

Messen von Förderflächen, Berechnung und Darstellung

Kompass und Bandmaß gegen Satellitennavigation:

Rückschritt oder Besinnung auf das Handwerk?

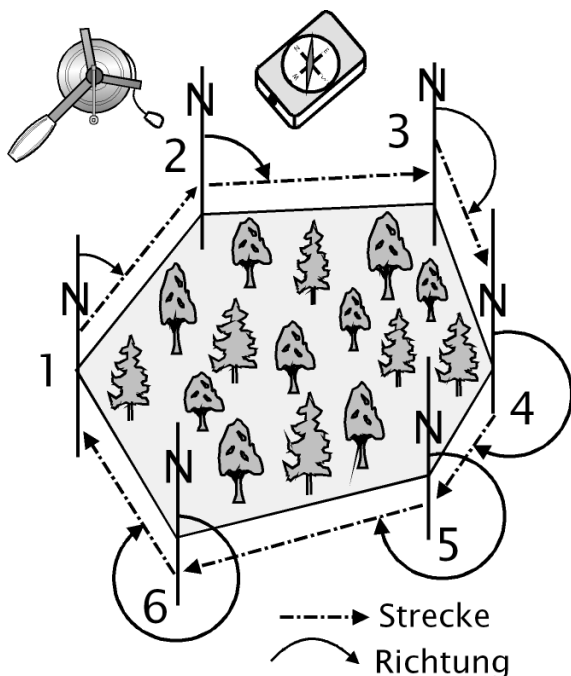
In der zurück liegenden Zeit sind beim Autor immer wieder Anfragen aus dem Forstdienst eingegangen, wie man so genannte Förderflächen mit einfachem Gerät einmessen, ihren Flächeninhalt berechnen und die Umrissfigur mit einfachen Mittel darstellen kann. Diese Anfragen lassen erkennen, dass trotz verstreut vorhandener technischer Ausrüstung mit GPS-Empfängern und eventuell auch vorhandenen Auswerteprogrammen noch immer Defizite in der messtechnischen Aufnahme, in der Verrechnung und in der bildlichen Darstellung der Ergebnisse bestehen. Hier wird ein erprobtes Verfahren vorgestellt, das von seiner apparativen Ausstattung, bestehend aus Kompass, Bandmaß und Neigungsmesser, jedem Förster besten vertraut ist. Im Vergleich zu den hightech-Produkten aus dem GPS-Sektor mag dies vordergründig als rückschrittlich erscheinen. Es bietet aber gegenüber der GPS-Technologie den entscheidenden Vorteil, die eigene Messung hinsichtlich ihrer Genauigkeit rechnerisch zu kontrollieren und zu prüfen, ob vorgegebene oder selbst definierte Fehlerschranken eingehalten wurden.

In diesem Aufsatz geht der Autor davon aus, dass jeder im Forstdienst mit solchen Aufgaben betraute Bedienstete auch mit den weit verbreiteten Office-Programmen, insbesondere mit Tabellenprogrammen (EXCEL, Staroffice Tabellendokument, Lotus 123) soweit vertraut ist, dass damit einfache Verrechnungen ausgeführt werden können.

GPS oder Bandmaß und Kompass

Wer mit Vermessungsaufgaben beauftragt wird, unterliegt allzu gern der Illusion, dass ein GPS-Empfänger ein fehlerfreies Messergebnis liefert, zeigt doch der Empfänger das Ergebnis der Messung bis in den Zentimeter-Bereich an. Dabei wird übersehen, dass die ausgewiesenen Koordinaten - Ost, Nord und Höhe - streng genommen das Ergebnis einer statistischen Analyse aus einer Vielzahl von Einzelmessungen ist, die im Hintergrund des Empfängers ablaufen. Wird ein solches Messergebnis dann durch die besonderen Raumstruktur des Waldes mit wechselnden Kronenüberschirmungen oder Abschattungen beeinflusst oder sogar noch verhindert, so wird verständlich, dass es praktisch nicht möglich ist, unter Waldverhältnissen an ein und dem selben Messpunkt eine identische Messwertwiederholung zu gewinnen. HAMBERGER & ZANDER (2001) haben GPS-Messungen gegen terrestrische Messverfahren verglichen und diese Sachverhalte sehr deutlich aufzeigen können. Dieser Vergleich verweist auch darauf, dass jeder mit GPS gemessene Punkt, z.B. an den Knickpunkten einer Zaunlinie, einen isolierten Datensatz darstellt, d.h. er weist keinen Bezug zu Nachbarschaften auf. Wird dagegen eine Zaunlinie von Knickpunkt zu Knickpunkt mit Kompass und Bandmaß in polaren Koordinaten (Richtung, Strecke) eingemessen, so verknüpfen sich Punkt um Punkt zu einer Messkette. Schließt man die Kette, d.h. führt die letzte Messung zum Ausgangspunkt zurück, so liefert dieses Ringpolygon den Schlüssel für die Eigenkontrolle und für die weitere Datenaufbereitung.

