

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

**Herausgeber:** Schweizerischer Verein für Vermessungswesen und Kulturtechnik = Société suisse de la mensuration et du génie rural

**Band:** 63 (1965)

**Heft:** 11

**Artikel:** Baulinien und Grenzen parallel zu Strassenachsen mit Klothoiden

**Autor:** Märki-Bonanomi, Paul

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-220019>

### Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 23.02.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Baulinien und Grenzen parallel zu Straßenachsen mit Klothoiden

Paul Märki-Bonanomi, Gemeindeingenieur, Meilen

## 1. Einleitung

Seit dem Erscheinen der Klothoidentabellen und in vermehrtem Maße noch seit der Eröffnung verschiedener elektronischer Recheninstitute wird die Klothoide allgemein zur Trassierung von Hauptstraßen verwendet. Durch diese neuen Rechenhilfsmittel ist nämlich die Projektierung und Absteckung von Straßenachsen mit Klothoiden wesentlich einfacher geworden als die früher übliche Trassierung mit Korbbögen.

Die Vermarkung von Straßenrändern und die Absteckung von Baulinien parallel zu einer Klothoide bieten hingegen einige Schwierigkeiten. Bei der Vermarkung dürfen gemäß eidgenössischen Instruktionen nur Gerade und Kreisbögen verwendet werden, und die Definition einer Grenze als Parallelle zu einer Klothoide wäre nicht statthaft.

Bei Baulinien sind im allgemeinen keine derartigen Vorschriften vorhanden, und deren Festsetzung parallel zur Straßenachse (Klothoide) wäre möglich. Diese Definition hätte jedoch schwere Nachteile bei der zeichnerischen Darstellung und bei der Absteckung der Baulinie zur Folge. Die Baulinie wird nämlich meistens vor dem Straßenbau festgesetzt und rechtskräftig erklärt. Bekanntlich ist es unmöglich, daß die Straßenränder mit der in der Grundvermessung verlangten Genauigkeit mit den Projektplänen übereinstimmen. Die Baulinien dürfen deshalb nicht parallel zum fertigen Straßenrand abgesteckt werden, weil die Lage der rechtskräftigen Baulinie bereits fixiert ist und nicht entsprechend der Lage des gebauten Straßenzuges verschoben werden darf.

Dies hat zur Folge, daß für die korrekte Absteckung einer Baulinie, die als Parallelle zu einer Klothoide definiert ist, im allgemeinen zuerst die Klothoide selbst abgesteckt werden müßte. Weil aber die Baulinie nicht wie die Straßenränder in einem Arbeitsgang, sondern für jeden einzelnen Bauplatz mit zeitlichen Unterbrüchen von Jahren und Jahrzehnten angegeben werden, ist es sicher zweckmäßiger, wenn die Baulinien wie die Grundstücksgrenzen nur durch Gerade und Kreisbögen definiert werden.

Das Problem besteht nun darin, eine Reihe von möglichst wenigen Kreisbögen zu finden, die möglichst parallel zu einer gegebenen Klothoide verlaufen.

## 2. Allgemeine Annäherung einer Klothoide durch einen Kreisbogen

Die Differentialgleichungen von Kreis und Einheitsklothoide lauten:

für den Kreis

$$d\tau_{\text{Kr}} = k \, dl \quad (1)$$

für die Klothoide

$$d\tau_{\text{Kl}} = l \, dl \quad (2)$$

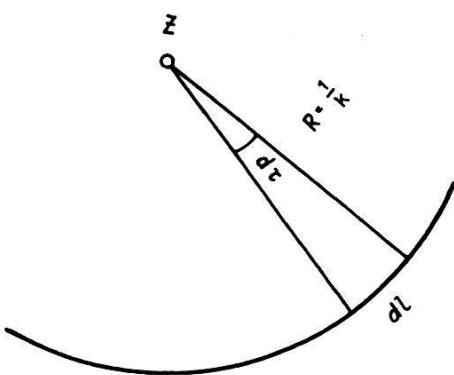


Abb. 1

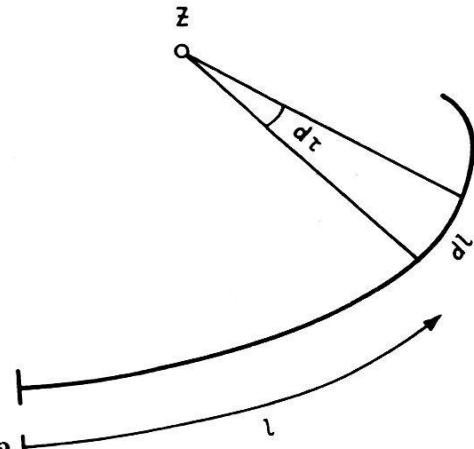


Abb. 2

Der Unterschied der Winkeländerung zwischen Kreis und Einheitsklohoide beträgt:

$$d\tau = d\tau_{K\ddot{r}} - d\tau_{Kl} = (k - l) dl$$

Durch Integration erhalten wir den Winkel zwischen Kreis und Einheitsklohoide zu:

$$\tau = \int (k - l) dl$$

$$\boxed{\tau = \tau_0 + kl - \frac{1}{2} l^2} \quad (3)$$

Eine nochmalige Integration gibt den Abstand  $q$  zwischen Kreis und Einheitsklohoide:

$$q = \int \left( \tau_0 + kl - \frac{1}{2} l^2 \right) dl$$

$$\boxed{q = q_0 + \tau_0 l + \frac{1}{2} kl^2 - \frac{1}{6} l^3} \quad (4)$$

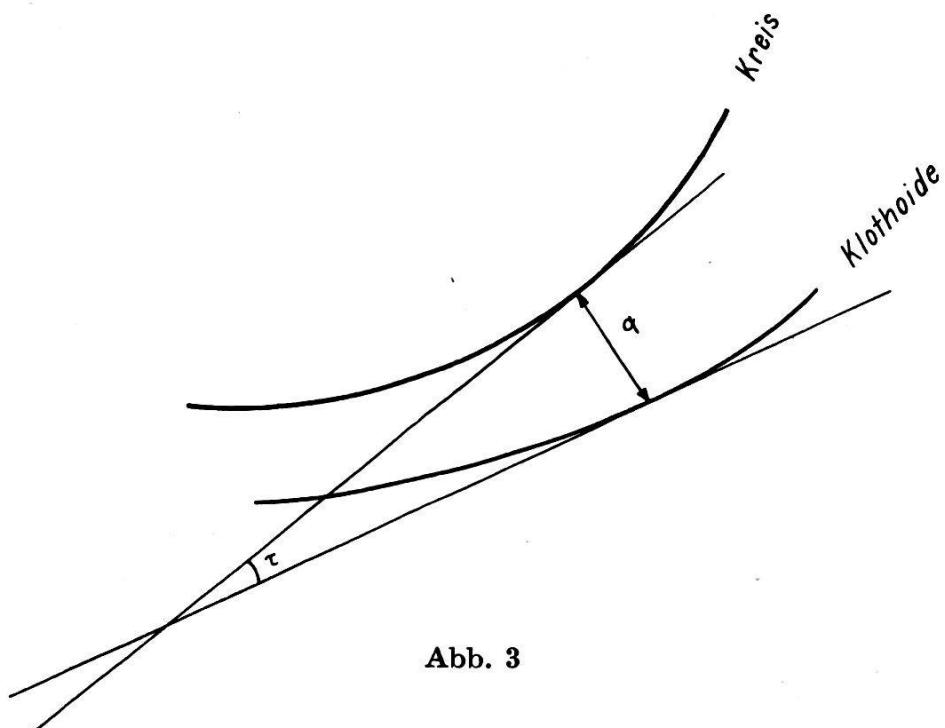


Abb. 3

Diese Formeln sowie alle nachfolgend daraus abgeleiteten Beziehungen und Nomogramme sind nur dann streng richtig, wenn der Winkel  $\tau$  zwischen Kreis und Klothoide klein ist. Dies ist bei allen praktischen Anwendungen der Fall, weil der Abstand  $q$  zwischen Kreis und Klothoide immer sehr klein sein wird gegenüber der Länge der gewählten Bogenabschnitte.

### 3. Wahl von gleich langen Bogenabschnitten

Aus praktischen Überlegungen teilen wir die Klothoide gemäß Abbildung 4 in Paare von gleich langen Abschnitten der Länge  $\Delta l$  auf. Für jeden Abschnitt wählen wir einen Radius für den Kreisbogen und bestimmen ferner, daß sich die Kreisbögen mit der Klothoide am Anfang und am Ende dieser einzelnen Abschnitte schneiden sollen.

