

Manfred Becke*, Norbert Hebing**

Eine grafisch/mathematische Methode

zur Auswertung von Lichtbildern

Zusammenfassung

Es wird ein Verfahren zur Entzerrung von Lichtbildern vorgestellt. Durch Kombination von grafischen und mathematischen Methoden wird ein Raster erzeugt, so daß die Bildinformation maschenweise in eine maßstäbliche Skizze übertragen werden kann.

Summary

A process is herewith presented for correcting distortions in photographs. By combining graphical and mathematical methods, a grid is created which enables the information on the photograph to be transferred mesh-wise onto a scale drawing.

1 Einleitung

Ausgangspunkt einer Unfallrekonstruktion ist eine maßstäbliche Skizze der Unfallstelle. Diese Skizze zeigt z. B. die Endstellungen von Fahrzeugen und die Lage von Brems- und Schleuderspuren. Falls diese Unfallspuren nur durch Lichtbilder dokumentiert sind, ist es notwendig, sie zu entzerren, also eine Lichtbildauswertung durchzuführen.

Dazu sind verschiedene Verfahren entwickelt worden, die alle auf den Gesetzmäßigkeiten der Zentralprojektion beruhen. Um diese Gesetze anwenden zu können, wird unter anderem die Annahme getroffen, daß alle auszuwertenden Punkte in einer Ebene liegen. Man setzt also voraus, daß die Straßenebene eben ist.

Die Abbildungsverhältnisse können vor allem dann bestimmt werden, wenn die Koordinaten von vier Punkten in der Straßenebene, die gemeinsam auf einem Lichtbild abgebildet sind, bekannt sind. Man unterscheidet zwischen grafischen und mathematischen Methoden der Auswertung.

Das »Papierstreifen-Verfahren« und das »Möbius-Netz« sind grafische Verfahren, sie werden im Handbuch der Verkehrsunfallrekonstruktion [1] erläutert. Es wird darauf hingewiesen, daß der Konstruktionsaufwand in beiden Fällen sehr hoch ist.

Ein mathematisches Verfahren wird von BURKARD vorgestellt [2]. Er weist darauf hin, daß ein derartiges Verfahren nur dann sinnvoll angewandt werden kann, wenn ein Computer zum Einsatz kommt, der mit einem grafischen Tableau zur Dateneingabe ausgerüstet ist. Falls also die entsprechende Hardware zur Verfügung steht, läßt sich eine Lichtbildauswertung schnell und komfortabel durchführen.

Eine einfache Auswertung auch ohne Computer-Einsatz ist sicherlich dann möglich, wenn sowohl die Fotografie als auch die Skizze mit einem Raster überzogen wird, so daß die Bildinformationen maschenweise in die Skizze übertragen werden können. Im folgenden soll daher ein Verfahren vorgestellt werden, das es ermöglicht, ein derartiges Raster in einfacher Weise zu berechnen. Es handelt sich also um eine Kombination von grafischen und mathematischen Schritten.

Erläuterung der notwendigen mathematischen Formeln: Die Zentralprojektion

Bild 1 verdeutlicht die geometrischen Verhältnisse der Zentralprojektion. Die Punkte in der Ebene A (Straße) werden abgebildet in

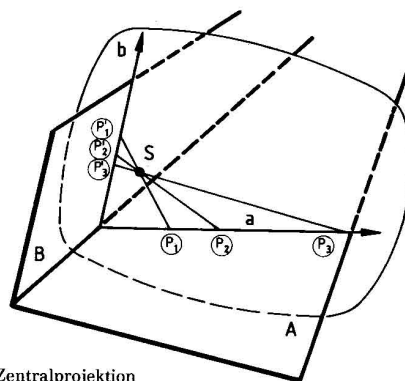


Bild 1 Die Zentralprojektion
Fig. 1 The central projection

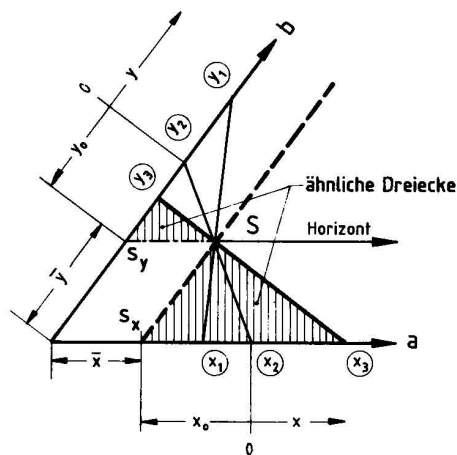


Bild 2 Abbildungsverhältnisse in der Ebene C
Fig. 2 Depictional relationships in Plane C

