

Eine Zweiachtelmethode für die Punktverdichtung in Kurvenfolgen beim Strassenbau

Autor(en): **Kasper, H.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Zeitschrift für Vermessung, Kulturtechnik und
Photogrammetrie = Revue technique suisse des mensurations, du
génie rural et de la photogrammétrie**

Band (Jahr): **51 (1953)**

Heft 1

PDF erstellt am: **30.06.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-210058>

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.

einiger Einübung der Auswerter, bei Verwendung eines *Autographen Wild A 6* die gegenseitige Orientierung eines Bildpaares samt allen Vorbereitungen und Nebenarbeiten in eineinviertel Stunden fertigzustellen.

Der praktische Nutzen des Verfahrens trat aber besonders augenfällig bei den Aerotriangulationen in Erscheinung. Im Gegensatz zur optisch-mechanischen Orientierung der Bildpaare eines Streifens, bei der jedesmal eine gefühlsmäßige Annäherung an die günstigste Lösung gesucht werden muß, ergibt sich bei unserem Verfahren die *gegenseitige Orientierung jedes einzelnen Bildpaares im Sinne der Methode der kleinsten Quadrate* und damit eine *gesetzmäßigere Verteilung der Orientierungsfehler über den ganzen Verlauf des Bildstreifens*. Dies bestätigen vor allem die Streifen-diagramme, wie solche im Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen in Wien anschließend an die Aerotriangulationen für die Zwecke des graphischen Ausgleiches angefertigt werden.

Schließlich sei hervorgehoben, daß mit dem gegenständlichen Verfahren eine beträchtliche Verbesserung der nach dem Ausgleichen verbleibenden *Höhenfehler* erzielbar ist. Denn bei diesem Verfahren sind gerade die für die Höhenbestimmung ausschlaggebenden Längsneigungen $d\varphi$ wesentlich genauer zu ermitteln, als sie auf optisch-mechanischem Weg erfaßt werden könnten.

Eine Zweiachtelmethode für die Punktverdichtung in Kurvenfolgen beim Straßenbau

Von H. Kasper, Heerbrugg

Beim Ausbau von Anschlußstellen und scharfen Kurven an Autostraßen, die hauptsächlich aus Klotoidenfolgen und engen Kreisbögen bestehen und in Gerade oder flachere Kreisbögen übergehen, werden die Straßenränder vor dem Aufbringen der Straßendecke durch Vermessungsfachleute meist *gleichabständig* verpflockt. Dies geschieht jedoch nie so dicht, daß der Pflasterer des Straßenrandes nicht noch Zwischenpunkte einschalten müßte, um eine stetige, knickfreie Randlinie zu erzielen.

Sein Verfahren für die Punktverdichtung muß aus begreiflichen Gründen so einfach sein, daß er es stets rein mechanisch ohne besondere Überlegungen überall anwenden kann.

Solange man nur mit Kreisbögen trassierte, kam der Pflasterer mit der bekannten *Viertelmethode* aus. Wenn man nach dieser in einem Kreisbogen gemäß Abb. 1 einen Neupunkt P zwischen den Punkten P_1 und P_2 abzusetzen hat, mißt man die Pfeilhöhe F des Bogens in P_2 von der Sehne $\overline{P_1 P_2}$. Dann trägt man $F/4$ vom Halbierungspunkt der Sehne $\overline{P_1 P_2}$ senkrecht zu dieser ab und erhält den gewünschten Zwischenpunkt 1.

Dieses einfache Verfahren versagt jedoch, wenn es sich um Klotoidenbögen und Klotoidenfolgen mit schärferem Richtungswechsel handelt, die nicht mehr durch Kreisbogenstücke ersetzt werden dürfen.

