

I N H A L T S V E R Z E I C H N I S

Seite

1.	<u>Aufgabenstellung</u>	1
2.	<u>Ausgangslage</u>	1
3.	<u>Praktische Untersuchungen</u>	1
1.	Beispiel	2
2.	Beispiel	6
3.	Beispiel	7
4.	<u>Technische Ergebnisse der Untersuchung</u>	9
a)	Uebergangslänge Dü	9
b)	Wende- und Uebergangsklothoiden	9
c)	Vp-Differenzen	10
d)	Eilinie	11
e)	Beeinflussung der Ueberholsichtweite durch vorgeschriebene Vp-Abstufung	11
5.	<u>Empfehlungen für Ergänzungen im Normentwurf</u>	12
6.	<u>Schlussbemerkungen</u>	13

Mitglieder der VSS-Subkommission 1/7

H.R. Schilling, Emch + Berger AG
Frey-Heroséstrasse 25, 5000 Aarau

D. Suter, W. & J. Rapp AG
Postfach 18, 4053 Basel

P. Spacek, Institut für Verkehrsplanung und Transporttechnik
ETH Hönggerberg, 8093 Zürich

U. Graf, SNZ-Ingenieurbüro AG
Jungholzstrasse 6, 8050 Zürich

M. Bächtold, Ingenieurbüro F. Preisig
Grünhaldenstrasse 6, 8050 Zürich

Forschungsstelle

Ingenieurbüro F. Preisig, Grünhaldenstrasse 6, 8050 Zürich

Sachbearbeiter

M. Bächtold, Ingenieurbüro F. Preisig

H. Dümel, Ingenieurbüro F. Preisig

1. Aufgabenstellung

Dieser nicht alltägliche Forschungsauftrag hatte den Zweck, den Normentwurf "Geschwindigkeit als Projektierungselement" (Vp-Diagramm) anhand praktischer Beispiele auf die Anwendbarkeit, die Handhabung und die Auswirkung auf die Linienführung, bei Einhaltung der in der Norm empfohlenen Geschwindigkeitsabstufungen, zu überprüfen.

2. Ausgangslage

Die heute gültige Norm beinhaltet u.a. Berechnungsgrundlagen für die Berechnung von Uebergangslängen im Vp-Diagramm (Verzögerung und Beschleunigung) der sog. Sb- und Sv-Längen. Diese dienen primär zur Ueberprüfung, ob die Uebergangslänge $Dü < \text{der Erfassungsdistanz } DE$ und die Uebergangslänge $Dü < \text{der vorh. Sichtdistanz } S$ vorhanden sei.

Der zu prüfende Normentwurf legt wiederum Berechnungsgrundlagen für die Verzögerungs- und Beschleunigungsstrecken fest, empfiehlt aber daneben Geschwindigkeitsdifferenzen zweier benachbarter Elemente von mehr als 20 km/h zu vermeiden bzw. Geschwindigkeits-schritte von 10 km/h anzustreben.

Im wesentlichen hatten die durchzuführenden Untersuchungen zu zeigen, ob diese empfohlenen Vp-Differenzen zu realisierbaren, sinnvollen Trassierungen führen.

3. Praktische Untersuchungen

Anhand von 3 bestehenden ganz unterschiedlichen Strassenzügen wurden die Auswirkungen des neuen Normblattes untersucht.

Die Ergebnisse und Erkenntnisse werden nachfolgend erläutert.