der Ebene B (Film-Ebene des Fotoapparates), indem Strahlen durch den Punkt S gelegt werden. S befindet sich in einem definierten Abstand von der Ebene B. Dieser Abstand entspricht der Brennweite des Objektivs, wenn es auf »unendlich« eingestellt ist. Bild 1 verdeutlicht weiterhin, daß eine Gerade wiederum als Gerade abgebildet wird. Diese beiden Geraden (a und b) spannen die Ebene C auf.

Die Abbildungsverhältnisse in dieser Ebene lassen sich nun recht einfach beschreiben.

Mit **Bild 2** soll dies verdeutlicht werden.

Zunächst legt man sowohl auf der Geraden a als auch auf der Geraden b einen Nullpunkt und einen Richtungssinn fest. Jedem Punkt auf der Geraden kann nun eine Koordinate zugeordnet werden. Die Punkte auf der Geraden a erhalten die Koordinaten x und die Punkte auf der Geraden b die Koordinaten y. Die Werte erhalten ein Vorzeichen, je nachdem ob die zugehörigen Punkte »links« oder »rechts« des Nullpunktes liegen. Der Nullpunkt kann zwar willkürlich gewählt werden, er wird jedoch im Hinblick auf die spätere Anwendung in den Punkt x_2 bzw. y_2 gelegt.

Des weiteren müssen die Punkte S_x und S_y konstruiert werden. Die Koordinaten der Punkte lauten x_0 bzw. y_0 . Dazu werden die Geraden a und b jeweils parallel verschoben in den Punkt S.

Verbindet man nun zwei beliebige Punkte (im Bild wurden die Punkte x_3 und y_3 ausgewählt) durch den Punkt S, so erhält man zwei ähnliche Dreiecke und es läßt sich folgendes Abbildungsgesetz formulieren:

$$\frac{x - x_0}{\bar{y}} = \frac{\bar{x}}{y - y_0} \quad (1)$$

Durch Umstellung erhält man:

$$(x - x_0)(y - y_0) = \bar{x} \cdot \bar{y} = \beta \quad (2)$$

Sind die Koordinaten von jeweils drei Punkten bekannt, so lassen

*Dipl.-Ing. Manfred Becke, öffentlich best. und vereid. Sachverständiger für Straßenverkehrsunfälle u. Kfz. Technik, Ing.-Büro Schimmelpfennig und Becke, Im Bilskamp 2 F, 4400 Münster-Wolbeck

**Dipl.-Phys. Norbert Hebing

sich drei Gleichungen formulieren, die es ermöglichen, die Unbekannten x_0 , y_0 und β , die Abbildungskoeffizienten, zu bestimmen. Es gilt:

$$x_0 = x_1 \cdot x_3 \frac{y_3 - y_1}{E} \quad (3)$$

$$y_0 = -y_1 y_3 \frac{x_3 - x_1}{E} \quad (4)$$

$$\beta = x_0 \cdot y_0 \quad (5)$$

mit

$$E = y_3 x_1 - y_1 x_3 \quad (6)$$

Zu jedem beliebigen Punkt auf der Geraden a mit der Koordinate x läßt sich nun die Koordinate y des entsprechenden Punktes auf der Geraden b berechnen und umgekehrt:

$$y = y_0 \cdot \frac{x}{x - x_0} \quad (7)$$

$$x = x_0 \cdot \frac{y}{y - y_0} \quad (8)$$

Diese Formeln gelten für jede beliebige Ebene C, allerdings mit jeweils anderen Abbildungskoeffizienten. Sind nun die Abbildungskoeffizienten zweier Ebenen C_I und C_{II} bekannt und die Lage der zugehörigen Geraden in den Ebenen A und B, so läßt sich die Abbildung eines beliebigen Punktes der Ebene A in die Ebene B bestimmen.

