

WISSENSCHAFTLICHE ARBEITEN DER FACHRICHTUNG VERMESSUNGSWESEN DER
UNIVERSITÄT HANNOVER

ISSN 0174 - 1454

Nr. 209

FESTSCHRIFT

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. mult.

Hans Pelzer zum

60. Geburtstag

HANNOVER 1996



Theoretische Genauigkeitsuntersuchung der Aufnahmepunktdichte zur Bestimmung der Parameter der Grundrißelemente bestehender Straßen

von
Basile Psarianos

Einführung

Eine der Hauptaufgaben von Straßenbauämtern besteht darin, das bestehende Straßennetz des Landes auszubauen und zu unterhalten. Um dies zu realisieren, werden Daten benötigt, die der Planung, dem Entwurf, der Konstruktion und der Funktion der Straße zugrundeliegen. Diese Daten müssen zeitlich aktuell, zuverlässig, relevant und kosteneffektiv und, wenn möglich, durch ein integriertes Straßeninformationssystem jederzeit abrufbar sein [1]. Im Rahmen der Erstellung eines solchen Systems in Griechenland hat das zuständige Ministerium für Umwelt, Regionalplanung und Öffentliche Werke die Nationale Technische Universität beauftragt, ein mobiles Straßendatensystem zu entwickeln, das kostengünstig, schnell und zuverlässig Straßendaten sammelt. Diese Daten werden dann nach der entsprechenden Auswertung die Basis für das Straßen Informationssystem im allgemeinen und für ein GIS für das Verkehrswesen (GIS-T) im besonderen bilden.

Einzelheiten über das schon funktionierende System können bis Anfang 1996 (Vertragsablauf) leider nicht veröffentlicht werden. Im folgenden wird über die Ergebnisse einer theoretischen Untersuchung des Einflusses einer fehlerfreien Aufnahme von diskreten Punkten auf die Genauigkeit der Werte der Radienlänge und der Klothoidenparameter berichtet, die beim Beginn des o.g. Projektes ausgeführt wurden, um die Größenordnung einer effektiven Punktdichte der Aufnahme (und damit u.a. auch der Geschwindigkeit des Fahrzeugs) zu ermitteln.

Aufnahmedaten

Straßenaufnahmesysteme registrieren zunächst Rohdaten. Diese Daten müssen dann verarbeitet werden, um zwei Datenblöcke auszufüllen [2]:

- (a) X, Y, Z-Koordinaten der Trasse.
- (b) Stationierung, Abstand von einer Referenzlinie (z.B. Straßenachse) und Höhe von bestimmten Straßenobjekten, wie etwa Schilder, Schutzeinrichtungen, Mauer, u.s.w..

Diese verarbeiteten Daten werden dann genutzt, um die Entwurfselemente zu bestimmen und, um die Trasse festzulegen, damit der Entwurf der Straße ausgewertet werden kann und die evtl. zu ergreifenden Maßnahmen zu formulieren.