1. Beispiel

Charakter: Ortsverbindung in coupiertem Gelände,
bis 8,5 % Längsgefälle, $R_{\min.} = 90 \text{ m}$

In einem ersten Schritt wurde das Vp-Diagramm zur bestehenden Linienführung aufgezeichnet:

Ergebnis:

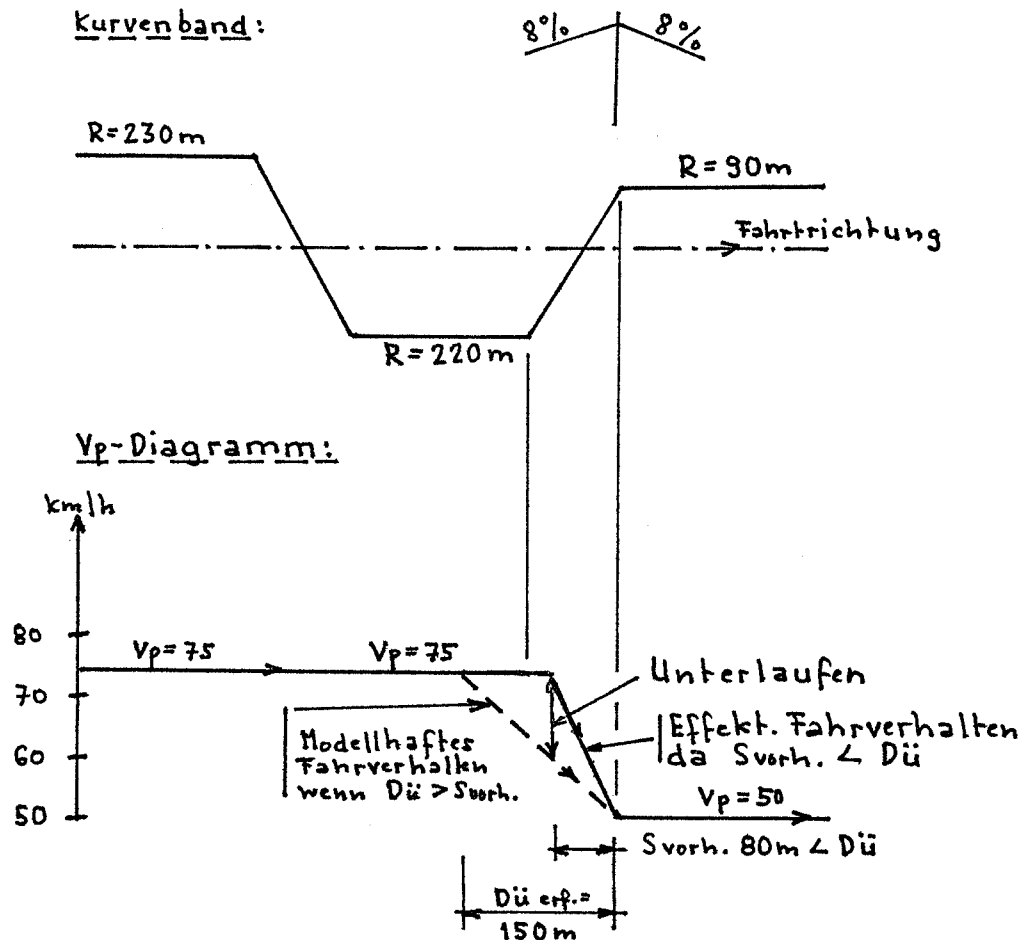
Es zeigte sich, dass sehr grosse Vp-Differenzen von Element zu Element von bis zu 40 km/h vorhanden sind und zwar nicht nur bei Dorfeinfahrten (100/60 km/h) wo dies ein gesondertes Problem darstellt.

Das Vp-Diagramm ist sehr unruhig, was zu gefährlichem, gestresstem, unrationellem Fahren führt.

An diesem Beispiel trat das sogenannte Unterlaufen von Elementen auf. Dies ist dann der Fall, wenn die zu den geometrischen Elementen (Kreis, Gerade) zugeordneten Projektierungsgeschwindigkeiten im modellhaften Fahrverhalten nicht erreicht werden.