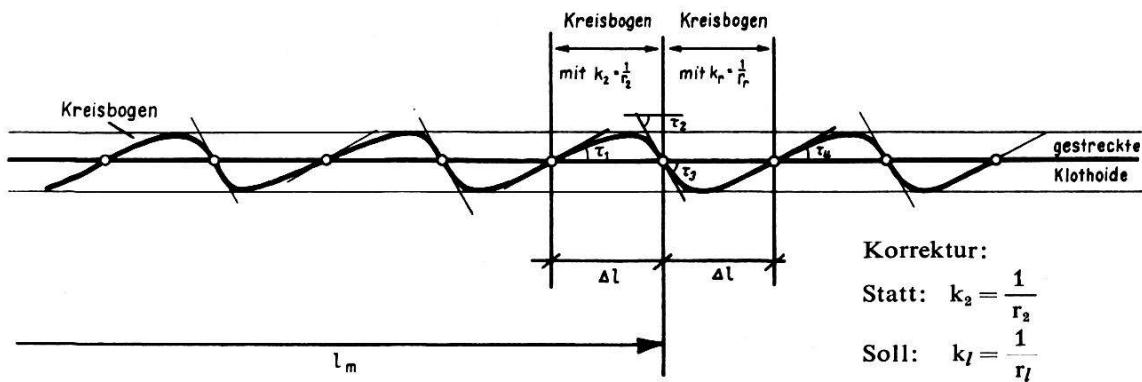


Abb. 4

Wir machen ferner die Bedingung, daß sich alle Kreisbögen tangieren sollen, das heißt, daß die Klothoide durch einen Korbbogen angenähert werden soll. Diese Bedingung ist erfüllt, wenn

$$\boxed{\begin{aligned} \tau_1 &= \tau_4 \\ \tau_2 &= \tau_3 \end{aligned}} \quad \text{und} \quad (5)$$

Mit Formel (3) ergeben sich für diese Winkel folgende Werte:

$$\begin{aligned} \tau_1 &= \tau_0^{\text{links}} + k_l (l_m - \Delta l) - \frac{1}{2} (l_m - \Delta l)^2 \\ \tau_2 &= \tau_0^{\text{links}} + k_l l_m - \frac{1}{2} l_m^2 \\ \tau_3 &= \tau_0^{\text{rechts}} + k_r l_m - \frac{1}{2} l_m^2 \\ \tau_4 &= \tau_0^{\text{rechts}} + k_r (l_m + \Delta l) - \frac{1}{2} (l_m + \Delta l)^2 \end{aligned}$$

Daraus folgt durch Elimination der Integrationskonstanten  $\tau_0$  mit Hilfe der Beziehungen (5):

$$\frac{1}{2} (k_l + k_r) = l_m \quad (6)$$

Was bedeutet diese Gleichung? Bei der Einheitsklohoide gilt bekanntlich  $r \cdot l = 1$  oder, weil  $k = 1/r$ ,

$$l = k \quad (7)$$

Mit Worten: Die Krümmung der Klohoide an irgendeiner Stelle ist gleich der Klohoidenlänge an dieser Stelle. Gleichung (6) verlangt nun, daß das Mittel von zwei aufeinanderfolgenden Kreisbogenkrümmungen gleich der Klohoidenlänge  $l_m$  bei der Berührungsstelle dieser beiden Kreisbögen sein soll, damit die verschiedenen Kreisbögen gemäß Abbildung 4 als Korbbögen die Klohoide in gleichmäßigen Abständen der Länge  $\Delta l$  schneiden. Gleichung (6) kann figurlich wie folgt dargestellt werden:

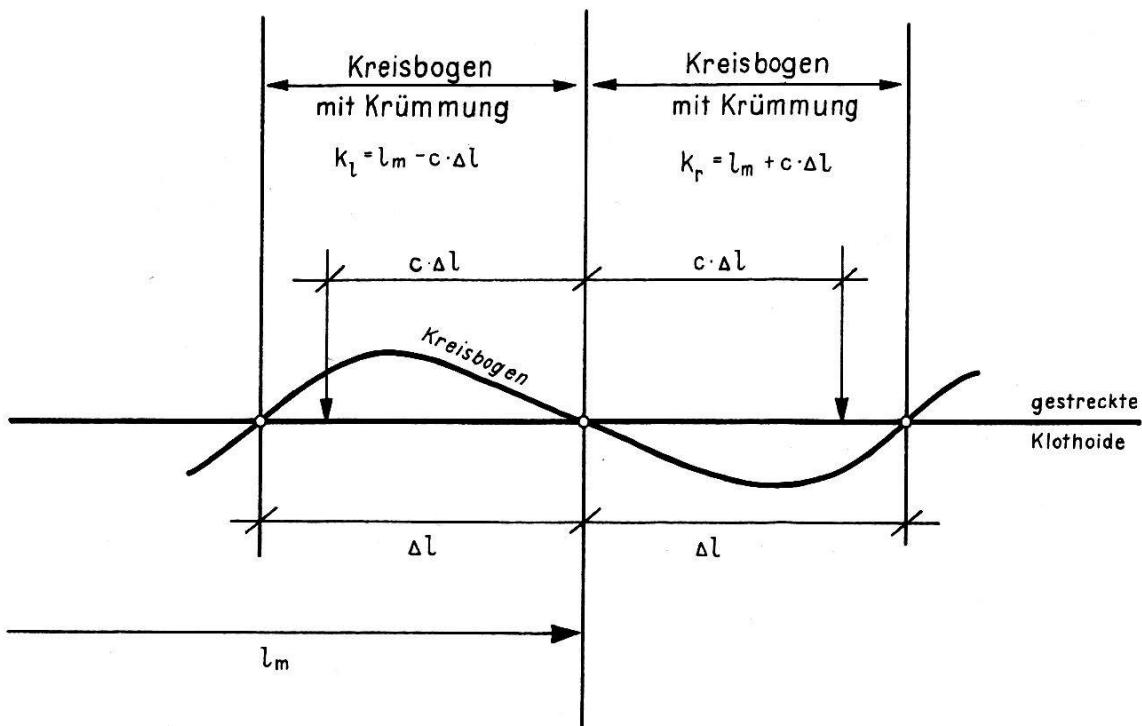


Abb. 5

Die Bezeichnung  $c$  bedeutet eine beliebige Größe zwischen 0 und 1, mit der sich gemäß der Formel in den Abbildungen 5 ff. die Krümmung der Kreisbogenstücke berechnen läßt.

Unter diesen Voraussetzungen können wir die Integrationskonstanten  $\tau_0$  und  $q_0$  in den Formeln (3) und (4) mit folgenden Randbedingungen berechnen:

**Linker Kreisbogen:**  $q = 0$  bei  $l = l_m$   
und  $l = l_m - \Delta l$

**Rechter Kreisbogen:**  $q = 0$  bei  $l = l_m$   
und  $l = l_m + \Delta l$

$$\tau_0^{\text{links}} = l_m \left( \frac{1}{2} l_m - k_l \right) - \frac{1}{2} \Delta l (l_m - k_l) + \frac{1}{6} \Delta l^2$$

$$\tau_0^{\text{rechts}} = l_m \left( \frac{1}{2} l_m - k_r \right) + \frac{1}{2} \Delta l (l_m - k_r) + \frac{1}{6} \Delta l^2$$

$$q_0^{\text{links}} = - l_m^2 \left( \frac{1}{3} l_m - \frac{1}{2} k_l \right) + \frac{1}{2} \Delta l l_m (l_m - k_l) - \frac{1}{6} \Delta l^2 l_m$$

$$q_0^{\text{rechts}} = - l_m^2 \left( \frac{1}{3} l_m - \frac{1}{2} k_r \right) - \frac{1}{2} \Delta l l_m (l_m - k_r) - \frac{1}{6} \Delta l^2 l_m$$

Damit die Formeln für  $\tau$  und  $q$  einfacher werden, messen wir gemäß der Figur in Abbildung 6 die Bogenlänge nicht mehr vom Klothoidenanfang ( $l = 0$ ), sondern von der Stelle  $l_m$  an und ersetzen  $l$  durch  $\lambda$  nach der Formel

$$l = l_m + \lambda \Delta l \quad (8)$$

Unter diesen Voraussetzungen können mit den Gleichungen (3) und (4) die in der Abbildung 6 angegebenen Formeln für  $\tau$  und  $q$  berechnet werden. Wesentlich an diesen Formeln ist:

Der Abstand  $q$  zwischen Kreis und Klothoide hängt lediglich von der gemeinsamen Länge  $\Delta l$  des Kreis- und Klothoidenabschnittes und von der Krümmung  $k$  des Kreisbogens, nicht aber von der Klothoidenlänge  $l_m$  ab.

