

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 76 (1958)
Heft: 1

Artikel: Strassenprojektierung: Vortrag
Autor: Stahel, Max
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-63913>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 30.01.2025

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

Raumorganisation. Sämtliche Räume sind auf einem Boden zusammengefasst und vom zentralen, mit Perspekt-Glas bedeckten Hof leicht zugänglich. Angrenzend an den Haupteingang befindet sich ein gedeckter Wagenpark, und von dort erschliesst sich durch Hof und Wohnraum ein freier Durchblick aufs Meer.

Konstruktion. Die angewandte Konstruktion bietet Widerstand gegen Erdbeben, Termiten und Orkane und besteht aus einem Eisenbetonrahmen, eingefüllt mit hohlen Betonblöcken, welche mit horizontaler Armierung an die Hauptkonstruktion angeschlossen sind. Alle Böden sind betoniert. Das Dach besteht aus Holz, verzinktem Eisen und Aluminium und ist so berechnet, dass es der Saugwirkung eines Orkans

von 250 km/h widersteht. Der Dachraum ist belüftet. Die perforierte Wandfüllung beim Wagenpark und am Nebenbau besteht aus auf dem Bauplatz gegossenen Betonblöcken im Format 45 × 45 × 15 cm.

Ausbau. Die Decken bestehen aus Sperrholz, und für den Bodenbelag kamen ausschliesslich pastellfarbige Vinylasbestplatten zur Anwendung. Die Terrasse ist mit Jalousie-Lamellen aus Aluminium versehen, und im Hauptschlafzimmer wurden mechanisch verstellbare, vertikale Klappen aus verzinktem Blech installiert, womit die westlich gelegenen Räume von der direkten Bestrahlung der Nachmittags-sonne Schutz finden.

Adresse: H. Furrer, Asst. Arch. Dev., P. W. D., Suva, Fiji.

Strassenprojektierung

DK 625.72

Vortrag von Prof. M. Stahel, ETH, Zürich, am S.I.A./VSS-Kurs für Strassenprojektierung in Lausanne 1957¹⁾

Der Strassenbau war noch vor wenigen Jahrzehnten eine eher auf handwerklichem Können und Erfahrung beruhende, vom Eisenbahnbau kräftig profitierende Technik. Anfangs der dreissiger Jahre setzte eine Entwicklung ein, die ihn nun zur vollwertigen Ingenieurdisziplin gemacht hat. Dies hängt zum Teil mit dem allgemeinen Fortschritt der Ingenieurwissenschaften zusammen, insbesondere der Bodenmechanik und der, allerdings noch etwas zurückhängenden Lehre von den Belägen. Vor allem ist diese Entwicklung aber bedingt, ja erzwungen durch die stürmische, noch keinerlei Stabilisierung angezeigte Steigerung des Verkehrs, die eine Zunahme der Wagengewichte und der Fahrgeschwindigkeiten in sich schliesst, weitaus am stärksten aber bei den Verkehrsmengen ist. Deshalb hat sich auch eine neue Disziplin, die Lehre vom Strassenverkehr, entwickelt.

Aus der Verkehrszunahme ergeben sich für den Strassenbauer in erster Linie die Forderungen nach Leistungsfähigkeit und Sicherheit. Es erhalten aber auch die Ansprüche an Linienführung und Ausbildung der Einzelheiten, nach Ebenheit und Griffigkeit der Fahrbahn erhöhte Bedeutung. Der dauernde Bestand guter Fahreigenschaften setzt wiederum einen hochwertigen Aufbau des Strassenkörpers voraus. Und zu alledem übt der stärkere, raschere und schwerere Verkehr entsprechend grössere zerstörende Wirkungen auf die Strasse aus.

Die Strassenplanung umfasst die Beurteilung der Verkehrsbedürfnisse und der Verkehrsentwicklung. Sie führt zur generellen Festlegung der Linienführung und des Typus, d. h. des Verkehrscharakters der wichtigeren Strassen. Die Projektierung hat im einzelnen den Verlauf des Strassenzuges im Gelände, die eigentliche Trassierung, und die Einzelheiten, insbesondere auch die Ausbildung von Knotenpunkten abzuklären und die bautechnische Konstruktion, den Aufbau des Strassenkörpers für die verschiedenen Untergrundverhältnisse, zu bestimmen.