Beispiel für das Unterlaufen von Elementen aus der durchgeführten Streckenuntersuchung:

Beispiel A

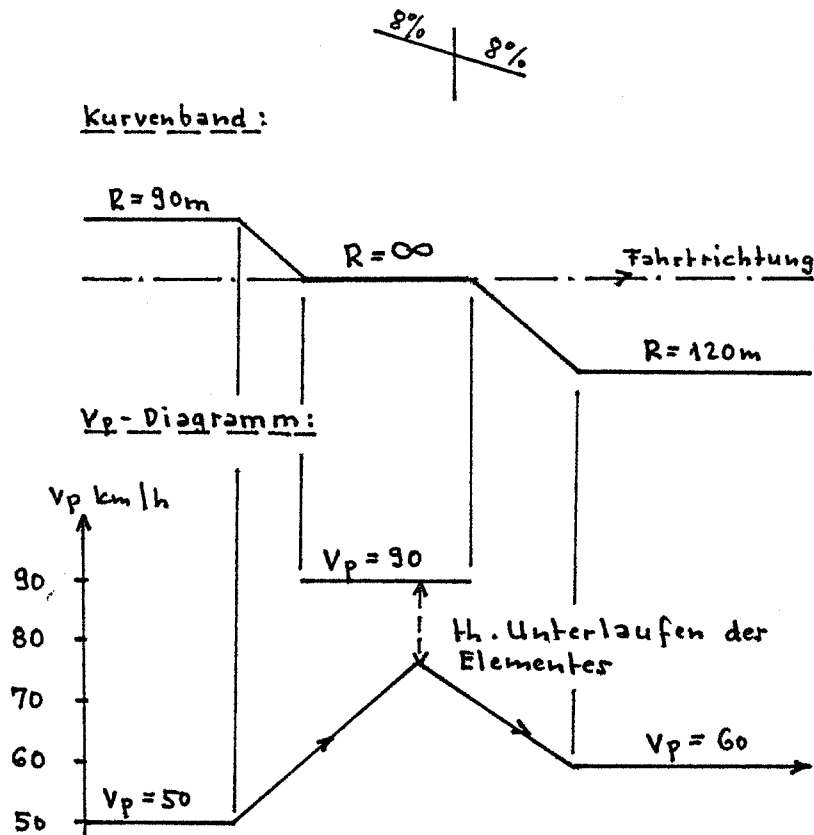


Wenn die notwendige Sicht vorhanden wäre, könnte im Radius $R = 220$ m im modellhaften Fahrverhalten von einem Unterlaufen gesprochen werden.

Wenn möglich sind diese Fälle zu vermeiden, indem z.B. die Uebergangslänge von Element ($R = 220$) zu Element ($R = 90$) verlängert wird.

Die Untersuchung zeigt, dass hier ein eigentlicher Projektierungsfehler vorlag, in dem durch die Kuppe S vorh. < $Dü$ ist und daher mit zu grosser Geschwindigkeit in den $R = 90$ m gefahren, bzw. vor od. im Radius gebremst wird.

Beispiel B



Dieses Unterlaufen ist je nach Situation im Gelände nicht ungefährlich.

Die zu kurze Zwischengerade verleitet zum zu schnellen Kurvenfahren oder zum Bremsen vor der Kurve. Obwohl solche Fälle nicht vermieden werden können sollen die Elementlängen oder Zwischenelementlängen so gewählt werden, dass die zum Element zugehörige V_p erreicht werden kann, da dadurch das harmonische Fahren besser gewährleistet wird.

Folgerungen:

Aus der Sicht des harmonischen Fahrens sollen die Uebergangsklothoidenlängen sowie die Wendeklothoidenlängen in etwa Dü entsprechen.

Das erwähnte Unterlaufen von Elementen kann auf eine unharmonische Linienführung oder eventuell auf eigentliche Projektierungsfehler hinweisen und Gefahrenstellen aufzeigen.

In einem zweiten Schritt wurde untersucht wie sich die neue Norm auf eine Korrektur der Linienführung des untersuchten Strassenstückes auswirkt.

Ergébnis:

Ohne näher auf technische oder politische Momente einzugehen, konnte unter Anwendung der empfohlenen Vp-Differenzen eine harmonische, realisierbare Neutrassierung gefunden werden.

Die vorliegende Topografie begünstigte eine "kurvige" Strasse.