Kürzlich brauchten die Pflasterer beim Bau einer Autobahnanschlußstelle, die nach neuen fahrdynamischen Gesichtspunkten entworfen ist, deshalb eine neue Methode, um eine sichere Punktverdichtung der Klotoidenfolgen und Kreisbögen vornehmen zu können. Da es gelang,

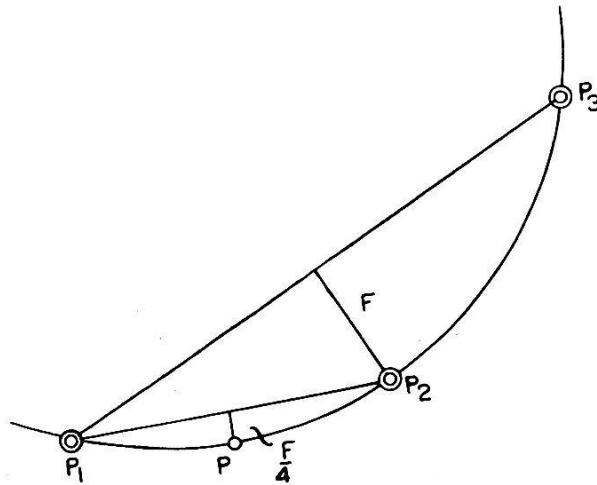


Abb. 1. Die Viertelmethode für die Kreisabsteckung

die Aufgabe einfach und universell zu lösen, möge hier über die Entwicklung dieses Verfahrens berichtet werden, das in Zukunft vermutlich oft Verwendung finden wird.

Die Ausgangsformel ist die „natürliche Gleichung der Klotoide“. Sie lautet:

$$L \cdot R = A^2 \quad (1)$$

L ist die Bogenlänge und R der Krümmungsradius eines Klotoidenpunktes. L wird vom Wendepunkt der Klotoide aus gezählt. In letzterem ist der Krümmungsradius unendlich groß. A ist ein Festwert oder Para-

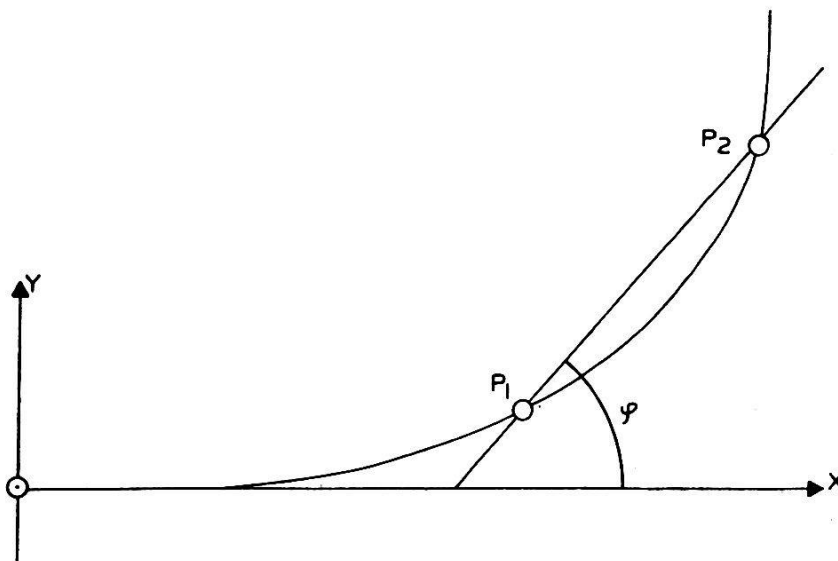


Abb. 2. Der Richtungswinkel einer Klotoidensehne

meter, der die Größe der Klotoide kennzeichnet. Der Tangentenwinkel im gleichen Klotoidenpunkt in bezug auf die Haupttangente im Wendepunkt ist

$$\tau = \frac{L}{2R} \quad (2)$$

Für den Richtungswinkel der Sehne (Abb. 2), welche durch die beiden Klotoidenpunkte P_1 und P_2 mit den Bogenlängen L_1 und L_2 geht, gilt folgende Näherungsformel

$$\varphi = \frac{1}{6A^2} (L_1^2 + L_1 \cdot L_2 + L_2^2) \quad (3)$$

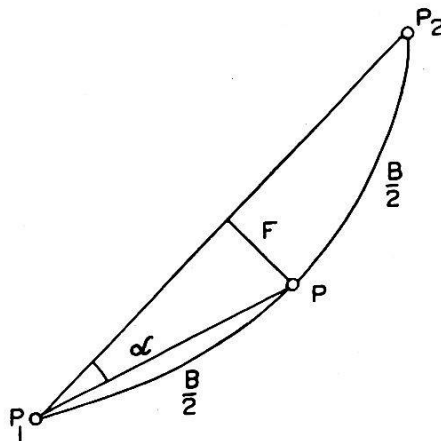


Abb. 3. Die Pfeilhöhe eines Klotoidenbogens

Diese kann zur Entwicklung eines Absteckverfahrens für gleich-abständige Zwischenpunkte verwendet werden. Sie ist bis auf etwa 20° richtig, solange die Pfeilhöhe F des Klotoidenbogens (Abb. 3) unter $0,02 \cdot A$ bleibt.