Es ist anzunehmen, dass die Planung von besonderen Gremien oder von den obern Baubehörden durchgeführt wird, während für die Projektierung weitgehend Ingenieurbureaux zugezogen werden. Im folgenden handelt es sich deshalb darum, den Ingenieuren, die sich bisher nicht näher mit der Entwicklung des Strassenbaues befasst haben, das Verständnis für die heutigen Auffassungen und die VSS-Normen zu erleichtern und schliesslich einige allgemeine Erwägungen zur Projektierung der Linienführung neuer Strassen anzustellen.

I. Elemente der Linienführung

1. Der Strassenquerschnitt

Er wird ganz nach den Anforderungen der Sicherheit und Leistungsfähigkeit bestimmt. Vorweg ist auf die Trennung der Verkehrsarten nach Geschwindigkeits- bzw. Gefährdungskategorien als einer besonders wirksamen Methode hinzuwei-

¹⁾ Die Fragen der Planung, des Aufbaues des Strassenkörpers und der Ausführung der Beläge, sowie verschiedene Spezialprobleme der Linienführung werden von anderen Autoren dargestellt, so dass hier vor allem die Trassierung zu behandeln ist. S.I.A. und VSS beabsichtigen, einen Sonderdruck herauszugeben, der alle an diesem Kurs gehaltenen Vorträge enthalten soll.

sen, die gleichermassen Sicherheit und Leistungsfähigkeit erhöht. Sie ist schon längst bekannt (Gehwege für Fussgänger, Radstreifen oder besser Radwege für Velofahrer) und wird durch Anwendung autobahnähnlicher Querschnitte für stark belastete Strassen konsequent fortgesetzt, indem dort der langsame und der über kurze Strecken gehende lokale Motorfahrzeugverkehr vom raschen Durchgangsverkehr getrennt werden.

Die Frage nach der *Leistungsfähigkeit der Fahrbahn* ist sehr komplex und kann hier nicht näher behandelt werden. Es sei nur auf die vier grundlegenden Begriffe hingewiesen, die jetzt bei uns verwendet werden und deren paarweise Kopplung rasch Sinn und Zweck der Gliederung verständlich machen. Es sind

Leistungsfähigkeit unter idealen Bedingungen

Zulässige Belastung unter idealen Bedingungen

Leistungsfähigkeit unter tatsächlichen Bedingungen

Zulässige Belastung unter tatsächlichen Bedingungen

Zwischen Leistungsfähigkeit und zulässiger Belastung besteht grundsätzlich die selbe Beziehung wie zwischen Bruchfestigkeit und zulässiger Spannung, wobei der Sicherheitsfaktor beim Verkehr zwar ebenfalls nicht leicht festzulegen ist, aber meist erheblich kleiner gewählt werden kann als bei den Werkstoffen.

Die Unterscheidung zwischen idealen und tatsächlichen Verhältnissen ist vor allem aus methodischen Gründen notwendig. Man kann durch Berechnungen und durch Messungen auf entsprechend ausgewählten Strecken die Leistungsfähigkeit unter idealen Verkehrsbedingungen ziemlich gut erfassen. Ebenso lassen sich die Auswirkungen verschiedenartiger Störfaktoren, wenn sie einzeln auftreten, durch Ueberlegung, Rechnung und Beobachtung an geeigneten Stellen ermitteln. Daraus wird es möglich, die Leistungsfähigkeit für beliebige tatsächliche Verhältnisse, bei denen mehrere Störfaktoren gleichzeitig auftreten, rechnerisch zu bestimmen, während direkte Messungen wegen der Kombination verschiedenartiger Einflüsse kaum auszuwerten sind. Die Verkehrsplanung liefert die zukünftigen massgebenden Verkehrsmengen pro Zeiteinheit. Mit den eben besprochenen Werten für Leistungsfähigkeit und Belastung können dann der Verkehrscharakter der Strecke (gemischter Verkehr; Verkehrsteilung verschiedenen Grades) und die notwendige Zahl der Fahrspuren bestimmt werden.