Es zeigten sich auch Anwendungsgrenzen bezüglich Einhaltung der vorgeschriebenen Vp-Differenzen. Gestreckte Ortseinfahrten oder geradlinige, schmale Täler lassen bei vertretbaren Baukosten eine konsequente Anwendung nicht zu. In solchen Fällen muss allfällig zur Signalisation geschritten werden.

Es konnte an diesem Beispiel festgestellt werden, dass ein nach der neuen Norm projektierter Strassenzug in der Geometrie sowie nach fahrdynamischen Grundsätzen harmonisch und sicher wirkt.

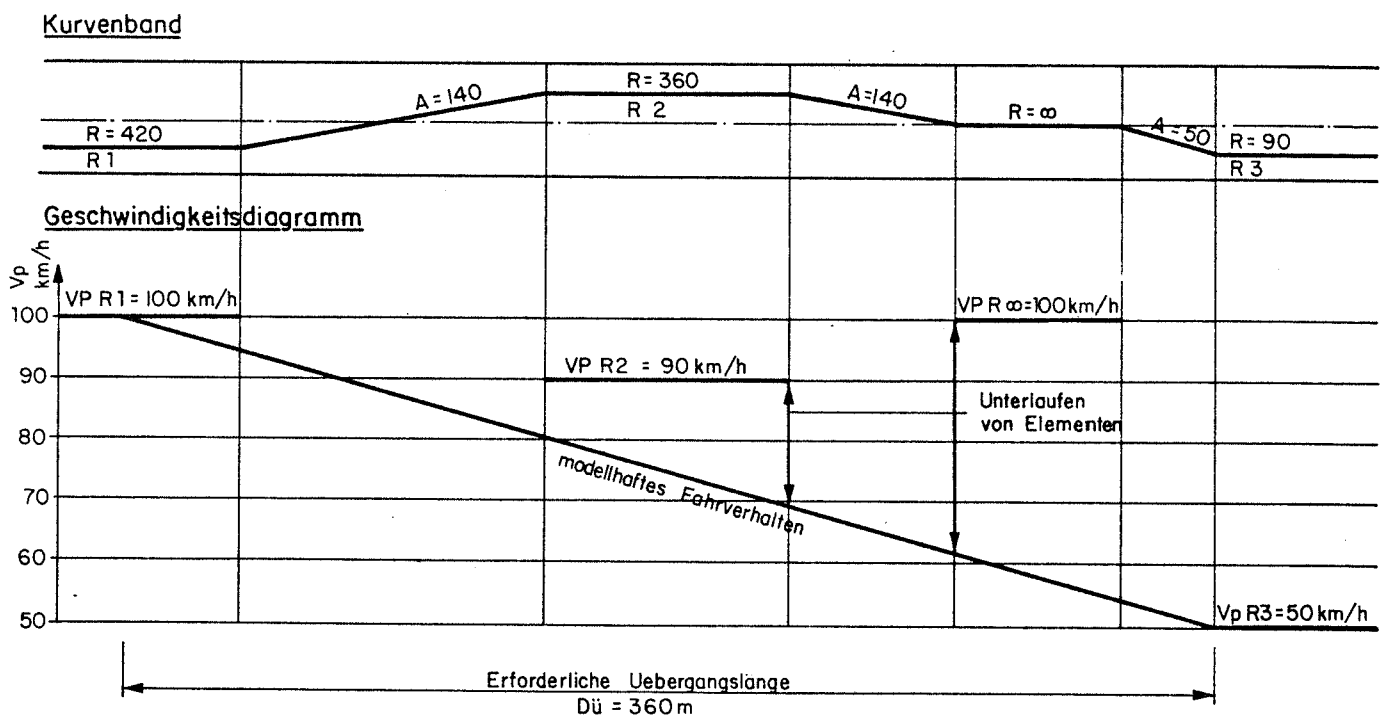
2. Beispiel

Charakter: Ortsverbindungsstrasse mit vorwiegend "schnellen" Elementen und vereinzelt sehr kleinen Radien

Die Auswertung des Vp-Diagrammes zeigt, dass die wenigen kleinen Radien im modellhaften Fahrverhalten die Geschwindigkeit über weite Strecken diktiert.