Die Pfeilhöhe kann man hinreichend genau aus

$$F = \alpha \cdot \frac{B}{2} \quad (4)$$

berechnen, wobei $B = L_2 - L_1$ (5)

ist und der Bogen gleich der Sehne gesetzt wird.

α läßt sich als Differenz der Richtungswinkel zweier Klotoidensehnen

$$\varphi_{1,2} = \frac{1}{6A^2} \cdot (L_1^2 + L_1 \cdot L_2 + L_2^2) \quad (6)$$

und $\varphi_1 = \frac{1}{6A^2} (L_1^2 + L_1 \cdot L + L^2)$ (7)

berechnen. Dabei ist

$$L = \frac{L_1 + L_2}{2} \quad (8)$$

Nach einigen Umformungen erhält man den Winkel α zwischen den Sehnen mit

$$\begin{aligned} \alpha &= \varphi_{1,2} - \varphi_1 = \frac{1}{6 A^2} [L_1(L_2 - L) + L_2^2 - L^2] = \\ &= \frac{1}{6 A^2} \cdot \frac{B}{2} \cdot (L_1 + L_2 + L) = \frac{B \cdot L}{4 A^2} \end{aligned} \quad (9)$$

und die Pfeilhöhe aus (4) und (9) mit

$$F = \frac{B^2 \cdot L}{8 A^2} \quad (10)$$

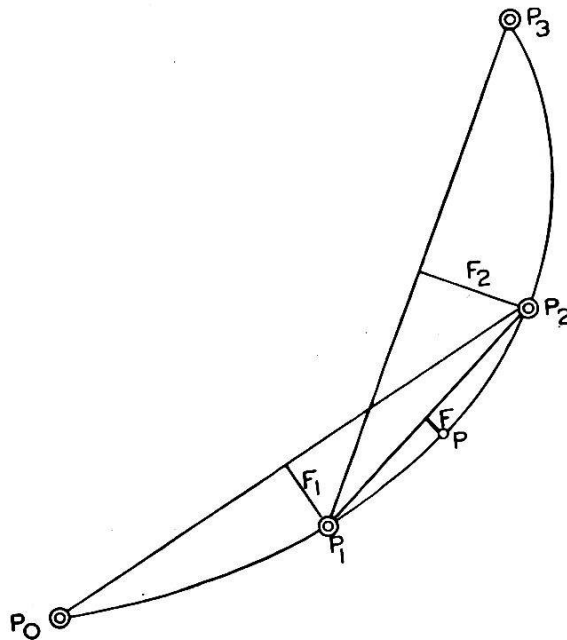


Abb. 4. Die Zweiachtelmethode für die Klotoidenabsteckung

Wendet man diese Formel sinngemäß auf die Pfeilhöhen F_1, F_2 und F der Abb. 4 an, so erhält man für F_1 mit

$$\frac{L_0 + L_2}{2} = L - \frac{B}{4}$$

und

$$L_2 - L_0 = B$$

$$F_1 = \frac{(4L - B) \cdot B^2}{32 A^2} \quad (11)$$

ferner mit

$$\frac{L_1 + L_3}{2} = L + \frac{B}{4}$$

und

$$L_3 - L_1 = B$$

$$F_2 = \frac{(4L + B) \cdot B^2}{32 A^2} \quad (12)$$

und schließlich mit

$$\frac{L_1 + L_2}{2} = L$$

und

$$L_2 - L_1 = \frac{B}{2}$$

$$F = \frac{L \cdot B^2}{32 A^2} \quad (13)$$

Durch Addition von (11) und (12) entsteht

$$F_1 + F_2 = \frac{L \cdot B^2}{4} \quad (14)$$

Aus (13) und (14) ist

$$F = \frac{F_1 + F_2}{8} \quad (15)$$

oder als Gebrauchsformel für die Absteckung

$$\boxed{F = \frac{F_1}{8} + \frac{F_2}{8}} \quad (16)$$

Nach dieser einfachen Schlußformel, die der Viertelmethode bei der Kreisabsteckung entspricht, kann man das Verfahren für die gleichartige Verdichtung von Übergangsbögen „Zweiachtelmethode“ nennen.