Wie die dargelegten Formeln konkret angewandt werden können, soll an einem Beispiel dargelegt werden.

3 Lichtbildauswertung

Die Beschreibung des Verfahrens knüpft an dem Beispiel an, das im Handbuch der Verkehrsunfallrekonstruktion [1] zur Erläuterung des Möbiusnetzes und des Papierstreifenverfahrens vorgestellt wurde.

Bild 3 a zeigt das Lichtbild und die entsprechende Skizze der Unfallstelle.

Vier Punkte können nun zur Lichtbildauswertung herangezogen werden (**Bild 3 b**). Diese sind

- P_1 Gullideckel
- P_3 Schnittpunkt der Radaufstandslinie und einer Straßenbegrenzungslinie
- Q_1 Lage eines abgerissenen Fahrzeugteiles
- Q_3 Radaufstandspunkt des linken Vorderrades.

Verbindet man die Punkte P_1 und P_2 bzw. Q_1 und Q_3 durch die

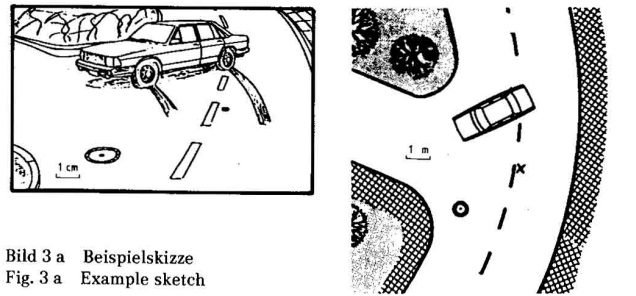


Bild 3 a Beispielskizze
Fig. 3 a Example sketch

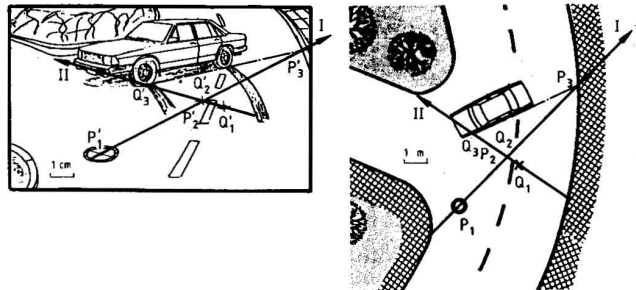


Bild 3 b Bestimmung der 4 Anknüpfungspunkte, Festlegung der Geraden I und II und deren Durchlaufsinne
Fig. 3 b Determining the 4 connection points, the straight lines I and II and their direction

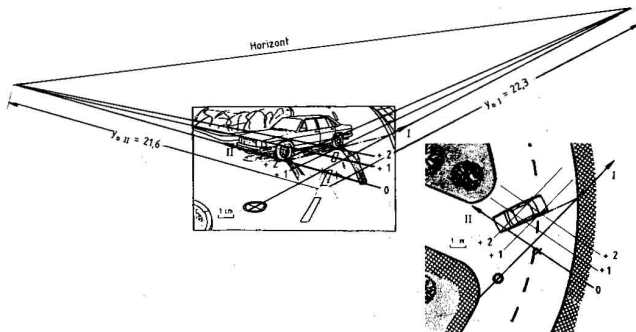


Bild 3 c Rasterfelder im Bild und Urbild
Fig. 3 c Grid fields in the sketch and in the original photo

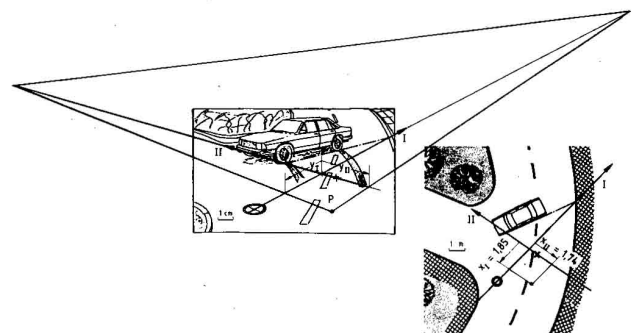


Bild 4 Bestimmung der Urbildkoordinaten eines Bildpunktes
Fig. 4 Determining the original-photo coordinations of a fixed point

Geraden I und II, so erhält man den Schnittpunkt P_2 bzw. Q_2 . Auf beiden Geraden befinden sich somit nun drei Punkte, deren Koordinaten sowohl im Bild als auch im Urbild angegeben werden können. Die Geraden in der Skizze bilden ein schiefwinkliges Koordinatensystem (**Bild 3 b**).