Mehrere geometrische Elemente werden in ununterbrochener Reihenfolge unterlaufen, d.h., die den Elementen zugeordneten Geschwindigkeiten werden praktisch nie erreicht.

Beispiel anhaltendes Unterlaufen von Elementen:



Es ist auch bei vorhandener Sicht fraglich, ja unwahrscheinlich, dass der Strassenbenützer einen kritischen Radius ($R=90$ m) über mehrere geometrische Elemente hinweg wahrnimmt und derart frühzeitig verzögert, dass er den Radius 90 m ohne Bremsen mit der dem Radius entsprechenden Geschwindigkeit befährt.

Dieses anhaltende Unterlaufen deutet auf eine unharmonische Linienführung hin. Bei Einhaltung der in der neuen Norm vorgegebenen Vp-Differenzen wird eine solche Situation gar nicht erst entstehen.

Das Unterlaufen könnte durch Aenderung der kritischen Radiengrösse bzw. durch Abstimmung der sich folgenden Radiengrössen eliminiert werden.

Der Wahrnehmbarkeit der geometrischen Elemente ist besondere Aufmerksamkeit zu schenken. Bei Einhaltung der SNV 640 100 (minimale Elementlängen etc) ist dies jedoch sichergestellt und braucht nicht separat erwähnt zu werden.

Das untersuchte Strassenstück wurde nicht nach dynamischen, sondern eher nach geometrischen Grundsätzen trassiert. Eine Realisierung dieses Projektes würde eine recht unfällträchtige Strasse ergeben, dies umsomehr, als dass auch eine Disharmonie zwischen Trassierung und geometrischem Normalprofil besteht.

3. Beispiel

Charakter: Ortsverbindung in leicht welligem Gelände mit
"moderner" Trassierung

Aus dem Vp-Diagramm der bestehenden Strasse geht hervor, dass mit Ausnahme eines Radius und einer Dorfeinfahrt die ganze Strecke mit Vp max. ausserorts befahren werden kann.

Die "schnelle" Trassierung bringt im untersuchten Strassenstück verschiedene Probleme mit sich. Einerseits scheint die Vp im Vergleich zur Bedeutung der Strasse zu hoch und andererseits sind die verschiedenen Projektierungselemente (S, Rv, geom. Normalprofil) nur schlecht aufeinander abgestimmt.

Die hohe Vp führt auch zu Konflikten im Längenprofil, indem in der Kuppe S vorh. $\angle$ S ist (Projektierungsfehler). Die räumliche Linienführung ist nicht harmonisch, da Situation und Längenprofil einen unterschiedlichen Standard aufweisen.

Diese Unzulänglichkeiten rühren einerseits von den nach neuer Norm zu grossen Vp-Differenzen her, sind andererseits aber auch als eigentliche Projektierungsfehler zu bezeichnen.

An diesem Beispiel wurde an Hand von 2 Varianten untersucht, ob eine Neutrassierung mit den neuen Normbedingungen eine Verbesserung bringen würde.

Ergebnis

Variante 1

Diese erste Neutrassierungsvariante ermöglicht mit vertretbarem Kostenaufwand eine normgemässe Geschwindigkeitabstufung bis auf eine Dorfeinfahrt. Immerhin konnte auch an dieser Stelle gegenüber der Ursprungsvariante eine Geschwindigkeitsreduktion von 100 km/h auf 75 km/h erzielt werden.

Variante 2

Diese Neutrassierungsvariante bringt auf die ganze Streckenlänge eine normgemässe Geschwindigkeitsabstufung. Allerdings musste, um dies zu erreichen, ein Ortsanschluss verschoben werden, was in der praktischen Durchführung eher unrealistisch erscheint.