Die Extremalwerte von  $q$  liegen bei  $\tau = 0$ , womit  $q_{\max}$  und dessen Lage  $\lambda$  berechnet werden können.

Um die Bedeutung dieser Formeln übersichtlich zu zeigen, sind in Abbildung 7 für verschiedene Kreiskrümmungen die Abweichungen  $q$  zwischen Klothoide und Kreis dargestellt.

Die beiden folgenden Spezialfälle sind bemerkenswert und sollen näher untersucht werden:

$$c = \frac{1}{2}$$

Die kleinste Abweichung zwischen Kreis und Klohoide ergibt sich, wenn die Krümmung des Kreisbogens gleich groß gewählt wird wie die Krümmung der Klohoide in der Mitte des Bogens.

$$c = \frac{1}{3} \text{ oder } c = \frac{2}{3}$$

Das eine Kreisende tangiert die Klohoide, wenn die Krümmung des Kreisbogens gleich groß ist wie die Krümmung der Klohoide in einem Drittel des Bogens.

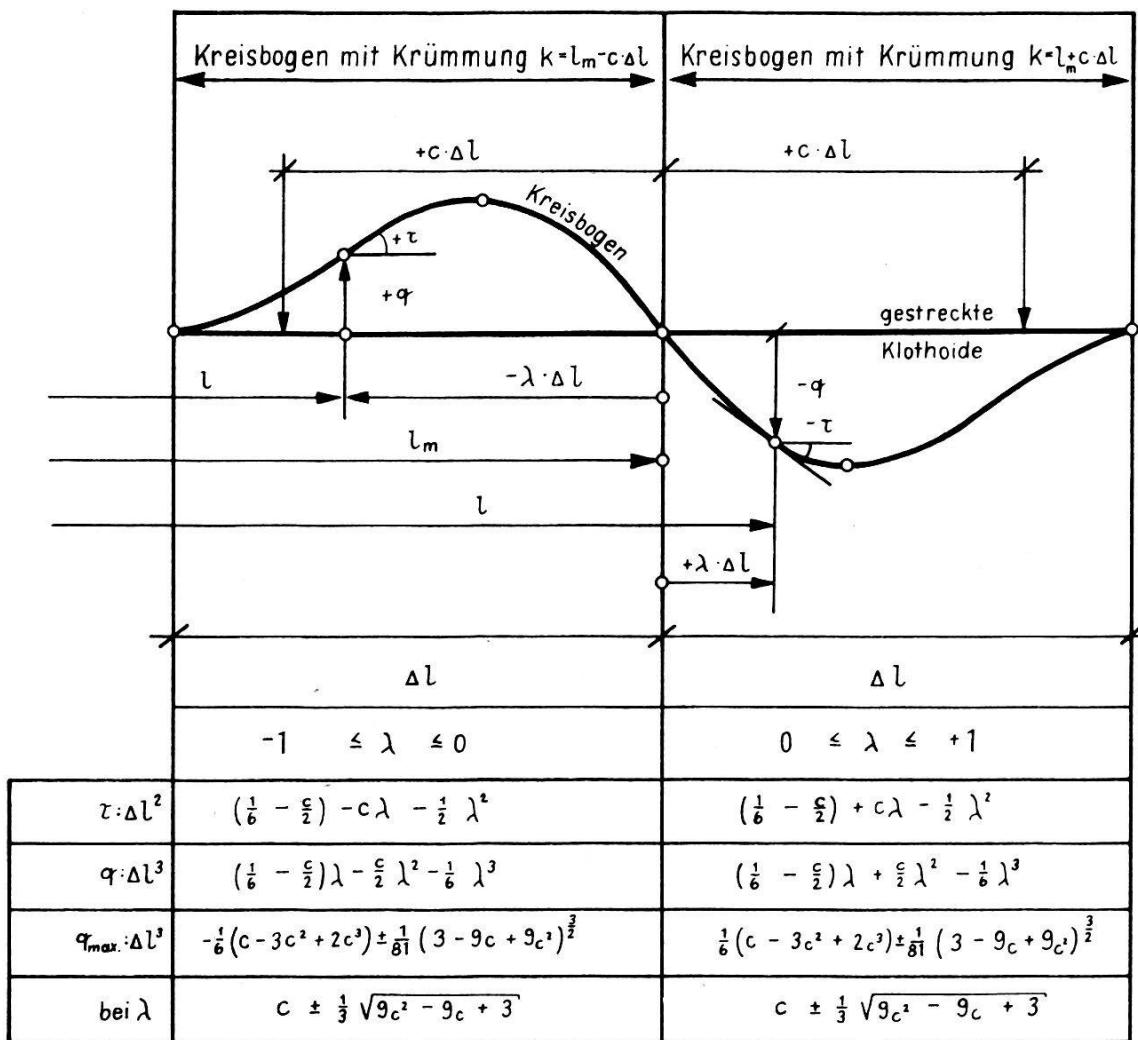


Abb. 6

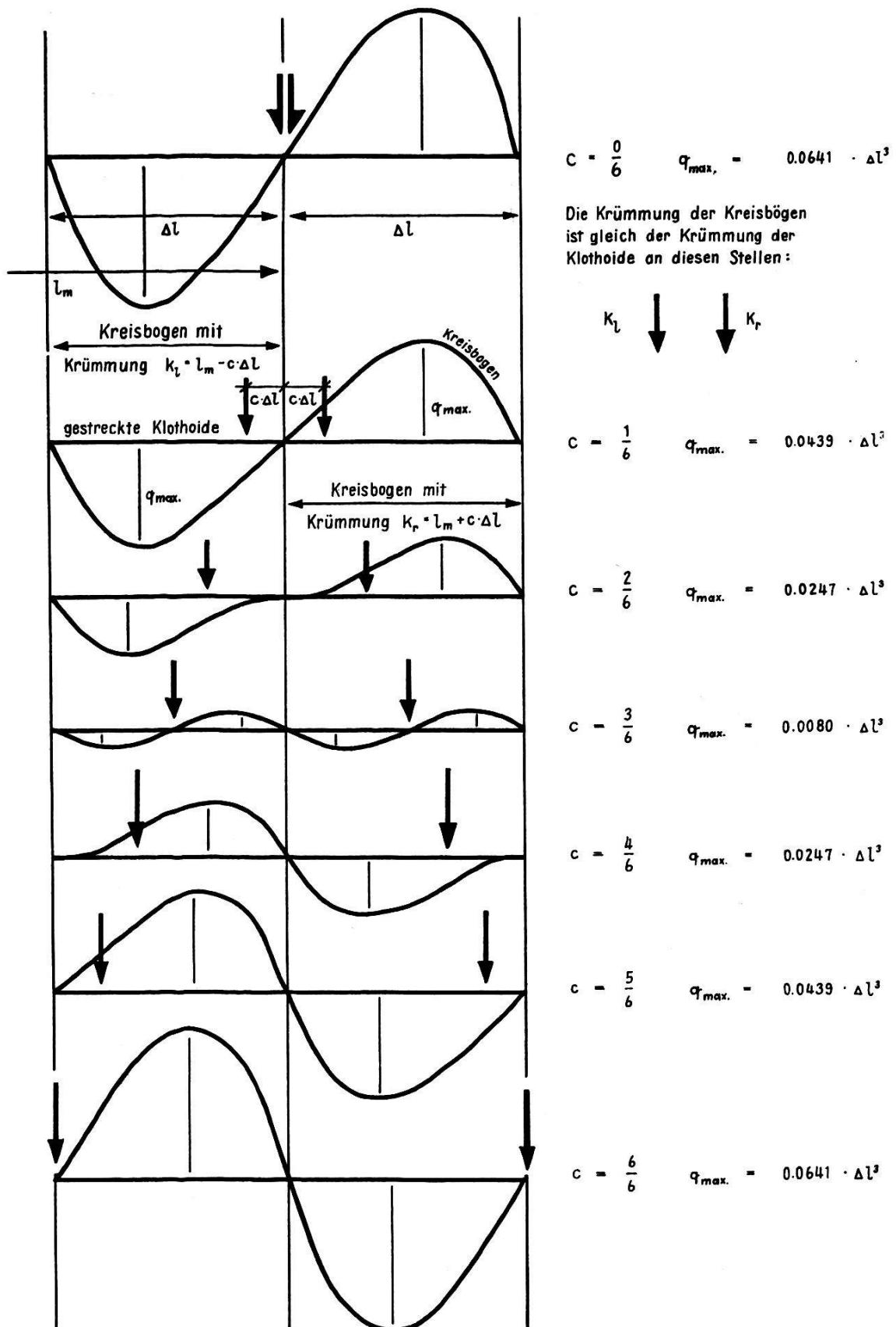


Abb. 7

#### 4. Formeln und Nomogramme für die Spezialfälle $c = \frac{1}{2}$ , $c = \frac{1}{3}$

Gegenüberstellung der wichtigsten Merkmale und Formeln dieser beiden Spezialfälle:

$c = \frac{1}{2}$	$c = \frac{2}{3}$
Kreisbogen hat gleiche Krümmung wie Klohoide in der Mitte des Bogenabschnittes (Abb. 7).	Kreisbogen hat gleiche Krümmung wie Klohoide in den äußeren Dritteln der beiden Bogenabschnitte (Abb. 7).
Der Winkel zwischen Kreis und Klohoide ist am linken und am rechten Ende jedes Kreisbogenabschnittes gleich groß und beträgt: $\tau(\text{arcus}) = -\frac{1}{12} \Delta l^2 \quad (9)$	An den äußeren Enden von je zwei Bogenabschnitten tangiert der Kreisbogen die Klohoide: $\tau = 0$
Die einzelnen Kreisbögen tangieren einander (Korrbogen).	
Am Anfang und am Ende der Klohoide kein tangentialer Übergang zum Korrbogen.	Am Anfang und am Ende der Klohoide tangentialer Übergang zum Korrbogen.
Unterteilung der Klohoide in eine gerade oder ungerade Anzahl von Kreisbögen möglich.	Unterteilung der Klohoide nur in eine gerade Anzahl von Kreisbögen möglich.
Die Stellen mit maximalen Abständen zwischen Kreis und Klohoide haben vom linken und vom rechten Ende des Bogenabschnittes den gleichen Abstand $= \left( \frac{1}{6} \sqrt{3} - \frac{1}{2} \right) \Delta l$ $\cong 0,211 \quad \Delta l \quad (10)$	Der maximale Abstand zwischen Kreis und Klohoide liegt im inneren Drittel der beiden Bogenabschnitte
Die Abstände $q_{\max}$ haben die gleiche Größe: $q_{\max} = \pm \frac{\sqrt{3}}{216} \Delta l^3$ $\cong \pm 0,0080 \Delta l^3 \quad (11)$	und beträgt: $q_{\max} = \pm \frac{2}{81} \Delta l^3$ $\cong \pm 0,0247 \Delta l^3 \quad (12)$

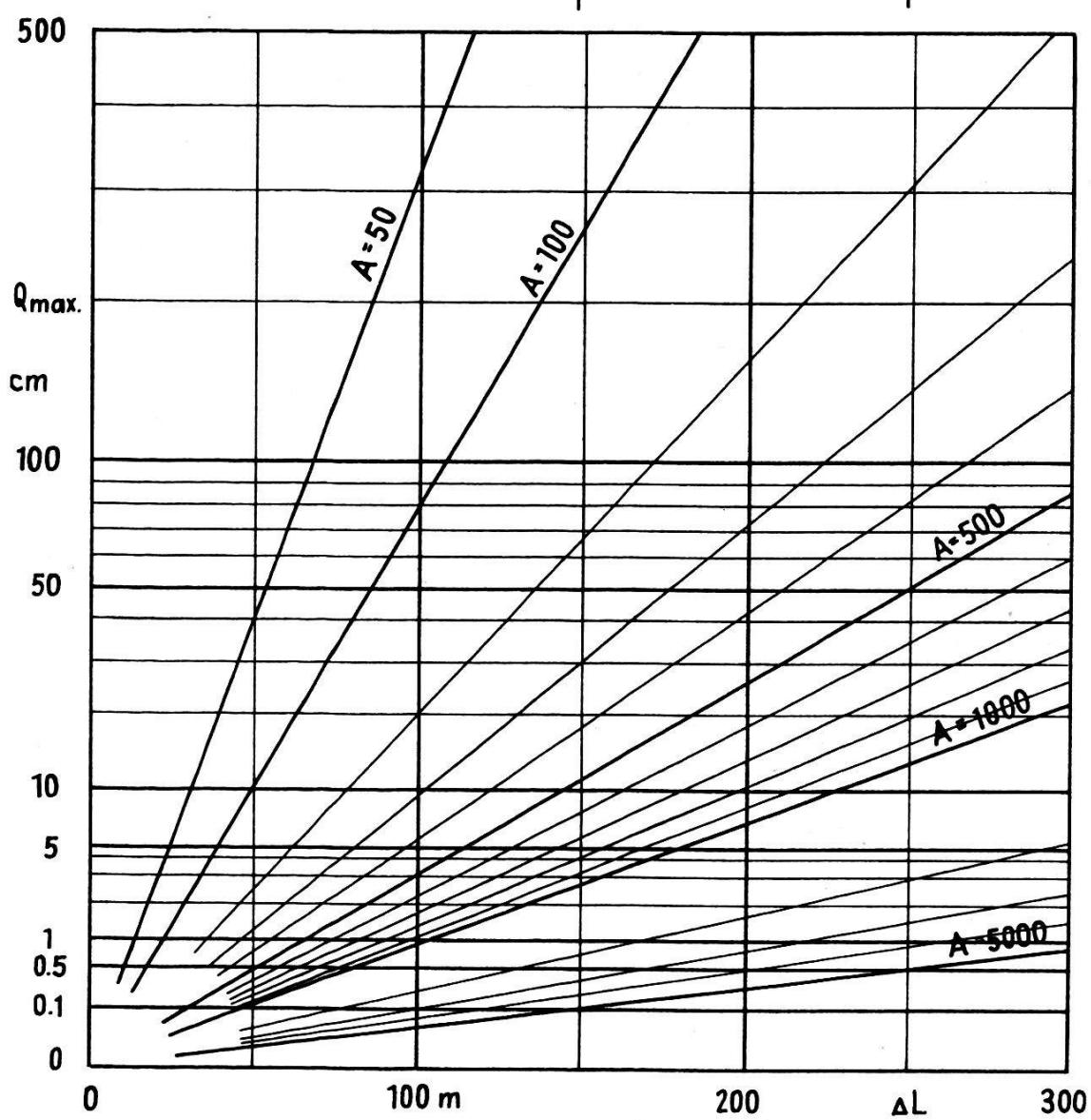
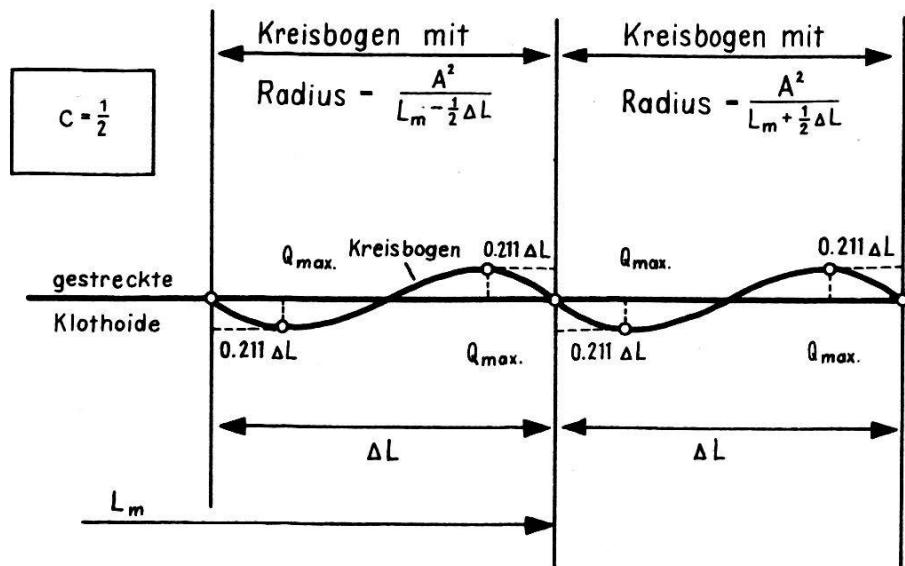