Diese Zweiachtelformel ist universell verwendbar. Sie gilt nicht nur für Klotoidenfolgen, sondern ebenso für den Kreis wie für den Übergang in die Gerade, bzw. auch in Wendelinien und gegensinnigen Klotoidenfolgen, ohne Rücksicht auf Parameter oder Radius.

Im Kreis geht sie wegen

$$F_1 = F_2 = F_0$$

aus

$$F = \frac{F_1}{8} + \frac{F_2}{8}$$

in

$$F = \frac{F_0}{4}$$

über. In der Geraden ist $F = 0$. In gegensinnigen Klotoidenästen wechselt F das Vorzeichen. (Abb. 5.)

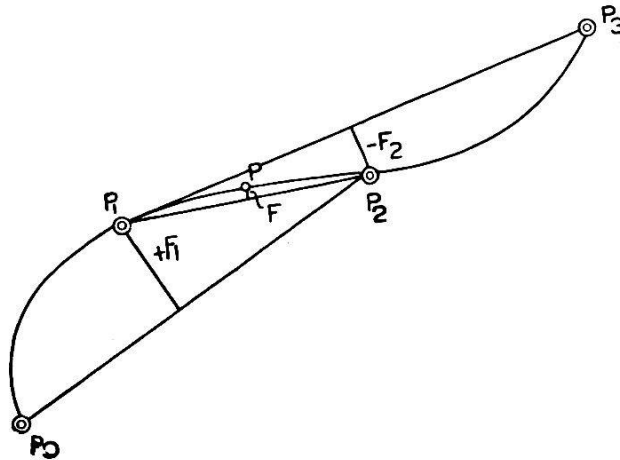


Abb. 5. Die Anwendung der Zweiachtelmethode in der Wendelinie

Der Pflasterer hat demnach bei durchgehender gleichabständiger Stationierung nur jeweils die Pfeilhöhen der sich überkreuzenden Sehnen zu messen, sie zu achteln und zu addieren. Der so entstandene Wert wird als Pfeilhöhe vom Halbierungspunkt der Zwischensehne abgesetzt. Der Pflasterer muß sich dabei gar nicht um die Art der Kurve kümmern. Er hat nur darauf zu achten, daß Pfeilhöhen, die auf *entgegengesetzten* Bogen-seiten liegen, zu *subtrahieren* sind.

Für das Messen der Pfeilhöhen kann er einen Maßstab mit der Teilungseinheit von 8 cm Länge verwenden und daran gleich die geachtelten Pfeilhöhenwerte ablesen. Die Auftragung der Zwischenpfeilhöhe muß jedoch mit dem normalen Zentimeterstab erfolgen. Die verwendete Meßlatte soll deshalb beide Teilungen nebeneinander tragen.

Beispiel:

Von einer Klotoide mit dem Parameter $A = 100$ sind die Punkte mit den Bogenlängen $L_4 = 40$, $L_6 = 60$, $L_8 = 80$, $L_{10} = 100$, $L_{12} = 120$, $L_{14} = 140$ und $L_{16} = 160$ abgesteckt. Die Zwischenpunkte für $L = 70$, 90 , 110 und 130 sollen nach der Zweiachtelmethode eingeschaltet werden. Wie groß ist der dabei entstehende Fehler in der Pfeilhöhe?

Für diese Genauigkeitsabschätzung müssen zunächst mit Hilfe einer Klotoidentafel die rechtwinkligen Koordinaten der Klotoidenpunkte berechnet werden. Man erhält dabei für die Punkte $4, 6, 8, 10, 12, 14, 16$ folgende Werte, wobei der Vollständigkeit halber auch die Tangentenwinkel und Krümmungsradien mit aufgenommen wurden:

<i>P</i>	<i>L</i>	τ	<i>X</i>	<i>Y</i>	<i>R</i>
4	40	5,09 ^g	39,974	1,066	250
6	60	11,46	59,806	3,592	167
8	80	20,37	79,185	8,471	125
10	100	31,83	97,529	16,371	100
12	120	45,84	113,927	27,751	83
14	140	62,39	127,139	42,690	71
16	160	71,62	135,700	60,682	62

