeugt werden. Zu diesem Zweck wurden die Punkte mit VESTRA CAD zeichnerisch

und mit entsprechender Punktnummer erstellt und anschließend exportiert. Nun können die Höhen aus der Nivellementauswertung den jeweiligen Punkten zugeordnet werden und man erhält so dreidimensionale Koordinaten für das aufgenommene Trassenstück. Eine Koordinatendatei, die alle Punkte enthält, wird nun wiederum in VESTRA importiert. Die eingelesenen Punkte ergeben ein digitales Geländemodell (DGM), wie es für die spätere Berechnung benötigt wird.

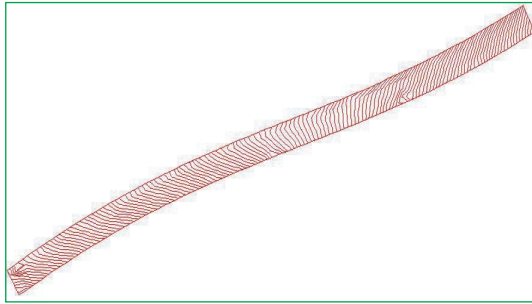


Abb. 5: DGM des IST-Schotterplanums mit Höhenlinien

Außerdem lassen sich in dem erstellten DGM sofort Höhenlinien darstellen, welche die Richtung der Querneigung und den Neigungswechsel zeigen. *Abbildung 5* zeigt, dass die Ränder der Schottertragschicht etwas abrutschen, was normal ist, hervorgerufen durch das Verdichten des Schotters.

DGM

Die Leonhard Weiss GmbH & Co. KG verwendet VESTRA nicht nur für die Datenauswertung, sondern auch für die Datenvorbereitung, dazu zählt die Erzeugung von Deckenbuch und DGM. Das Digitale Geländemodell wird vor allem für Massenberechnungen und für die Maschinensteuerung verwendet. Ein DGM wird in VESTRA CAD importiert und dort über Dreiecksvermaschung nach dem Prinzip der Delaunay-Triangulation berechnet, wobei Bruchkanten, Innen- und Umringe automatisch berücksichtigt werden. Bei Erzeugung eines DGM in VESTRA CAD sollte man *Bauabrechnung* als Berechnungsalgorithmus wählen. Unter den Reitern *Umring* und *Inring* lässt sich jeweils ein Layer auswählen, der den Um- bzw. Inring enthält, falls diese vorhanden sind und benötigt werden.



Abb. 6: Einstellungen in VESTRA zur DGM-Berechnung

Die Berechnung selbst wird über die Menüfunktion *DGM – Rechnen – Einzelnes Geländemodell* gestartet. Berücksichtigt werden alle Zeichnungselemente, die vorher markiert wurden, wobei Punkte mit einer Höhe von 0.000 automatisch ignoriert werden. Nach der fehlerfreien Dreiecksvermaschung unter Berücksichtigung aller Bruchkanten, Innen- und Umringe lässt sich das DGM für weitere Betrachtungen heranziehen. Es bildet die Grundlage z. B. für Mengenermittlung, Modellverschneidungen, 3D-Perspektiven oder Höhenlinien. Der Im- und Export ist natürlich REB- und GAEB-konform. Für die Bauabrechnung können detaillierte Informationen auch über ein DGM in einer Liste oder im Microsoft Excel-Format ausgegeben werden.

VESTRA CAD bietet auch die Möglichkeit zur nachträglichen Änderung eines Digitalen Geländemodells. Es können dabei Punkte eingerechnet und entfernt, aber auch neue Bruchkanten erzeugt werden. Für eine Massenberechnung zwischen zwei Zuständen, z. B. zwischen Urgelände und Baugrube, müssen selbstverständlich beide Modelle korrekt und als DGM vorliegen. Der Dialog wird über *DGM – Auswertungen – Massenberechnungen* gestartet. Nach der Berechnung werden die Auf- und Abtragsmassen ausgegeben. Außerdem können die Massenprismen und die Durchdringungslinie an den Lageplan übergeben werden. Für eine externe Prüfung kann die entsprechende Ergebnisliste ausgedruckt und jedes der betrachteten DGM einzeln gemäß REB oder GAEB abgespeichert werden.