Beide Alternativtrassierungen zeigen den Einfluss der neuen Norm auf die Trassierung sehr eindrücklich.

Die normgemässen Geschwindigkeitsabstufungen führen vor allem in flachem Gelände zu heute eher noch ungewohnten, kurvigen Linienführungen.

Eine solche Trassierung gewährleistet jedoch ein harmonisches, sicheres Befahren einer Strecke, ohne dass durch die Geometrie bedingt ein falsches Fahrverhalten provoziert wird.

4. Technische Ergebnisse der Untersuchung

Die nachfolgend beschriebenen Ergebnisse haben sich aus der praktischen Anwendung und wenigen Detailuntersuchungen und nicht aus mathematischen oder wissenschaftlichen Untersuchungen ergeben. Solche waren auch nicht Gegenstand des Forschungsauftrages.

a) Uebergangslänge Dü

Aus fahrdynamischen und geometrischen Ueberlegungen sowie gefühlsmässigem Empfinden, soll die Anpassung der V_p zwischen Gerade und Kreis (Uebergangslänge Dü) kürzer/gleich der Uebergangsbogenlänge Lü sein.

Bei der Beschreibung der verschiedenen Neutrassierungen haben sich bei der Annahme $Lü \approx Dü$ für die Uebergangsklothoiden jeweils vernünftige, im Normbereich liegende A/R-Verhältnisse ergeben.

Diese Erkenntnisse unterstützen die Tendenz, dass im Idealfall $Lü \approx Dü$ sein sollte.

Eine diesbezügliche Vorschrift im Normblatt scheint jedoch nicht sinnvoll, da sie in bezug auf die Wahl der Klothoidenelemente zu einschränkend wirken würde und nicht unbedingt zwingend ist. Wichtiger ist die formulierte Bedingung, dass die notwendige Sichtweite vorhanden ist, d.h., $S_{vorh.} \geq S_{erf.} \geq Dü$.

b) Wende- und Uebergangsklothoiden

Uebergangsklothoiden

Bei grossen V_p Gerade (~ 100 km/h) kann die Empfehlung $Lü \approx Dü$ auch bei Geschwindigkeitsdifferenzen (Gerade-Kreis) von 20 km/h mit vernünftigen A/R-Verhältnissen (0,33 - 0,85) eingehalten werden.

Bei mittleren V_p Gerade (80 ÷ 60 km/h) kann $Lü \approx Dü$, bei V_p -Differenzen (Gerade-Kreis) von ca. 15 km/h mit erlaubten A/R-Verhältnissen (max. 1.0) eingehalten werden.

Bei kleinen V_p Gerade (≤ 60 km/h) können bei Einhaltung $Lü \approx Dü$ und A/R-Verhältnissen von max. 1.0 nur noch V_p -Differenzen von ca. 10 km/h erlaubt werden.

In diesem Zusammenhang kann darauf hingewiesen werden, dass deutsche Untersuchungen auf wissenschaftlicher Basis zu ähnlichen Ergebnissen bezüglich den Verhältnissen zwischen V_p und den V_p -Differenzen führten.

Wendeklothoiden

Bei kleinen Projektierungsgeschwindigkeiten ($V_p < 55$ km/h) und grossen V_p -Differenzen (~ 20 km/h) zwischen den beiden sich folgenden Radien und Annahme $Lü \approx Dü$ ist eine symmetrische Wendeklothoide bezüglich den Parametergrössen nicht mehr normgemäss. Es müssen hier asymmetrische Wendeklothoiden mit auf den zugehörigen Radius abgestimmten Parametergrössen gewählt werden, wie dies die Norm 640 100 auch vorsieht, wobei asymmetrische Wendeklothoiden in jedem Fall die bessere Lösung darstellen.

c) V_p -Differenzen

Aus der Sicht der Homogenität sind V_p -Differenzen von Element zu Element von ca. 10 km/h ideal. Eine solche V_p -Abstufung erfordert jedoch vielfach eine Folge mehrerer Radien mit entsprechenden Uebergangselementen und schränkt die Freiheit in der Trassenwahl u.U. stark ein.