Abb. 8

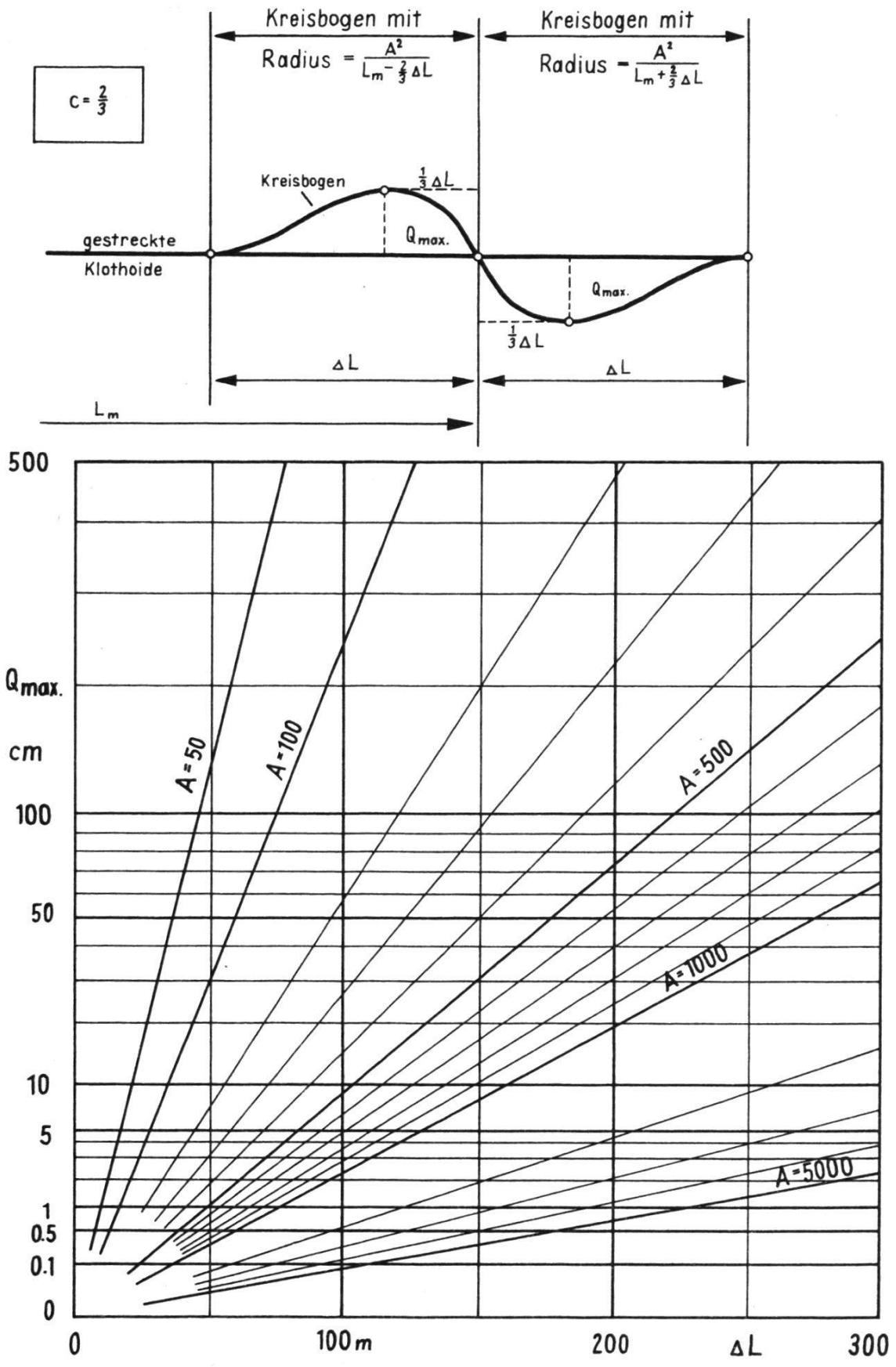


Abb. 9

$c = \frac{1}{2}$	$c = \frac{2}{3}$
In der Mitte eines Bogenabschnittes schneiden sich Kreis und Klothoide.	In der Mitte eines Bogenabschnittes beträgt der Abstand zwischen Kreis und Klothoide: $q = \pm \frac{1}{48} \Delta l^3$ $\cong \pm 0,0208 \Delta l^3 \quad (13)$ oder $q \cong 0,84 q_{\max} \quad (14)$

### Das Nomogramm

Abb. 8

Abb. 9

gibt für verschiedene Klothoidenparameter und Klothoidenlängen direkt die maximale Abweichung  $Q_{\max}$ . Nach diesen Nomogrammen ergeben sich beispielsweise unter Annahme eines maximal zulässigen Abstandes zwischen Kreis und Klothoide von  $Q_{\max} = 5 \text{ cm}$  folgende maximale Bogenlängen  $\Delta L$ , die mit einem einzigen Kreisbogen angenähert werden können:

$A$	$\Delta L$ bei $c = \frac{1}{2}$	$\Delta L$ bei $c = \frac{2}{3}$
50 m	25 m	17 m
100 m	40 m	27 m
500 m	116 m	79 m
1000 m	184 m	126 m
2000 m	292 m	200 m

$$5. \text{ Beispiel für Spezialfall } c = \frac{1}{2}$$

Gegeben ist eine aus Korbbögen und Klothoiden bestehende Straßenachse, zu welcher parallel die Baulinien mit Kreisbögen definiert werden sollen. Die Stationierungen der Hauptpunkte sind aus einem ersten elektronischen Berechnungsgang bekannt.

Zuerst untersuchen wir für jede Klothoide, wie viele Kreisabschnitte wir wählen müssen, damit der Abstand zwischen Kreisbögen und der Parallelen zur Straßenachse (Klothoide) ein zulässiges Maß von beispielsweise 5 cm nicht überschreitet. Dazu unterteilen wir in der Tabelle Abbildung 10 die einzelnen Klothoiden so oft, bis der Unterschied  $Q_{\max}$  gemäß Nomogramm Abbildung 8 nicht mehr größer als 5 cm ist. Die Längen der Klothoide müssen für diese Untersuchung nur näherungsweise bekannt sein. Auch spielt es keine Rolle, daß die für die Klothoide

selbst berechneten Abstände  $Q_{\max}$  für die Parallelen zur Klohoide nicht genau gleich groß sind. Es ergibt sich, daß bei unserem Beispiel bei beiden Klohoiden eine Unterteilung in je 2 Kreisbögen genügt.

Klothoiden-parameter $A$	Unterteilung der Klohoide in:					
	1 Kreisbogen		2 Kreisbögen		3 Kreisbögen	
	$\Delta L$	$Q_{\max}$	$\Delta L$	$Q_{\max}$	$\Delta L$	$Q_{\max}$
m	m	cm	m	cm	m	cm
108	73	27	37	3		
190	90	20	45	2		

Abb. 10

In der Tabelle Abbildung 11 werden sodann mit den bekannten Stationierungen der Hauptpunkte die Stationierungen der Zwischenpunkte bestimmt. Für diese Zwischenpunkte werden in einem Recheninstitut die Koordinaten der Rückversicherungen (Baulinienpunkte) mit konstantem Abstand von der Straßenachse berechnet (Abb. 12). Weil sich Kreisbögen und Klohoide in der Bogenmitte schneiden, werden gleichzeitig auch alle Koordinaten der Bogenmitten als Kontrolle bei der zeichnerischen Darstellung und bei der Absteckung ermittelt.

Mit der Koordinatentabelle Abbildung 12 wird die Baulinie kartiert (Abb. 13). Die Radien der Baulinienabschnitte werden der Tabelle Abbildung 11 entnommen. Eine Vermaßung der Baulinie auf Grenz- oder Polygonpunkte ist nicht nötig, weil nach erfolgtem Straßenbau diese Fixpunkte kaum mehr vorhanden sind. Erst bei der Absteckung der für Neubauten notwendigen Baulinienabschnitte werden die einzelnen Baulinienpunkte auf die dannzumal vorhandenen Fixpunkte rücktransformiert und mit diesen Maßen abgesteckt.