Für beide Geraden werden nun die Berechnungen entsprechend dem Vorkapitel durchgeführt. Die Ergebnisse sind in der **Tabelle 1** zusammengefaßt.

Mit den Koordinaten y_{0I} und y_{0II} erhält man die Horizontlinie im Bild.

Die beiden Geraden I und II werden entsprechend der Formel (7) in 1-Meter-Schritten unterteilt, (prinzipiell ist jede Einteilung, auch eine kleinere möglich). Die Darstellung erfolgt in **Bild 3 c**, indem beispielhaft für x die Werte + 1 m und + 2 m eingesetzt wurden.

	Gerade I	Gerade II
Koordinaten der Bildpunkte	$y_1 - 5,0 \text{ cm } (P_1)$ $y_2 0 \text{ cm } (P_2)$ $y_3 + 4,7 \text{ cm } (P_3)$	$- 0,9 \text{ cm } (Q_1)$ $0 \text{ cm } (Q_2)$ $+ 2,5 \text{ cm } (Q_3)$
Koordinaten der Urbildpunkte	$x_1 - 2,95 \text{ m } (P_1)$ $x_2 0 \text{ m } (P_2)$ $x_3 + 4,3 \text{ m } (P_3)$	$- 0,55 \text{ m } (Q_1)$ $0 \text{ m } (Q_2)$ $+ 1,8 \text{ m } (Q_3)$
E	7,64 m · cm	0,245 m · cm
Ergebnis Abbildungskoeffizienten	$x_o - 16,1 \text{ m}$ $y_o 22,3 \text{ cm}$ $\beta - 359,0 \text{ m} \cdot \text{cm}$	$- 13,7 \text{ m}$ $21,6 \text{ cm}$ $- 295,9 \text{ m} \cdot \text{cm}$

Tabelle 1 Berechnung der Abbildungskoeffizienten
Table 1 Calculating the depiction coefficients

	Gerade I	Gerade II
Abbildungs-koeffizient	$x_o - 16,1 \text{ m}$ $y_o 22,3 \text{ cm}$	$- 13,7 \text{ m}$ $21,6 \text{ cm}$
$y =$	$- 2,9 \text{ m}$	$- 3,15 \text{ m}$
$x = x_o \cdot \frac{y}{y - y_o}$	$- 1,85 \text{ m}$	$- 1,74 \text{ m}$

Tabelle 2 Bestimmung der Urbildkoordinaten eines Bildpunktes
Table 2 Determining the original-photo coordinates of a fixed point

In einem abschließenden Schritt kann in die Skizze ein schiefwinkliges Koordinatensystem mit der Kantenlänge 1 m gezeichnet werden. Die Rasterlinien verlaufen parallel zu den Grundlinien I und II (Bild 3 c). Die Maße werden jeweils entlang den Grundlinien abgetragen. Im allgemeinen ermöglichen solche Raster, falls sie genügend dicht sind, die Spuren abschnittsweise zu übertragen.

Zur Auswertung eines Einzelpunktes P geht man entsprechend dem Bild 4 vor. Man bestimmt zunächst die Bildkoordinaten, indem man durch den Punkt P Linien zu den Horizontpunkten zieht und Schnittpunkte mit den Grundgeraden I und II bildet. Nach Umrechnung gem. Formel (8) erhält man die Koordinaten für die maßstäbliche Skizze (Tabelle 2).

4 Zusammenfassung

Durch eine Kombination von grafischen und mathematischen Methoden ist es möglich, rautenförmige Raster zu erzeugen, so daß das Bild leicht maschenweise ausgewertet werden kann.

Literaturnachweis

[1] Burg, H./Rau, H.: Handbuch der Verkehrsunfallrekonstruktion, Verlag Information Ambis GmbH, Kippenheim, 1981

[2] Burkard, A.: »EBA«, Computerunterstützte Einzelbildauswertung, Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik, 1983, Heft 10.