V_p -Differenzen von ca. 20 km/h bedingen für den Geschwindigkeitsabbau eine kleinere Anzahl sich folgender Radien und lassen mehr Freiheit für die Trassenwahl. Bei Annahme $Lü \approx Dü$ ergeben sich relativ lange Uebergangsklothoiden.

V_p -Differenzen von ca. 5 km/h ergeben bei Annahme $Lü \approx Dü$ sehr kurze Uebergangsklothoiden, welche kaum mehr wahrnehmbar sind. Ausserdem entstünden bei konstanter 5 km/h-Abstufung eine Folge vieler Radien, was in den meisten Fällen kaum durchführbar wäre.

Im Normblatt soll nur die max. Vp-Differenz von 20 km/h und als Empfehlung bei $V_p < 70$ km/h eine Vp-Differenz von 10 km/h stipuliert werden.

d) Eilinie

Die Eilinie ist als Uebergangselement nicht unbedingt geeignet.

Bei Vp-Differenzen < 20 km/h wird die Anordnung der Eilinie unmöglich, da die Einrückung D gegen 0 strebt und A grösser R2 wird, was im Widerspruch zur Bedingung $\frac{R_1}{3} \leq A \leq R_2$ bei $R_2 < R_1$ steht (SNV 640 100).

Die Anordnung von Eilinien könnte geometrisch sinnvoll nur noch bei Vp-Differenzen > 20 km/h erfolgen, was nach vorliegendem Normentwurf nicht oder nur in Ausnahmefällen erlaubt ist.

Bei kleineren Vp-Differenzen (< 20 km/h) ist die Eilinie durch sich tangierende Kreise gemäss SNV 640 100 zu ersetzen. Dü ist im grösseren Kreisbogen anschliessend an den kleineren Radius anzuordnen.

e) Beeinflussung der Ueberholsichtweite durch vorgeschriebene Vp-Abstufung

Die Ueberholsichtweite ist nicht direkt ein Projektierungselement, sondern stellt eine Kontrollgrösse dar, die nur an kritischen Stellen nachzuweisen ist.

Der vorliegende Normentwurf verhindert das Trassieren mit grossen Vp und entsprechend grossen Ueberholsichtweiten nicht. Im Bereiche der Geschwindigkeitsübergangsbereiche (grosse Vp, kleine Vp) sind die Geschwindigkeitsabstufungen und dadurch die Elementfolge vorgeschrieben. Nur in diesen Bereichen ist eventuell mit verminderten Ueberholsichtweiten zu rechnen. Bezüglich der Sicherheit ist eine Geschwindigkeitsabstufung mit verminderten Ueberholsichtweiten einer Trassierung mit besseren Ueberholsichtweiten, dafür mit grossen Vp-Differenzen vorzuziehen.

Die Einschränkung bezüglich dem Ueberholen durch die vorgeschriebenen Geschwindigkeitsabstufungen beziehen sich nur auf die Bereiche des Geschwindigkeitsauf- bzw. abbaues und nicht auf die ganze Trassierung.

Durch eine harmonischere Trassierung wird auch ein homogenerer Verkehrsfluss erreicht, welcher weniger zum Ueberholen verleitet.

In Bereichen in welchen u.U. das Ueberholen weniger ermöglicht wird (z.B. Geschwindigkeitsabbau bei Ortseinfahrten) kann dieser Effekt sogar erwünscht sein.

5. Empfehlungen für Ergänzungen im Normentwurf

Es werden folgende Ergänzungen im Normblatt empfohlen:

a) Unterlaufen von Elementen

Im Verlaufe der Untersuchung hat es sich gezeigt, dass das sog. Unterlaufen von Elementen auf eine unharmonische Linienführung oder gar auf eigentliche Projektierungsfehler hinweist.