Polare Aufnahme



Bei einer polaren Aufnahme werden die polaren Koordinaten als Strecke mit dem Bandmaß (ebenso auch Infrarot-Distanzmesser) und als Azimut, also als Richtungswinkel gegen Nord, mit dem Kompass von einem Punkt eines Polygons zum nächsten gemessen. Abbildung 1 zeigt den prinzipiellen Verlauf einer solchen Punkt-zu-Punkt-Messung. Der Ringschluss ist zwingend notwendig für das Erkennen des eigenen Messfehlers und für eine nachfolgende rechnerische streckenproportionale Fehlerverteilung. Im Hügelland oder Gebirge wird die Geländeneigung ν mit dem Neigungsmesser ermittelt, um so von Schrägdistanz auf Horizontaldistanz umzurechnen. Die Messung sollte im 2-Mann-Team ausgeführt werden.

Abbildung 1: Polare Koordinaten als Ringpolygon

Tabellenblatt EXCEL: Dateneingabe und Berechnung orthogonaler Koordinaten

Die nachfolgenden Abbildungen, aber auch die Art der Formeleingabe zur Verrechnung sind mit MS-EXCEL® ausgeführt. Die Arbeit mit EXCEL erfordert eine klare Tabellenstruktur, um einmal eingegebene Formelansätze über die Kopierfunktionen des Programms fehlerfrei in die jeweiligen Zieladressen zu übertragen. An die

Datenaufnahme im Gelände schließt sich die Eingabe der Messwerte an. Im ersten Schritt werden zwei Arbeitsblätter in einer EXCEL-Datei benannt (s. Abbildung 2).

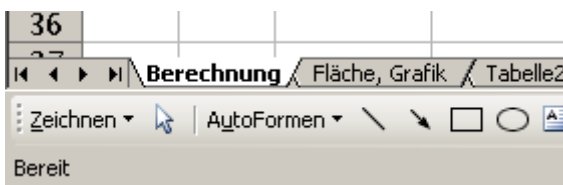


Abbildung 2: Titel der Arbeitsblätter

Im Arbeitsblatt *Berechnung* werden nun Datenablage und Rechenstruktur festgelegt. Die grundsätzliche Anlage und die Benennung der Spalten gehe aus Abbildung 3 hervor. Spalte A und Spalte B enthalten die jeweiligen Messvorgänge *Von* und *Nach* mit den erforderlichen Punktnummern, hier der Einfachheit halber von 1 bis 14 nummeriert. Sicherheitshalber sollte der Winkelmodus des Kompass vermerkt werden, im vorgestellten Beispiel 360° als Vollkreis. Spalte C, D und E sind für die Messwerte Schrägdistanz, Horizontalwinkel und Neigungswinkel vorgesehen. Alle nachfolgenden Spaltenenthalten Rechenoperationen. In Zeile 1 sind mit *rad1* und *rad2* die Umrechnungen für die EXCEL-kompatiblen Winkelmaße in Radiant vermerkt. Der Zelleintrag in **G1** lautet $=PI()/180$ und gilt für den Altgrad-Modus (Vollkreis 360°), der Eintrag in **J1** lautet $=PI()/200$ (Vollkreis 400 gon).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	
1	Ringpolygon					rad1	0,01745		rad2	0,01571					
2	Winkelmodus Grad / Grad		Schräg- dist.	Horiz.- winkel	Neigung	Horiz.- distanz	Koordinaten- unterschiede		Verbesserung		Endgültige Koordinaten		Fehler; Messweg		
3	Von	Nach	Sdi	Hz	V	Hdi	dOst	dNord	Kor_ost	Kor_nord	Ost	Nord			
4											1000,0	1000,0			
5	1	2	76,2	208,0	8								Fehler_Ost		
6	2	3	56,8	213,0	5								Fehler_Nord		
7	3	4	51,5	290,0	6								Fehlervektor		
8	4	5	27,5	310,5	7								Messweg		
9	5	6	8,1	324,0	2								Fehlerprozent		
10	6	7	16,7	32,0	0										
11	7	8	45,1	40,0	-5										
12	8	9	48,9	35,5	3										
13	9	10	17,6	62,5	-4										
14	10	11	35,5	90,5	5										
15	11	12	15,6	116,5	0										
16	12	13	16,2	153,5	3										
17															

Abbildung 3: Arbeitsblatt mit Kopfzeilen, Spaltenbenennungen und Messwerten

Wie in Abbildung 3 erkenntlich, wird dem Startpunkt 1 eine Koordinatenvorgabe von 1000,0 m für Ost und 1000,0 m für Nord erteilt. Damit werden negative Punktkoordinaten in der weiteren Koordinatenberechnung vermieden. Anschließend werden die Messdaten eingegeben.