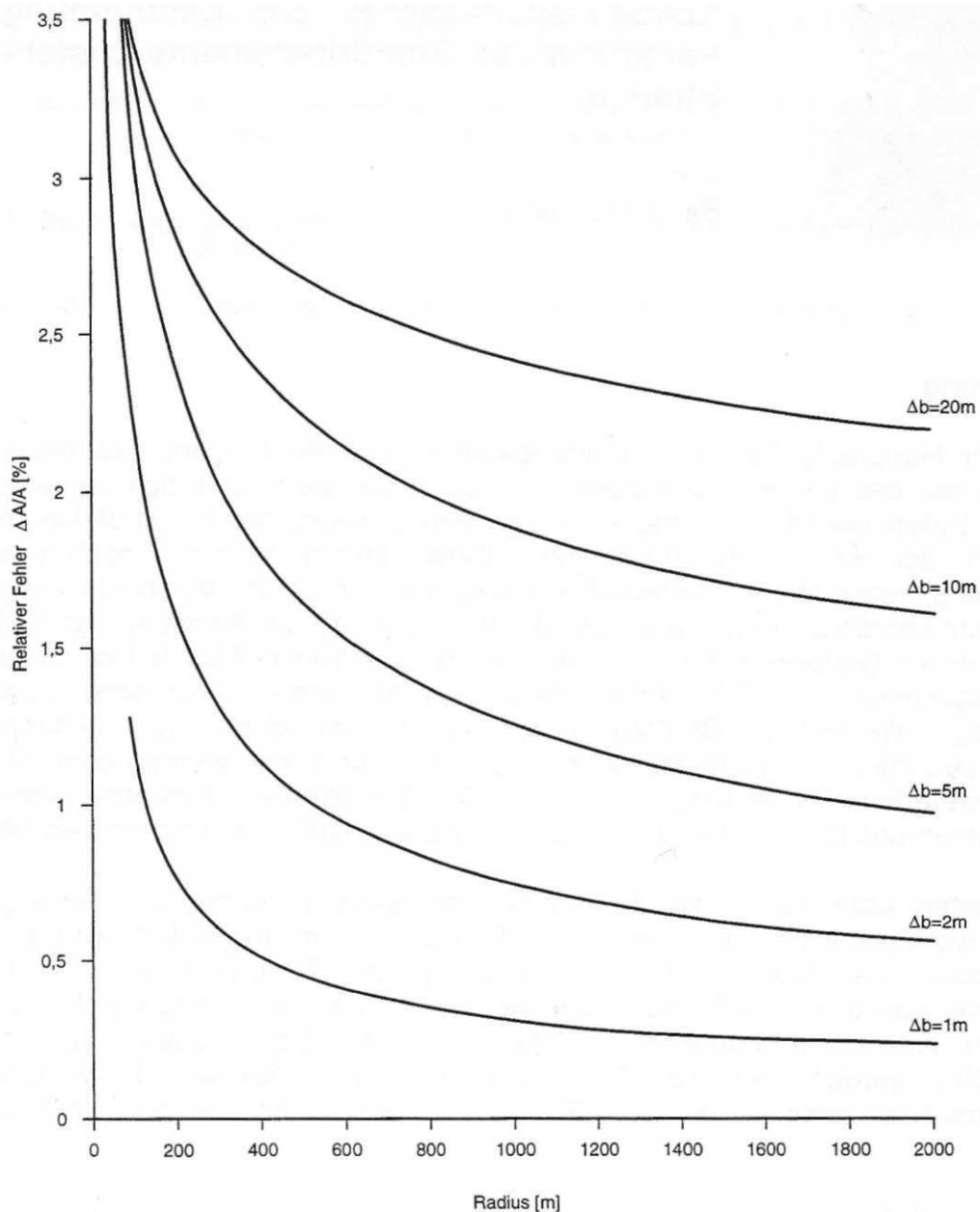


Abb. 1: Relativer Fehler des Klothoidenparameters "A" in Abhängigkeit von der Aufnahmepunktdichte und der Radiusgröße des anschließenden Kreisbogens

Bestimmung der Entwurfselemente in diesem Sinne bedeutet das Auffinden:

- der Anfangs- und Endstation eines Entwurfselements,
- der Art des Entwurfselements (Gerade, Kreisbogen, Übergangsbogen) und
- des charakteristischen Parameters des jeweiligen Entwurfselements (Länge der Geraden, Radius des Kreisbogens, Parameter "A" der Klothoide sowie die Kurvigkeit des Einzelbogens K_E für die Gesamtkurve, die maßgebend für die 85%-Geschwindigkeit ist [3]).

Genauigkeitsuntersuchung

Verfahren

Das Verfahren, das zur Genauigkeitsuntersuchung der zu bestimmenden Parameter des Grundrisses die Grundlage bildete, war das des diskreten Winkelbildes. Das Winkelbild gibt bekanntlich die Richtung einer Trasse als Funktion ihrer Bogenlänge an. Die Verwendung des diskreten Winkelbildes zur Bestimmung der Trassenparameter ist ein alt- und gutbewährtes Verfahren. Dieses Verfahren wird z.B. angewandt, um eine Freihandlinie in Kreisbögen und Klothoiden aufzulösen [4,5]. Die Erhaltung des diskreten Winkelbildes einer Trasse aufgrund ihrer Aufnahme an diskreten Punkten ist z.B. in [6] ausführlich beschrieben.

Beruhend auf dem von den Aufnahmedaten erhaltene Winkelbild wird die Bestimmung der Entwurfselemente durch bestmögliche Anpassung der entsprechenden Winkelbildfunktion der Geraden, Kreisbögen und Klothoiden zum gegebenen diskreten Winkelbild.

Rechenschema der Untersuchung

Die Untersuchung beruhte auf einer Simulierung von S-Kurven, deren Radien zwischen 50m und 2000m variierten. Die Koordinaten der Kurven wurden in einer Dichte, die von 1 m bis 20m lag (ca. 20m ist der Abstand, den ein Fahrzeug, das mit 70km/h fährt, in 1s zurücklegt, berechnet). Weniger als 1m Punktdichte scheint nicht sinnvoll zu sein, da selbst Kehren mit mindestens 5 km/h ($\sim 1.4\text{m/s}$) befahren werden können.

Für das diskret aus den berechneten Koordinaten der Kurven erhaltene Winkelbild wurde die Methode der kleinsten Quadrate gemäß [4, 5] zur bestmöglichen Anpassung der mathematischen Winkelbildfunktion der Straßenentwurfselemente mit Bedingungsgleichungen herangezogen.