Dieses Beispiel zeigt eine Methode, die auch für lange Klohoiden mit nur wenigen Kreisbogenabschnitten auskommt. Die Berechnung der Radien und der Kilometrierungen der Zwischenpunkte ist einfach. Die Koordinaten der Baulinienpunkte können mit dem üblichen Programm für die Berechnung der Rückversicherungen bestimmt werden. Hingegen hat diese Methode den Schönheitsfehler, daß an beiden Enden des Korbogens ein Knick gegenüber dem anschließenden Kreis- oder Geradenstück entsteht.

$$6. \text{ Kombination der beiden Spezialfälle } c = \frac{1}{2} \text{ und } c = \frac{2}{3}$$

Die Firma Digital AG in Zürich, Institut für elektronische Datenverarbeitung, wird demnächst ein Programm zur Verfügung stellen, welches die Berechnung von Baulinien als Parallele zu Klohoiden wie folgt löst:

a) Am Anfang und am Ende des Korbogens sind Kreisbogenstücke vom Typ  $c = \frac{2}{3}$  angeordnet. Damit erfolgt der Übergang zu den anschließenden Kreisbögen oder Geraden tangential.

b) Zwischen diesen beiden Randbögen setzt sich der Korrbogen aus Kreisbogenstücken vom Typ  $c = \frac{1}{2}$  zusammen. Dadurch kann eine gegebene Klo thoide mit einer wesentlich kleineren Anzahl von Kreisbogen-

Klo thoide					Kreisbogen			
<i>A</i>	Stationierung	Distanzen	<i>KA</i> <i>KE</i>	Länge	<i>BA</i> <i>BM</i> <i>BE</i>	Radien		
						Achse	Baulinie links	Baulinie rechts
						$R_A = \frac{A^2}{L}$	$R_L = \frac{R_A}{R_A + 13} m$	$R_R = \frac{R_A}{R_A - 12} m$
m	m	m		m		m	m	m
	1070,43	21,72			$\frac{1}{6}$			
	1092,15 (1098,65)	21,71			$\frac{2}{6}$			
	1113,86	21,72			$\frac{3}{6}$	+ 160,00	+ 173,00	Einlenker + 148,00
	1135,58	21,72			$\frac{4}{6}$			
	1157,30	21,72			$\frac{5}{6}$			
	1179,02	21,72			$\frac{6}{6}$			
108,362	1179,02	18,34	<i>KA</i>	73,39	<i>BA</i>			
	1197,36	18,35		55,05	<i>BM</i>	+ 213,30	+ 226,30	+ 201,30
	1215,71			36,70	<i>BE</i>			
	$\Delta L = 36,69$	36,69		36,69				
108,362	1215,71 (1221,12)	18,35		36,70	<i>BA</i>			
	1234,06	18,35		18,35	<i>BM</i>	+ 639,91	Einlenker + 652,91	+ 627,91
	1252,41		<i>KE</i>	0,00	<i>BE</i>			
	$\Delta L = 36,70$	36,70		36,70				
189,996	1268,57 (1276,30)	22,56	<i>KA</i>	0,00	<i>BA</i>			
	1291,13	22,56		22,56	<i>BM</i>	- 1600,11	- 1587,11	Einlenker - 1612,11
	1313,69			45,12	<i>BE</i>			
	$\Delta L = 45,12$	45,12		45,12				
189,996	1313,69	22,56		45,12	<i>BA</i>			
	1336,25	22,57		67,68	<i>BM</i>	- 533,37	- 520,37	- 545,37
	1358,82		<i>KE</i>	90,25	<i>BE</i>			
	$\Delta L = 45,13$	45,13		45,13				

Abb. 11

Profil-KM	RV	Y-Koordinate	X-Koordinate
1070,43	2	89115,89	37047,24
1092,15	1	89148,23	37040,19
1092,15	2	89134,73	37061,23
1098,65	1	89153,36	37043,33
1113,86	1	89165,82	37049,86
1113,86	2	89155,29	37072,53
1135,58	1	89184,56	37057,06
1135,58	2	89177,19	37080,95
1157,30	1	89204,10	37061,66
1157,30	2	89200,03	37086,33
1179,02	1	89224,08	37063,58
1179,02	2	89223,38	37088,57
1197,36	1	89241,21	37063,15
1197,36	2	89243,02	37088,08
1215,71	1	89258,58	37061,21
1215,71	2	89262,18	37085,95
1221,12	2	89267,73	37085,10
1234,06	1	89276,16	37058,23
1252,41	1	89293,99	37054,67
1268,57	1	89309,82	37051,43
1276,30	1	89317,41	37049,89
1291,13	1	89332,02	37046,95
1291,13	2	89336,86	37071,48
1313,69	1	89354,45	37042,75
1313,69	2	89358,76	37067,37
1336,25	1	89377,15	37039,16
1336,25	2	89380,59	37063,92
1358,82	1	89400,15	37036,51
1358,82	2	89402,37	37061,41

RV 1: Baulinienpunkt rechts  
 RV 2: Baulinienpunkt links

Abb. 12

stücken angenähert werden als bei der ausschließlichen Verwendung von Kreisbögen vom Typ  $c = \frac{2}{3}$ .

Diese Anordnung ist in der Abbildung 14 dargestellt.

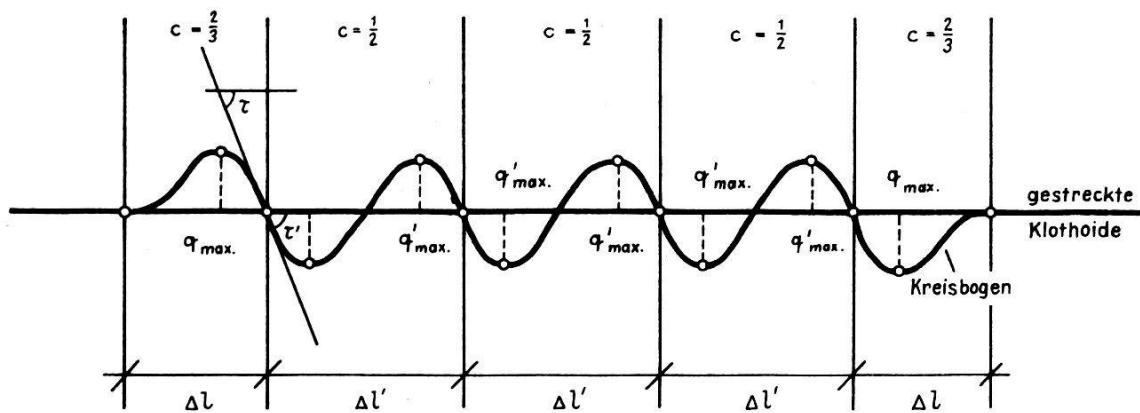


Abb. 14

Damit die Kreisbögen vom Typ  $c = \frac{2}{3}$  tangential zu denjenigen vom Typ  $c = \frac{1}{2}$  übergehen, müssen sie kürzer gewählt werden. Unter Ver-