Ein besondere Technik in EXCEL besteht darin, definierte Felder mit Namen zu versehen. Diese Namen können anstelle der üblichen Zelladressierung in Rechenformeln eingegeben werden. Sie lassen dann auch im Formeltext unmittelbar die Verrechnungen nachvollziehen. Die sonst übliche Adressierung, z.B. der Eintrag in F5 (für Hdi) = $C5 * \cos(E5 * \pi() / 180)$ ist wesentlich abstrakter als der Ausdruck = $Sdi * \cos(V * rad1)$. Die Vergabe von Namen erfolgt über die Befehlsfolge **Einfügen Namen Erstellen**. Abbildung 4 zeigt als Beispiel die Namen Sdi bis Kor_nord und den zugehörigen Datenbereich. Für rad1 und rad2, ebenso für die Felder zur Fehlerberechnung in den Spalten M und N muss statt Oberster Zeile das Auswahlkästchen Linke Spalte aktiviert werden. Der eigentliche Rechengang beginnt in Zeile 5 mit der Berechnung der Horizontalabstand gemäß der Formeleingabe in F5 = **Sdi * COS(V*rad1)**.

Sdi	Hz	V	Hdi	dOst	dNord	Kor_ost	Kor_nord
76,2	208,0	8					
56,8	213,0	5					
51,5	290,0	6					
27,5	310,5	7					
8,1	324,0	2					
16,7	32,0	0					
45,1	40,0	-5					
48,9	35,5	3					
17,6	62,5	-4					
35,5	90,5	5					
15,6	116,5	0					
16,2	153,5	3					

Namen erstellen ✕

Namen erstellen aus _____

Oberster Zeile

Linker Spalte

Unterster Zeile

Rechter Spalte

OK Abbrechen

Abbildung 4: Vergabe von Namen für die Spalten D bis M

Die Umrechnung eines polar aufgenommenen Messzugs in orthogonale Koordinaten entspricht mathematisch einer Vektoraddition. Dazu werden in einem Zwischenschritt die Ausdrücke **dOst** und **dNord** gebildet (Spalte G und Spalte H). Die Formeleinträge dazu lauten:

In **G5** =**runden(Hdi*SIN(Hz*rad1);2)** In **H5**
 =**runden(Hdi*COS(Hz*rad1);2)**

Die Einträge in den Spalten F, G und H werden nun bis zum letzten Zeile des Messzug, hier Zeile 16, durch **Kopieren** und **Einfügen** oder mit dem Ziehkreuz der Maus ausgefüllt.

Fehlererkennung

Wie schon Abbildung 1 erkennen lässt, müsste bei fehlerfreier Ausführung des Messzugs die Messprozedur wieder unmittelbar im Startpunkt enden. Wie aber bei nahezu allen messtechnischen Arbeiten fallen immer wieder Fehler an, teils als persönlicher Messfehler aus mangelhafter Handhabung der Geräte, teils als Anteil aus fehlerhaften Geräten. Diesen Gesamtfehler zu erkennen und anschließend Fehlerverteilung werden unterhalb des mit Messwerten gefüllten Bereichs und mit zusätzlicher Leerzeile folgende Texteingaben vorgenommen (Abbildung 5):

M5 Fehler_Ost = M6 Fehler_Nord = M7 Fehlervektor =
M8 Messweg = M9 Fehlerprozent =

Abbildung 5: Texteinträge unterhalb Rechenblock

Bei einem geschlossenen und fehlerfreien Messzug müsste die Vektoraddition theoretisch wieder bei der Ausgangskoordinate enden, hier also bei 1000 in Ost und 1000 in Nord. Ob diese Anforderung eingehalten werden kann, lässt sich sehr leicht über die **Spaltensumme G** und Spaltensumme **H** überprüfen, denn beide müssten bei völliger Fehlerfreiheit zu Null werden. Spaltensumme G und Spaltensumme H liefern uns also unmittelbar den Hinweis auf den über die Messlänge angesammelten Fehler, hier getrennt ausgewiesen für dY=Ost und dX=Nord. In die Zellen H18 bis H22 werden dazu die notwendigen Berechnungen ausgeführt mit