Nun ist noch die *Breite der einzelnen Fahrspur* festzulegen. Auf empirischem Wege ist man zu bestimmten Werten gekommen, etwa für die zweispurige Strasse im Mittelland zu 7,0 oder 7,5 m. Die Amerikaner, denen sich ja die Verkehrsprobleme in der heutigen Art schon erheblich früher stellten als den Europäern und deren Methode vor allem auf der Auswertung grosser Beobachtungsserien beruht, sind der Auffassung, 3,65 m (12 Fuss) sei die richtige Spurbreite. Es ist interessant, dass die Entwicklung bei uns und die Untersuchungen in den USA zum selben, nur noch durch das Mass-System etwas differenzierten Ergebnis geführt haben. Neuere Berechnungen, die auf Theorien über Pendeln um die Soll-Fahraxe beruhen, etwa nach Aichhorn, Lohmann oder Wallack,

sowie eine alte Faustformel bringen die Abhängigkeit der Spurbreite von der massgebenden Geschwindigkeit deutlicher zum Ausdruck, geben aber praktisch ebenfalls ähnliche Resultate. Wenn wir von Sonderfällen, z. B. mit Parkierungsstreifen oder einem Verkehrsstrom mit erheblichem Anteil Radfahrer und Leichtmotorräder (überbreite Zweispurstrasse) absehen, kann festgehalten werden, dass eine Verkleinerung der Spurbreite unter den oben angeführten normalen Wert die Leistungsfähigkeit und schliesslich auch die Sicherheit in zunehmendem Masse beeinträchtigt, während eine Verbreiterung nichts Wesentliches einträgt.

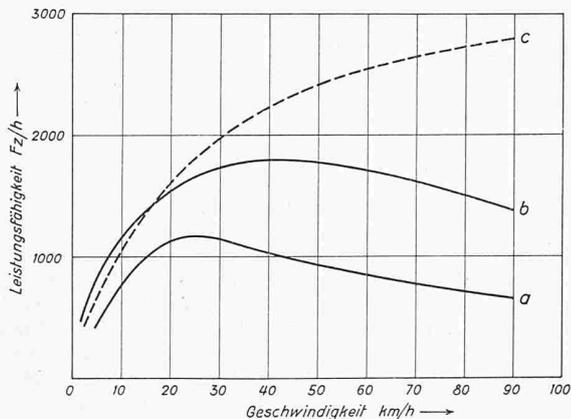


Bild 1. Leistungsfähigkeit der idealen Fahrspur; a mit Berücksichtigung der vollen Bremslänge im Wagenabstand und $\mu = 0,5$; b nach einer der empirischen, die Bremslänge nur teilweise berücksichtigenden Formeln; c Wagenabstand, nur Auswirk-, aber keine Bremslänge umfassend

Die Leistungsfähigkeit, das Schluckvermögen von Spur und Strasse, ist in mancher Hinsicht verwandt mit dem Durchfluss von Flüssigkeiten durch Leitungen. Aber gerade bei einem solchen Vergleich lassen sich einige charakteristische Eigenschaften des Verkehrsstromes hübsch illustrieren. Jede, auch eine kleine Vergrösserung des Rohrquerschnittes trägt eine entsprechende Erhöhung der Leistungsfähigkeit ein; bei den Verkehrsspuren ist das nicht der Fall; die Vergrösserung ist nur sinnvoll in ganzen Einheiten, d. h. Fahrspuren. Die Leistungsfähigkeit einer Leitung kann man steigern durch Erhöhen der Durchflussgeschwindigkeit. Auch diese Hilfe versagt beim Strassenverkehr schon bald. Die Abstände von Fahrzeug zu Fahrzeug sind von der ersten und der zweiten Potenz der Geschwindigkeit abhängig. Der maximale Durchfluss durch einen Strassenquerschnitt wird deshalb nicht bei grössten, sondern bei mittleren Geschwindigkeiten erreicht. Und schliesslich: die Flüssigkeit im Rohr hat nach bestimmten physikalischen Gesetzen einfach zu tun, was man ihr mit Querschnitt, Gefälle und Druck vorschreibt. Fahrzeuge werden aber von Menschen gelenkt, bei denen nicht nur physische, sondern auch psychische Faktoren eine Rolle spielen und die Reaktionen nicht einfach und einheitlich sind.

So zeigt es sich z. B., dass die Fahrspur nur richtig ausgenutzt wird, wenn ausserhalb der Fahrfläche nicht störende Hindernisse die Sicht beeinträchtigen, den Fahrer irritieren und nach innen drängen. Die Amerikaner sind auf Grund grosser Beobachtungsserien zum Ergebnis gekommen, wenn die seitliche Hindernisfreiheit mindestens 1,8 m betrage, sei kein störender Einfluss auf die Benutzung der Fahrspur zu erwarten. Damit wird die in den VSS-Normen und der Praxis in den letzten Jahren in Erscheinung tretende Verbreiterung der Bankette verständlich. Bankette haben nicht nur bau-, sondern auch verkehrstechnische Funktionen; beim Autobahnquerschnitt übernehmen Standspuren diese Aufgabe.