Vergleich der SOLL- mit der IST-Trasse

Bevor der Vergleich zwischen den beiden Trassen durchgeführt werden kann, muss die SOLL-Trasse erzeugt werden. Die Lagekoordinaten, die bereits für die IST-Trasse herangezogen wurden, lassen sich wieder verwenden. Somit müssen nur noch die SOLL-Höhen für die Rasterpunkte bestimmt werden. Mit Hilfe von Gradienten und Querneigung lässt sich die Fahrbahnhöhe der fertigen Straße an jeder Stelle der Strecke (Station und Achsabstand bekannt) berechnen. Da jedoch die SOLL-Trasse der Schottertragschicht kontrolliert wird, muss von diesen Höhen anschließend nur noch die gesamte Aufbauhöhe der verschiedenen Tragschichten abgezogen werden. Diese Tragschichten sind laut Regelquerschnitt 14 cm Asphalttragschicht, 5 cm Asphaltbinder und 3 cm Splittmastixasphalt.

Zunächst wird jedoch mit der Software GEOSAMOS eine vorläufige Auswertung durchgeführt. Über die Achse der Verbindungsstraße, deren Gradienten und Querneigung bekannt sind, lässt sich mit dem Programm eine Trasse erzeugen, die der Planung entspricht. Anschließend werden die Punkte der IST-Trasse ebenfalls eingelesen. Nun lassen sich für jeden Punkt die Höhendifferenzen zu der geplanten Trasse berechnen und per Protokoll ausgeben. Um diesen Höhenunterschied genauer bestimmen zu können, werden die Werte aus dem Protokoll heraus kopiert und in das Tabellenkalkulationsprogramm Excel von Microsoft übernommen. Hier können mit einfachen Funktionen die Minimal- und Maximalabstände ermittelt werden.

Für weitere Betrachtungen wurde ein zusätzliches drittes DGM erzeugt.

- IST-DGM aus der Messung resultierend
- Absolutes SOLL-DGM aus der Planung und dem Regelquerschnitt resultierend
- Relatives SOLL-DGM

Bei der Berechnung des relativen SOLL-DGM musste berücksichtigt werden, dass der zwangsläufig auftretende Fehler an den Randpunkten durch das seitliche Wegrutschen des Schottermaterials das Gesamtergebnis verfälschte. Das entstandene relative DGM des SOLL-Zustandes passte sich dem Niveau, das auf der Baustelle auch versucht wurde herzustellen, am besten an.

Die Digitalen Geländemodelle des IST-Zustandes und des relativen Zustandes wurden übereinander gelegt und Höhenlinien im Abstand 2,5 cm eingezeichnet. Hier konnte man dann überprüfen, ob die Querneigungen und der Neigungswechsel im Verlauf des kontrollierten Trassenstücks auch so gebaut wurden, wie es die Planung vorsah.

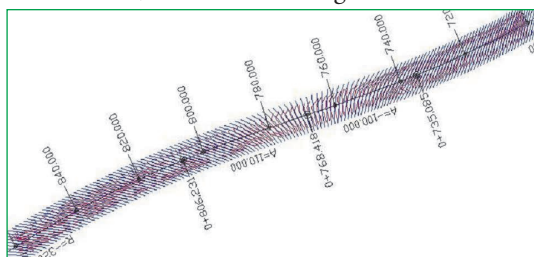


Abb. 7: Überlagerung der beiden DGM

Abbildung 7 zeigt sehr deutlich, dass die Querneigung mit ihren Verzierungen und dem Neigungswechsel in dem roten DGM des IST-Zustandes sehr gut mit denen des blauen SOLL-DGM zusammen passt. Daraus konnte geschlossen werden, dass der Straßenverlauf gemäß Planung hergestellt wurde.