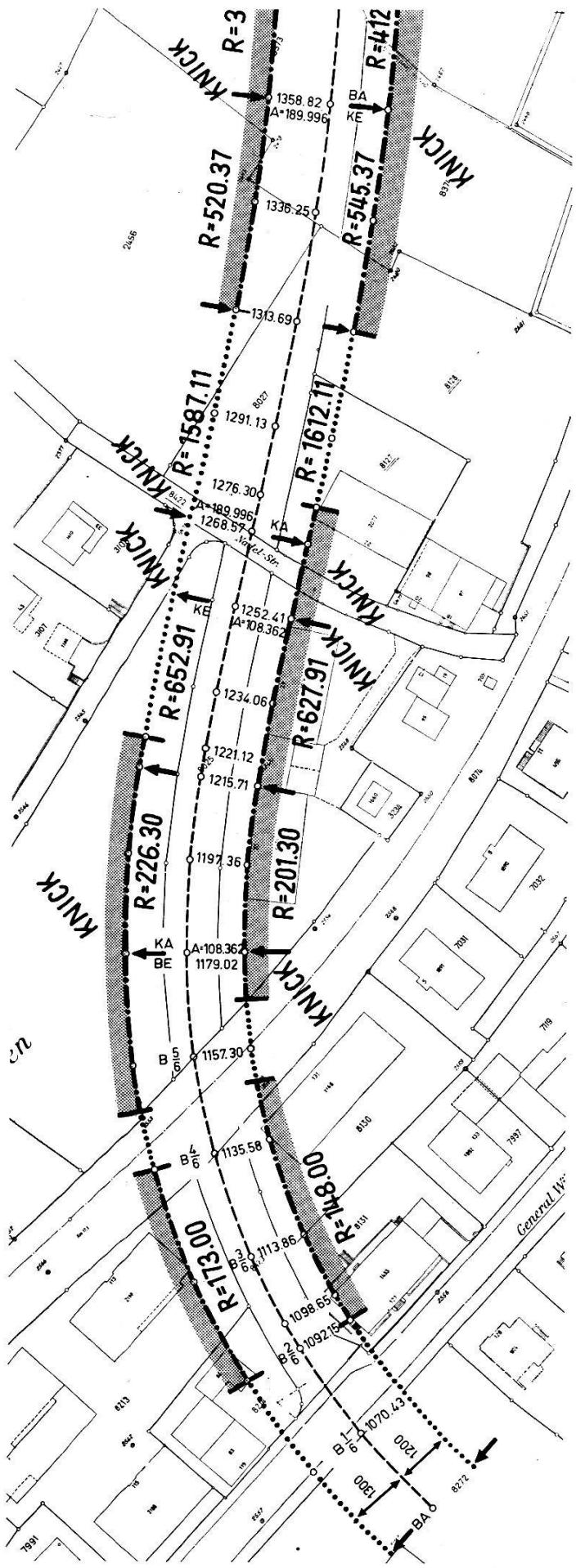


Abb. 13

wendung der Bezeichnungen gemäß Abbildung 14 sind die Winkel  $\tau$  zwischen Klothoide und Kreisbogen gemäß Formeln in Abbildung 6:

$$\text{beim Typ } c = \frac{2}{3}: \quad \tau = -\frac{1}{6} \Delta l^2$$

$$\text{beim Typ } c = \frac{1}{2}: \quad \tau' = -\frac{1}{12} \Delta l'^2$$

Diese Winkel sollen gleich groß sein:  $\tau = \tau'$ . Daraus folgt:

$$\Delta l' = \sqrt{2} \Delta l \quad (15)$$

Die maximalen Abstände zwischen Kreis und Klothoide sind in Formeln (11) und (12) dargestellt. Wenn man nun  $\Delta l'$  gemäß Formel (15) durch  $\Delta l$  ersetzt, ergeben sich die maximalen Abweichungen zu:

$$\begin{aligned} q_{\max} &= \frac{2}{81} \Delta l^3 \cong 0,0247 \Delta l^3 \cong 0,0087 \Delta l'^3 \\ q'_{\max} &= \frac{\sqrt{6}}{108} \Delta l^3 \cong 0,0227 \Delta l^3 \cong 0,0080 \Delta l'^3 \end{aligned} \quad (16)$$

Diese Beziehungen sind im Nomogramm Abbildung 15 dargestellt.

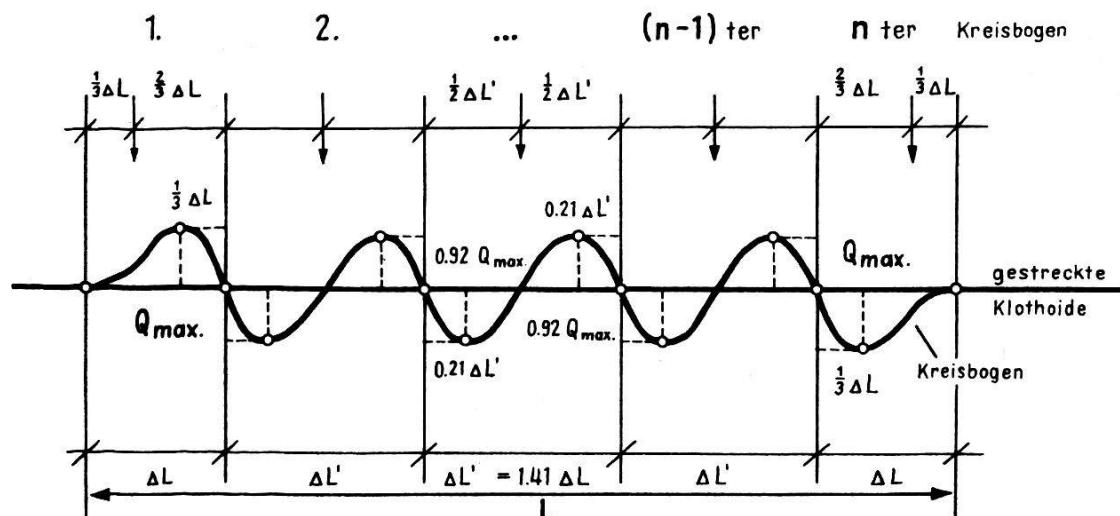
### *Beispiel*

Die Baulinien gemäß Abbildung 13 sollen mit der vorliegenden Methode bestimmt werden. Als maximal zulässiger Abstand zwischen Kreis und Klothoide werden wieder 5 cm angenommen. Mit dem Nomogramm Abbildung 15 werden in der Tabelle Abbildung 16 die Abweichungen  $Q_{\max}$  zwischen Kreis und Klothoide bestimmt:

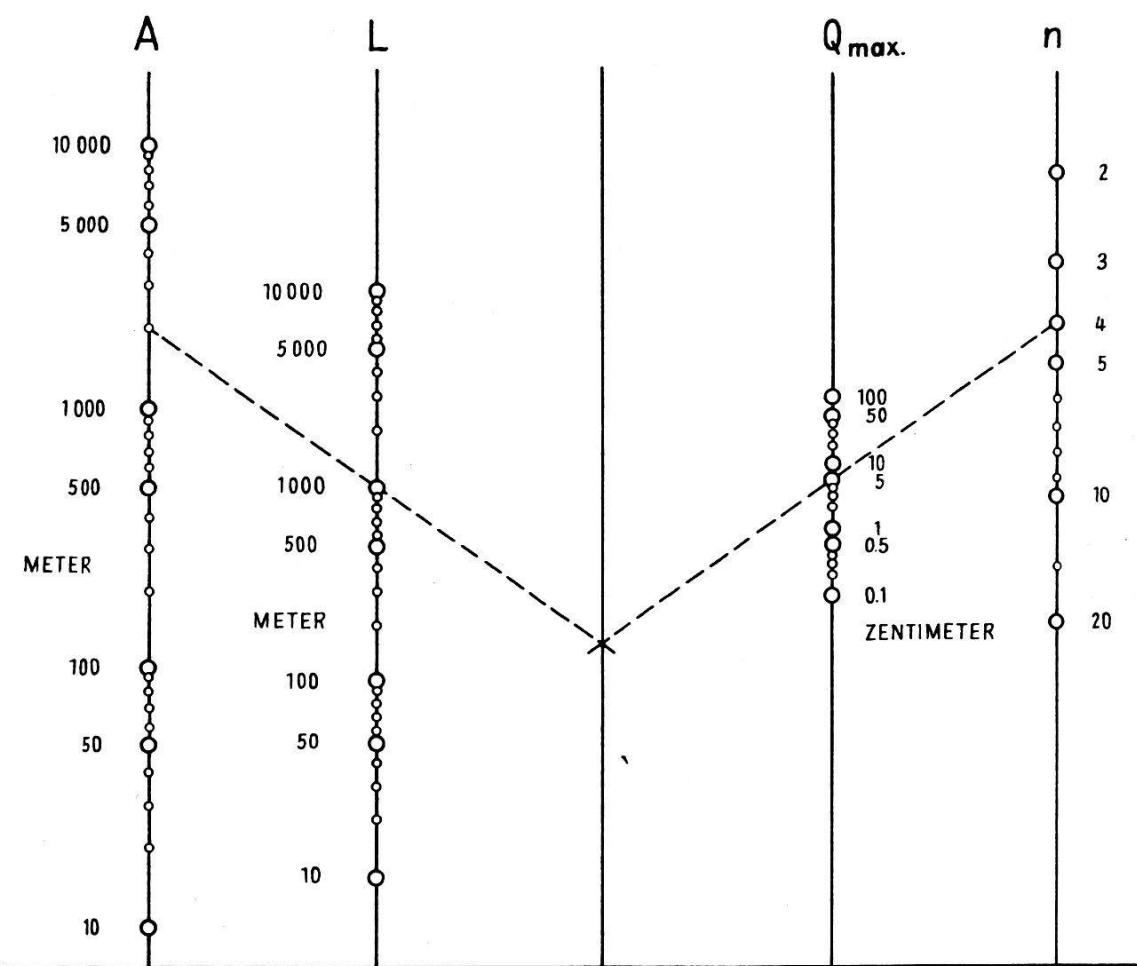
Klothoide		Unterteilung der Klothoide in:		
Parameter <i>A</i>	Länge <i>L</i>	2 Kreisbögen <i>Q<sub>max</sub></i>	3 Kreisbögen <i>Q<sub>max</sub></i>	4 Kreisbögen <i>Q<sub>max</sub></i>
m	m	cm	cm	cm
108	73	10	2	
190	90	6	1	

Abb. 16

Für beide Klothoiden ist eine Unterteilung in drei Bogenabschnitte notwendig, währenddem bei der weiter oben dargestellten Verwendung von Kreisbögen mit  $c = \frac{1}{2}$  je zwei Bogenabschnitte genügt haben. Hingegen ist es mit dem elektronischen Rechenprogramm für diese Methode nicht mehr nötig, die Stationierungen der Zwischenpunkte als Grundlage für die Berechnung der Rückversicherungspunkte von Hand zu berechnen.