2. Die Ausbaugeschwindigkeit

Sie ist im neuzeitlichen Strassenbau eine der massgebenden Bestimmungsgrössen für die Trassierung. Als Ausbaugeschwindigkeit wird man etwa die Geschwindigkeit ansprechen, die von normalen Personenwagen bei freier und rascher Fahrt eingehalten wird. Sie ist also nicht eine eindeutig bestimmte Grösse, sondern soll nach reiflicher Ueberlegung unter Berücksichtigung der Bedeutung des betreffenden Strassenzuges, der Bedürfnisse des zu erwartenden Verkehrs und der Art des

Geländes als Projektierungsgrösse festgelegt werden. Sie stellt deshalb auch nicht die höchste Geschwindigkeit dar, die von starken Wagen unter günstigen Verhältnissen erreicht werden kann.

Die Eidg. Planungskommission hat für die schweizerischen Autobahnen eine normale Ausbaugeschwindigkeit von 120 km/h vorgesehen mit Reduktion auf 100 oder 80 km/h, wenn es Gelände oder Ueberbauung notwendig machen. Vergleichsweise sei erwähnt, dass für die deutschen Autobahnen seinerzeit Werte von 160 (Flachland) bis 100 km/h (Hochgebirge) angenommen wurden und dass heute auch viele deutsche Fachleute der Auffassung sind, man habe mit diesen Ansätzen zu hoch gegriffen.

Die Ausbaugeschwindigkeit bestimmt, über die aus ihr abzuleitenden Grössen, die angemessene Fahrweise. Im Interesse flüssiger und sicherer Fahrt ist es deshalb notwendig, eine einmal gewählte Ausbaugeschwindigkeit auf möglichst weite Strecken beizubehalten. Auf keinen Fall darf man sie mehrfach und kurz hintereinander wechseln; das verleitet zu unangemessener Fahrweise und führt zu Unfällen. Diese Erwägung gilt keineswegs nur für autobahnähnliche Strecken. Auch auf der Bergstrasse ist es viel angenehmer und sicherer, wenn grosse Steigungen und enge Kurven in eine Strecke langsamer Fahrt zusammengefasst werden können, der sich flüssigere Strecken mit mittleren Geschwindigkeiten anschliessen.

3. Die Anhaltstrecke

Die Anhaltstrecke, auch einfache Sichtweite genannt, ist die Strecke, die der Fahrer mindestens übersehen können muss, um wahrzunehmen, dass sich auf seiner Fahrbahn ein Hindernis befindet, dann zu reagieren und seinen Wagen abzubremsen bis zum Stillstand vor dem Hindernis. Sie hängt von der Geschwindigkeit ab, wobei man zur Gewinnung von Dimensionierungsgrössen die Ausbaugeschwindigkeit zu Grunde legt. Die erste Phase des Vorganges, wahrnehmen und reagieren bis zum Durchtritt des Bremspedals, heisst zusammenfassend die Auswirkzeit. Sie ist individuell etwas verschieden. Die entsprechende Auswirkstrecke ist linear von der Geschwindigkeit abhängig. Der zweite Teil der Strecke ist die Bremslänge, die von der Geschwindigkeit im Quadrat und vom Reibungskoeffizienten (Belagsrauigkeit, Zustand der Fahrbahn und der Reifen) abhängt.

Die den VSS-Normen zu Grunde liegenden Bremsstrecken sind aus Fahrversuchen auf abgenutzter, nasser, jedoch sauberer Oberflächenbehandlung und mit stark abgenutzten Reifen gewonnen worden. Zur Ausdehnung des Anwendungsbe-