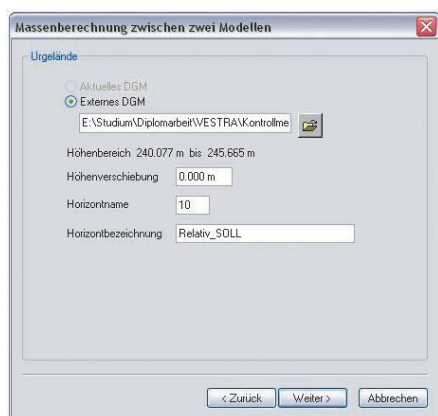


Abb. 8: Öffnen eines externen DGM für die Massenberechnung

Um die Unterschiede zwischen den verschiedenen Zuständen der Schottertragschicht anschaulicher darzustellen, wurde zusätzlich zu den bisherigen Auswertungen noch eine Massenberechnung zwischen diesen beiden DGM durchgeführt. Dazu verwendet man die Menüfunktion *DGM – Auswertungen – Massenberechnung* von VESTRA CAD. Nachdem die Berechnungsart (*Massen zwischen zwei Modellen*) gewählt worden ist, werden die beiden vorher erzeugten DGM einander zugeordnet.

	Auftrag	Abtrag	Identisch	Summe
Fläche [m2]				
Projiziert	533.986	556.697	0.034	1090.682
Oben	534.265	556.964	0.034	1091.229
Unten	534.241	556.999		1091.241
Volumen [m3]	3.841	4.957		-1.116

Farbe Farbe Farbe

 Massenprismen: Layer Massenprismen
 Durchdringungslinie: Layer Durchdringungslinie
 < Zurück Weiter > Fertig

Abb. 9: Ergebnis der Massenberechnung

Die Massenprismen und die Durchdringungslinien können an dieser Stelle in verschiedenen Layern gespeichert werden. Zusätzlich lassen sich die Farben für Auf- und Abtrag frei wählen.

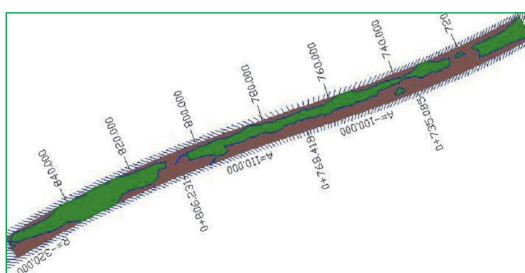


Abb. 10: Ergebnis der Massenberechnung (zeichnerische Darstellung)

Die Maske für die Einstellung der Tiefenzonen, die sich dank der Massenberechnung farblich darstellen lassen, öffnet man über *DGM – Auswertungen – Tiefenzonen/Höhenbereiche*. Dort werden die zu zeichnenden Zonen nach Angabe ihrer Anzahl und eines Intervalls erzeugt. Jedem Höhenbereich kann hier eine Farbe zugeordnet werden.

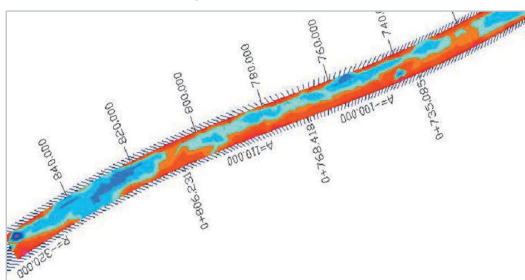


Abb. 11: Zeichnerische Darstellung der Tiefenzonen

Die verschiedenen Blautöne stellen dabei die Bereiche dar, die zu hoch liegen. Zu tief hingegen sind die Stellen, die rot dargestellt sind.

Fazit

Wesentlicher Vorteil einer automatisch gesteuerten Baumaschine ist, dass eine geplante Trasse nicht nur linienhaft (früher alle 10 bis 20 m eine Absteckung) hergestellt werden kann, sondern auch flächenhaft über die ganze Trasse. An jeder Stelle des Modells oder der Trasse ist hier Lage und Höhe bekannt. Die Leonhard Weiss GmbH & Co. KG vertraut bei der Datenauswertung auf die Software VESTRA, die sich vielseitig und flexibel einsetzen lässt und allen Ansprüchen eines modernen Bauunternehmens ohne jede Einschränkung gewachsen ist.