Die Krümmung der Kreisbögen ist gleich der Krümmung der Klothoide an den mit einem Pfeil ↓ bezeichneten Stellen.



Beispiel: Eine Klothoide mit dem Parameter  $A = 2000 \text{ m}$  und einer Länge von  $L = 1000 \text{ m}$  wird in  $n = 4$  Kreisbögen unterteilt. Der maximale Abstand  $Q_{\max.}$  zwischen Kreis und Klothoide beträgt 5 cm.

Abb. 15

Es genügt vielmehr, die vorhandene, in einem früheren Arbeitsgang elektronisch berechnete Straßenachse zu bezeichnen und die zulässige Abweichung  $Q_{\max}$  zu wählen, um die Koordinaten der Baulinienpunkte (Bo-

genenden und Bogenmittten) sowie die zugehörigen Radien direkt zu erhalten.

Mit diesen Angaben kann die Baulinie kartiert und zur gegebenen Zeit mit Hilfe von Rücktransformationen auf Grenz- und Polygonpunkte abgesteckt werden. Sobald dieses Rechenprogramm vorliegt, hat der Praktiker ein sehr bequemes Hilfsmittel zur Hand, um Baulinien und Grenzen an Straßen mit Klothoiden einwandfrei bestimmen zu können.

### *7. Bemerkungen zur praktischen Anwendung dieser Methoden*

Für die Überbaubarkeit eines Grundstückes sind die Baulinien in den meisten Fällen ebenso wichtig wie die Eigentumsgrenzen. Aus diesem Grunde sollten die Baulinien ebenso genau und eindeutig angegeben werden können wie die Grenzen im entsprechenden Instruktionsgebiet. Eine einwandfreie Definition und Kartierung der Baulinien sind deshalb sehr wichtig. Dazu gehört auch, daß rechtskräftige Baulinien auf Grund von einwandfreien Maßen in den Originalgrundbuchplänen eingetragen werden sollten.

#### *7.1. Wahl von $Q_{\max}$*

Sowohl Eigentumsgrenzen als auch Baulinien sind fiktive Definitionen. Wie genau müssen sie dem Straßenkörper folgen? Diese Frage wird je nach Umständen ganz verschieden beantwortet werden müssen. Auf keinen Fall jedoch zählt das Argument, daß die Baulinien genau parallel zum Straßenrand verlaufen müßten, damit sie von dieser Linie aus abgesteckt werden könnten. Die Baulinien werden meistens vor dem Straßenbau festgesetzt und müssen somit unabhängig vom Bauwerk definiert sein. Aber auch aus Genauigkeitsgründen ist die Absteckung der Baulinien vom Straßenrand aus unzulässig.

Die folgende Aufzählung von Beispielen für die zulässige Abweichung  $Q_{\max}$  zwischen Straßenrand (Parallele zur Klohoide) und Grenze oder Baulinie soll lediglich ein Diskussionsbeitrag sein:

- a) Grenze entlang Abschlußsteinen  $Q_{\max} = 5 \text{ cm}$
- b) Grenze in einem Abstand von 50 cm (Bankett) von den Abschlußsteinen  $Q_{\max} = 10 \text{ cm}$
- c) Baulinie ohne Vorgartengebiet in städtischen Verhältnissen. Häuserflucht direkt entlang Trottoir von 3 m Breite  $Q_{\max} = 5 \text{ cm}$
- d) Baulinie mit 6 m breitem Vorgartengebiet. Aus topographischen und verkehrstechnischen Gründen wird die Straße nie bis auf die Baulinie ausgebaut werden  $Q_{\max} = 10 \text{ bis } 20 \text{ cm}$

Andere Kriterien gelten bei Grenzen, die zum Beispiel entlang von Böschungsbegrenzungen verlaufen, oder bei Baulinien, die im Bereich von Spezialbauwerken frei geführt werden.

#### *7.2. Länge der Kreisbogenabschnitte*

Je größer der zulässige Abstand  $Q_{\max}$  gewählt wird, um so länger werden die Kreisbogenabschnitte. Bei Autobahnen könnten die zuläss-

gen Abweichungen  $Q_{\max}$  recht groß gewählt werden; dadurch würden aber die Kreisbogenabschnitte für die genaue zeichnerische Darstellung und für die Absteckung zu lang. Aus diesem Grunde wird in vielen Fällen ein sehr kleines  $Q_{\max}$  gewählt werden müssen, damit die Kreisbogenabschnitte nicht zu lang werden. Dies gilt insbesondere bei Grenzen, damit die zulässigen Pfeilhöhen nicht überschritten werden. Für eine zuverlässige Kartierung und Absteckung sollten ferner auch bei Baulinien die Bogenmitten immer gerechnet und aufgetragen werden.

### 7.3. Vermaßung

Die Koordinaten von Grenzpunkten werden auf Polygonseiten rücktransformiert. Bei Baulinien kann man sich diese Arbeit ersparen, weil nach erfolgtem Straßenbau Polygonzüge und Grenzen in der Regel ändern. Eine Rücktransformation ist unmittelbar vor der Absteckung der betreffenden Baulinienabschnitte am zweckmäßigsten. Es ist zu empfehlen, das Koordinatenverzeichnis der Baulinienpunkte auch auf den Baulinienplan selbst zu drucken.

## 8. Zusammenfassung

Im Straßenbau werden die Straßenachsen immer häufiger mit Klothoiden definiert. Aus verschiedenen Gründen ist es aber zweckmäßig, wenn Grenzen und Baulinien parallel zu solchen Straßenachsen als Kreisbögen definiert werden.

Es werden allgemeine Beziehungen abgeleitet, wie Klothoiden durch Korbbögen angenähert werden können. Dabei zeigt sich, daß der Abstand zwischen Kreisbögen und Klothoide nur von Klothoidenparametern, Kreisradius und Bogenlänge abhängig ist und daß es keine Rolle spielt, ob der Kreisbogen in einem schwach oder stark gekrümmten Teil der Klothoide liegt.

Die einfachste praktische Anwendung ergibt sich, wenn die Klothoide durch einen Korbbogen ersetzt wird, dessen Radien gleich groß sind wie die Radien der Klothoide in der Mitte der einzelnen Bogenabschnitte. An diesen Stellen schneiden sich Klothoide und Kreis. Bei dieser Lösung muß allerdings der Nachteil in Kauf genommen werden, daß am Anfang und am Ende des Korrbogens ein schwacher Knick gegenüber der Klothoide entsteht.

Bei einer etwas komplizierteren Lösung kann auch dieser Knick eliminiert werden. Die Firma Digital AG wird in nächster Zeit ein entsprechendes Rechenprogramm zur Verfügung stellen, welches die Definition von Baulinien und Grenzen parallel zu Klothoiden außerordentlich einfach gestalten wird.

Die vorliegende Arbeit ist eine Erweiterung und teilweise Präzisierung des Artikels in der «Schweizerischen Zeitschrift für Vermessung, Kulturtechnik und Photogrammetrie» des Jahres 1957, Seite 265. Der Verfasser möchte Herrn Prof. R. Conzett für die Durchsicht des Manuskriptes und für die zahlreichen wertvollen Hinweise bestens danken.