Die Beobachtungsgleichung für eine Klothoide lautet:

$$v_i + \Phi_i = b_i^2 x_{j,1} + b_i x_{j,2} + x_{j,3} \quad (1)$$

und die entsprechenden Bedingungsgleichungen:

$$b_i^2 x_{j,1} + b_i x_{j,2} + x_{j,3} - b_i^2 x_{j+1,1} - b_i x_{j+1,2} - x_{j+1,3} = 0 \quad (2)$$

$$2 b_i x_{j,1} + x_{j,2} - 2 b_i x_{j+1,1} - x_{j+1,2} = 0 \quad (3)$$

wobei die Werte "v" die Verbesserung der Beobachtungen "O" mit den Unbekannten "x" im diskreten Winkelbild darstellen.

Die Gleichungen (1) bis (3) sind allgemeingültig für die Entwurfselemente, da man bei $x_{jj} = 0$ bzw. $x_{j,2} = 0$ die Beobachtungs- bzw. Fehlergleichungen des Kreisbogens bzw. der Geraden bekommt.

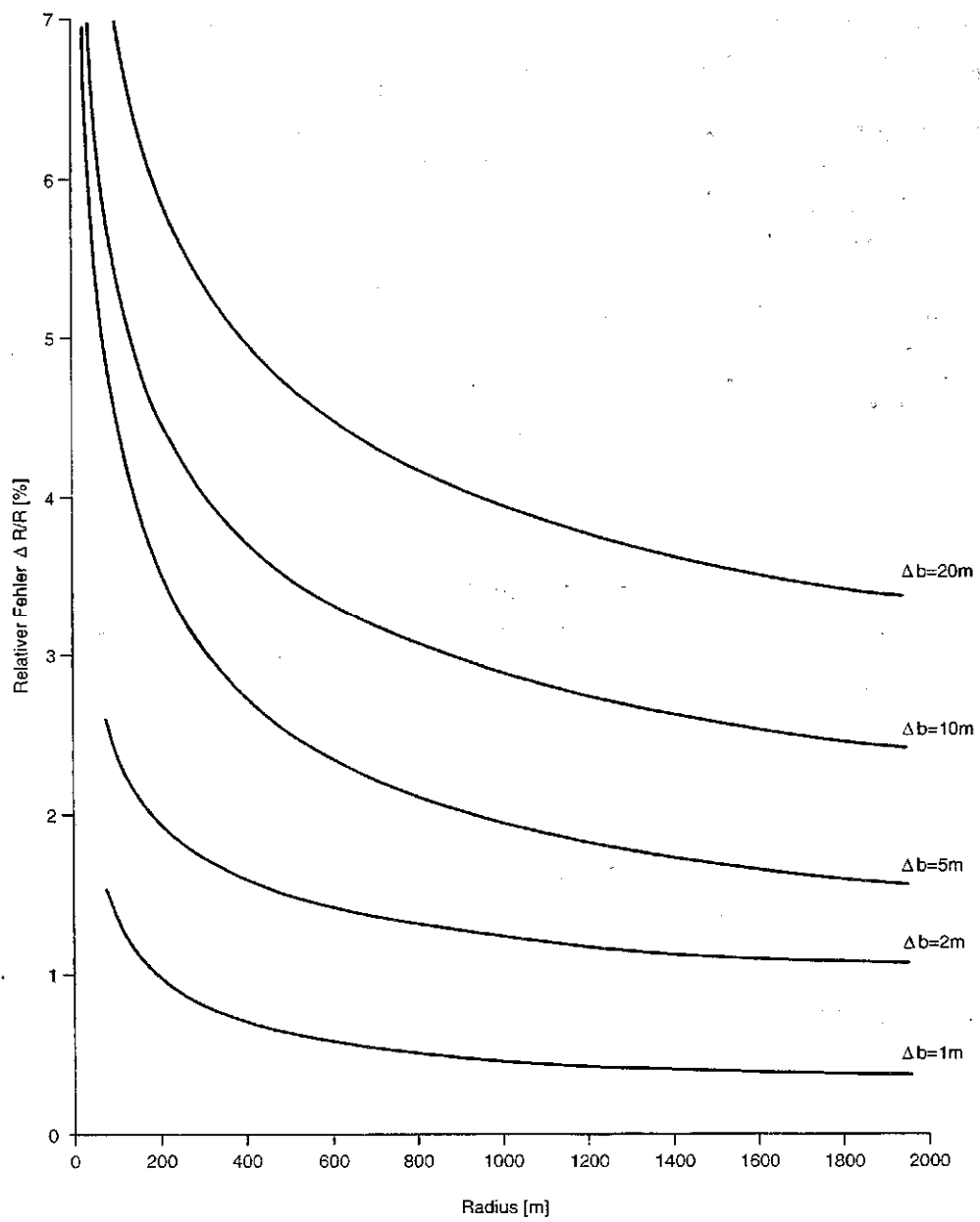


Abb. 2: Relativer Fehler des Kreisbogenradius in Abhängigkeit von der Aufnahme-
punktdichte