H18 =SUMME(G5:G16) Spaltensumme dY
H19 =SUMME(H5:H16) Spaltensumme dX
H20 =(H18^2+H19^2)^0,5 Fehlervektor über Pythagoras
H21 =SUMME(F5:F16) Summe Hdi = Messweg
H22 =H20/H21*100 Messfehler in % (Fehlervektor/Messweg)

Im hier dargestellten Beispiel beträgt also der Messfehler in Ost -1,68 m, in Nord +2,41. Daraus berechnet sich der Fehlervektor 2,94 m, was im Vergleich zum Messweg von 413,8 m (Summe Hdi) 0,7 % entspricht.

Fehlerverteilung und endgültige Koordinaten

Die in den Zellen H18 bis H22 enthaltenen Ergebnisse sind Voraussetzung für die Fehlerverteilung und abschließende Berechnung der orthogonalen Koordinaten. Die Berechnung einer streckenproportionalen Fehlerverteilung erfordert den folgenden Ansatz:

Korrekturanteil für dOst = (Gesamtfehler dY / Gesamtmessweg)*Teilweg
Korrekturanteil für dNord = (Gesamtfehler dX / Gesamtmessweg)*Teilweg
(Teilweg ist hier identisch mit dem jeweiligen Hdi-Wert.).

Die Korrekturanteile werden wie folgt berechnet:

I5 =RUNDEN(\$H\$18/\$H\$21*F5;2)
=RUNDEN(\$H\$19/\$H\$21*F5;2)

J5

Wichtig ist, die Zugriffe auf Summe dY (H18), auf Summe dX (H19) und auf den Messweg (H21) über das \$-Zeichen absolut zu adressieren (Taste F4 in EXCEL), weil sonst bei den folgenden Kopiervorgängen unsinnige Zellbezüge resultieren.

Die Formeleinträge in den Spalten K und L (Zeile 5) als die gesuchten orthogonalen Koordinaten der Punkte lauten schließlich wie folgt :

K5 = K4+G5-I5

L5 = L4+H5-J5

Zur Punktkoordinate der Zeile oberhalb wird also die Differenz dY (oder dX) addiert und der Korrekturanteil dOst (dNord) subtrahiert, anschließend wird bis zur letzten Zeile kopiert. Bei richtiger Ausführung müssen die Koordinaten in der letzten Zeile wieder bei 1000,0 m für Ost und 1000,0 m für Nord enden (Abbildung 6). Damit ist der Messzug aus polaren in fehlerbereinigte orthogonale Koordinaten überführt. Diese Koordinaten stehen nun für die Berechnung der Fläche und für eine einfache grafische Darstellung zur Verfügung.

Abbildung 6: Arbeitsblatt Berechnung vollständig berechnet

Berechnung der Fläche

Der Flächeninhalt des gemessenen Polygons wird nun innerhalb der EXCEL-Datei auf einem gesonderten Arbeitsblatt (hier *Gauß*) nach der Gauß'schen Flächenformel berechnet. Eine Doppelrechnung verhilft auch hier zur Ergebniskontrolle. Im ersten Schritt werden dazu die endgültigen Koordinaten aus dem Berechnungsblatt kopiert und in das Blatt *Gauß* über die Funktion

Bearbeiten Inhalte einfügen Werte

eingefügt. Mit dieser Art des Einfügens werden alle Formeln eliminiert und nur noch die Zahlenwerte übergeben. Für eine einfache Ausführung der Gauß'schen Flächenformel werden anschließend die zwei ersten Zeilen des Datensatzes unten wiederholt (s. Abbildung 7).

Abbildung 7: Berechnung der Fläche über Gauß-Formel

Die Gaußsche Flächenformel hat die allgemeine Form

$$\text{Fläche } 2A = \sum Y_i \cdot (X_{i-1} - X_{i+1}) = \sum X_i \cdot (Y_{i+1} - Y_{i-1})$$

Was hier scheinbar kompliziert, weil abstrakt erscheint, erweist sich in EXCEL als simple Rechenroutine. Der Rechengang beginnt in der zweiten Punktzeile in Spalte D. In **Zeile 5** lautet der Formeleintrag: D5 =RUNDEN((C4-C6)*B5;2) und in E5 =RUNDEN((B6-B4)*C5;2)

Anschließend wird die Zellen