Im Normblatt ist daher einerseits der Begriff des Unterlaufens, andererseits allfällige Konsequenzen daraus zu umschreiben, sowie Verbesserungsmöglichkeiten durch mögliche Projektänderungen aufzuzeigen.

b) Vp-Differenzen

Neue Formulierung

Vp-Differenzen von mehr als 20 km/h sind zu vermeiden. Bei $V_p < 70$ km/h sind Vp-Differenzen von 10 km/h anzustreben.

c) SA, Svorh., Dü

$Svorh. \geq SA \geq Dü$

Sollten sich mit diesen Bedingungen Konflikte ergeben, so ist vorerst zu prüfen, inwieweit sie mit vertretbaren Mitteln durch Projektänderungen eliminiert werden können.

Möglichkeiten dazu sollen im Normblatt kurz umrissen werden.

6. Schlussbemerkungen

Das Projektieren nach der neuen Norm (Vp-Abstufung) erfordert, um allen örtlichen Gegebenheiten Rechnung zu tragen, einen wesentlich höheren Aufwand an Denkarbeit (Iterationsverfahren) des projektierenden Ingenieurs.

Die konsequente Anwendung erfordert vom Projektanten ein Umdenken. In Anlehnung an deutsche Normen, wo der Begriff "Kurvigkeit" (gon/km) einer Strasse definiert wird, geht unsere Norm in der gleichen Richtung, indem durch die vorgeschriebenen Vp-Differenzen die Elementfolge und somit auch eine "Kurvigkeit" bestimmt wird.

Die normgemässe Geschwindigkeitsabstufung führt vor allem in den Uebergangsbereichen von hohen Vp zu niedrigen Vp zu ungewohnten Linienführungen. Ein nach der neuen Norm projektierter Strassenzug wirkt jedoch in der Geometrie sowie fahrdynamisch harmonisch. Es wird damit im modellhaften Fahrverhalten erreicht, dass ein Strassenzug ohne Bremsen befahren werden kann.

Für die Projektierung neuer Strassenzüge ist die Norm geeignet. Sie verdeutlicht u.a. die vorhandenen Normen (min. Elementlängen etc.) und zwingt zu deren besseren Beachtung.

Es zeigen sich auch Anwendungsgrenzen bezüglich den vorgeschriebenen Vp-Differenzen. In stark überbauten Gebieten (innerorts), ev. im Gebirge, in langgezogenen, geradlinigen, schmalen Tälern und bei Ortseinfahrten wird es mit vertretbaren Mitteln nicht immer gelingen die Normwerte einzuhalten. Hier muss u.U. zur Signalisation Zuflucht genommen werden. Das Vp-Diagramm ist für die Festlegung von Geschwindigkeitsbeschränkungen ein sehr zweckmässiges Mittel.

Die neue Norm ist auch für die Beurteilung bestehender Strassenzüge geeignet. Das Aufdecken von Schwachpunkten (Gefahrenstellen) wird mit dem Geschwindigkeitsdiagramm stark erleichtert (unterlaufen von Elementen). Die Anwendung der neuen Norm wird derart unharmonische Linienführungen wie sie an Hand der getätigten Untersuchungen an bestehenden Strassenzügen zu Tage traten, verunmöglichen.

Das Konstruieren des Vp-Diagrammes ist derart einfach geworden, dass dieses auch von einem ausgebildeten Zeichner berechnet und aufgezeichnet werden kann. Darum soll es in Zukunft Bestandteil jedes Längenprofiles werden.

Aus den Vp-Werten ergibt sich die notwendige Sichtweite an einer bestimmten Stelle der Strasse und ausserdem kann daraus das Quergefälle beurteilt werden. Es wird auch daran gedacht, in der noch zu bearbeitenden Norm vertikale Linienführung die Vp für die Berechnung der Ausrundungsradien heranzuziehen.

Die Norm führt endlich dazu, dass die Horizontalgeometrie, bzw. die einzelnen Elemente davon, nicht nur geometrisch, sondern auch geschwindigkeitsabhängig aufeinander abgestimmt werden müssen, was zu einer sicheren und harmonischen Linienführung führt.