Ergebnisse

Durch die Simulation der S-Kurven konnten die relativen Fehler der Radien AR/R und der Parameter "A" der Klothoiden AA/A berechnet werden. Die Ergebnisse sind in den Abbildungen 1 und 2 dargestellt. Diese Abbildungen lassen Schlüsse über die Punktdichte einer Aufnahme zu, die i.a. zu der erwünschten Genauigkeit der Parameterermittlung der Grundrißelemente führt.

Es gibt bisher keine feste Aussage über die erforderliche Genauigkeit der charakteristischen Parameter der Entwurfs-elemente einer Straßendatenbank. Je nach dem angewandten Aufnahmesystem werden Genauigkeitsmaße, ausgedrückt durch den relativen Radiusfehler des Kreisbogens einer Kurve, angegeben, die zwischen 7% und 30% variieren [7, 8, 9].

Unter Annahme der Genauigkeit (maximaler relativer Fehler) des deutschen GERDA-Systems von 7% [7] ist aus Abbildung 1 ersichtlich, daß diese Genauigkeit theoretisch mindestens durch eine Aufnahmepunktdichte, die nicht größer als 20m ist, bei Klothoidenparameter fast immer zu erreichen ist und zwar auf der Gesamtlänge der Klothoide, es sei denn, sie schließt an einen engen Kreisbogen an. Bei Kreisbögen allerdings selbst, die die Ausgangsbasis für die Aufnahme einer Straße bilden und bilden sollen, muß man einzeln vorgehen. Aus Abbildung 2 kann man nämlich entnehmen, daß z.B. bei scharfen Kurven der maximale relative Fehler von 7% erreicht wird, wenn die Aufnahmepunktdichte den 5m-Abstand zwischen den Punkten übersteigt. Im besonderen Fall einer Autobahn, wo grundsätzlich mit Radien von über 500m trassiert wird, ist ein Abstand von 20m zwischen den Aufnahmepunkten ausreichend. Diese Punktaufnahmedichte läßt sich schon mit einem mobilen Aufnahmesystem, das mit 70 km/h fährt, ohne weiteres realisieren.

Da die obigen Aussagen einer fehlerfreien Punktaufnahme zugrundeliegen, ist ein kleiner Genauigkeitsverlust bei fehlerhaften Koordinaten zu erwarten, der aber je nach Art und Weise der Aufnahme die o.g. Aussagen nicht maßgeblich abändert.

Bezugsquellen

- [1] D.W. Briggs, B.V. Chatfield, "Integrated Highway Information Systems". National Cooperative Highway Research Program, Synthesis of Highway Research Program, Synthesis of Highway Practice 133, Transportation Research Board, Washington, D.C. 1987.
- [2] H.A. Henry, L.O. Moser, F.F. Cooper: "Automated Field Survey Data Collection System". National Cooperative Highway Research Program, Synthesis of Highway Research Program, Report 295, Transportation Research Board, Washington, D.C. 1987.
- [3] R. Lamm, B. Psarianos, E.M. Choueiri, T. Mailänder: "Die Gerade als dynamisches Trassierungselement", Straßen- und Tiefbau, Giesel Verlag, 1995 (im Druck).
- [4] K. Linkwitz, D. Schwenkel: "Die Approximation von Freihandlinien mit Kreisen und Klothoiden durch eine ersatzweise Ausgleichung im Winkelbild." ZfV, Heft Nr 2, 1973.
- [5] K. Linkwitz, D. Schwenkel: "Ein Rechenverfahren zur Approximation von Freihand- und Biegestablinien durch Kreisbögen und Klothoiden". Straße und Autobahn, Nr. 10, Heft-Nr. 10, 1972.
- [6] F. Hennecke, G. Müller, H. Werner: "Handbuch Ingenieurvermessung, Verkehrsbau, Trassen", Band 3. Wichmann Verlag, 1990.
- [7] Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt): "Aufnahmesystem GERDA", Informationsheft, Köln 1988.
- [8] J.R. Stenzel, F. Rössler: "Straßendaten-Aufnahme-Kfz". Straßenforschung, Heft 339. Bundesministerium für Wirtschaftliche Angelegenheiten, Wien, 1987.
- [9] W.R. Rawlison: "The ARRB Road Geometry Instrumented Vehicle, General Description". Australian Road Research Board, Internal Report AIR 276-2, Australian Road Research Board, Victoria, 1983.