Die Sollwerte der Koordinaten usw. für die abzusteckenden Zwischenpunkte 7, 9, 11, 13 sind:

<i>P</i>	<i>L</i>	τ	<i>X</i>	<i>Y</i>	<i>R</i>
7	70	15,60	69,581	5,692	143
9	90	25,78	88,535	12,008	111
11	110	38,52	106,041	21,610	91
13	130	53,79	121,020	34,791	77

Es genügt, die Pfeilhöhen genauigkeit für die Punkte 7 und 13 zu bestimmen, denn die Werte für 9 und 11 müssen innerhalb dieser beiden liegen.

Die Pfeilhöhen können aus den rechtwinkligen Koordinaten nach folgender Formel berechnet werden (Abb. 6):

$$F = \frac{(Y - Y_1) \cdot (X_2 - X_1) - (X - X_1) \cdot (Y_2 - Y_1)}{\sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2}} \quad (17)$$

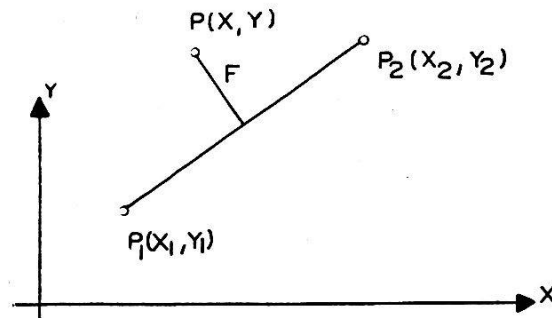


Abb. 6. Zur Formelerklärung für den Abstand eines Punktes von einer Strecke

Im vorliegenden Falle ist

aus 4, 6 und 8 $F_6 = 1,198,$
aus 6, 8 und 10 $F_8 = 1,597$

und daher

$$F_7 = \frac{F_6}{8} + \frac{F_8}{8} = 0,349$$

Dieser Wert von F_7 entspricht der *Meßgröße aus den Pfeilhöhen*.

Rechnet man ihren Sollwert zur Kontrolle aus den rechtwinkligen Koordinaten von 6, 7 und 8 nach (17), so erhält man

$$F_7 = 0,350.$$

Die Differenz beträgt also nur 1 mm.

Im zweiten Fall soll F_{13} ermittelt werden. Zunächst ist aus 10, 12 und 14 nach (17)

$$F_{12} = 2,388$$

und aus 12, 14 und 16

$$F_{14} = 2,782,$$

woraus sich als Meßgröße die Pfeilhöhe

$$F_{13} = \frac{F_{12}}{8} + \frac{F_{14}}{8} = 0,646$$

ergibt.

Zur Kontrolle ist aus den Koordinaten von 12, 13 und 14 der Sollwert

$$F_{13} = 0,649.$$

Die Differenz zwischen Soll- und Ist-Wert beträgt daher nur 3 mm.

Für F_9 und F_{11} liegt sie also zwischen 1 und 3 mm.

Die Genauigkeit ist demnach auch bei größeren Tangentenwinkeln und relativ langen Bogenstücken durchaus befriedigend. In der Praxis würde für den Parameter $A = 100$ eine vorgängige Absteckung mit dem Punktabstand $B = 20$ m vollauf genügen. Man wird jedoch für die Grundabsteckung meist einen 10-m-Abstand wählen. Es ist klar, daß bei dieser Dichte der Pflasterer seine Zwischenpunkte ganz einwandfrei nach der Zweiachtelmethode absetzen kann.

Als überschlägiges Kriterium für die Genauigkeit der Methode sei noch eine Angabe für die Viertelmethode aus dem *Vademekum für Vermessungskunde* von H. WITTKÉ (Stuttgart 1948) erwähnt, die für die Zweiachtelmethode analog gilt.

Der Fehler der Pfeilhöhe bleibt unter 1 cm, wenn für einen gegebenen Radius die Sehne den Tafelwert S nicht überschreitet.

$R =$	10	$S =$	11
	50		39
	100		66
	300		151
	500		223
	1000		374

Zwischenwerte lassen sich aus den in doppelt logarithmischer Teilung rechtwinklig aufgetragenen Werten einfach graphisch interpolieren.