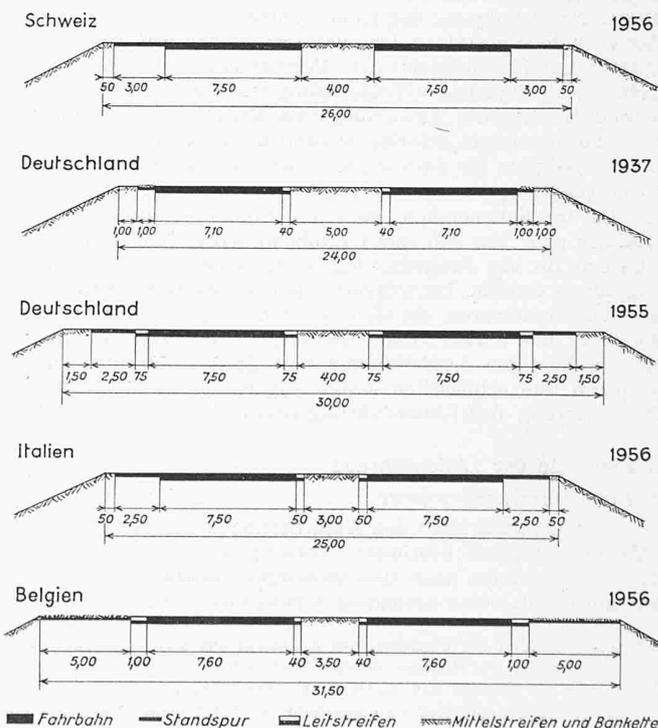


Bild 2. Autobahn-Querschnitte

reiches dieses Normblattes auf Autobahnen wird die Projektionskommission diese Bremslängen unter Berücksichtigung neuerer Erkenntnisse nur soweit verändern wie nötig, um die Kurve auf höhere Geschwindigkeiten verlängern zu können. Die Auswirkzeit ist bis jetzt mit 1 Sekunde festgelegt, einem Wert, der für gewöhnliche Strassen und normale Fahrer als genügend bis reichlich betrachtet werden darf. Trotzdem werden wir dazukommen, die Auswirkzeit für Autobahnen auf 2 Sekunden zu erhöhen. Es zeigt sich eben ganz deutlich, dass die günstigen Verkehrsbedingungen der Autobahn zu einer spürbaren Verminderung der Reaktionsbereitschaft führen, die um so ausgeprägter ist, als es sich dort häufig um ausgesprochene Langstreckenfahrten handelt.

4. Die Ausrundung von Kuppen und Wannen

Gefällsbrüche im Längenprofil müssen so ausgerundet werden, dass Sicherheit und flüssige Fahrt nicht beeinträchtigt werden. Bei den Kuppen, den nach oben konvexen Ausrundungen, ist die Frage besonders wichtig. Der Ausrundungsradius muss mindestens so gross gewählt werden, dass der Fahrer rechtzeitig anhalten kann, wenn sich auf seiner Fahrspur ein Hindernis befindet. Dieser Minimalradius ist deshalb abhängig von der Neigung der beiden durch die Ausrundung zu verbindenden Gefällsstrecken, von der Ausbaugeschwindigkeit und der Verkehrsabwicklung über die Kuppe.

Der einfachste Fall liegt vor, wenn auf der Fahrspur nicht mit Gegenverkehr zu rechnen ist, sei es, dass die beiden Fahrrichtungen durch Mittelstreifen oder wenigstens durch eine Sicherheitslinie getrennt sind. Der Fahrer mit der Augenhöhe a muss über die Kuppe hinweg einen auf seiner Fahrbahn liegenden Gegenstand von der Höhe g mindestens auf die Anhaltestrecke sehen können. Mit Rücksicht auf moderne Sport- und Kleinwagen wird voraussichtlich die Augenhöhe von bisher 1,35 m auf 1,10 m herabgesetzt; die Gegenstandshöhe ist mit 10 cm recht vorsichtig gewählt. Mit diesen

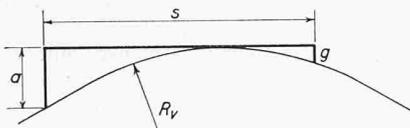


Bild 3. Ausrundung von Kuppen; a Augenhöhe des Fahrers, g Gegenstandshöhe, s mindestnotwendige Sichtweite zum rechtzeitigen Anhalten

Annahmen können die Ausrundungsradien in Funktion der massgebenden Geschwindigkeit berechnet werden; das Ergebnis ist im VSS-Normblatt durch Kurven festgehalten.

Ist mit Gegenverkehr auf der Fahrspur zu rechnen, dann muss jeder Fahrer das entgegenkommende Fahrzeug auf doppelte Anhaltestrecke sehen können. In der Rechnung kann die Gegenstandshöhe dann aber als Fahrzeughöhe erheblich grösser angenommen werden; voraussichtlich wird ebenfalls 1,10 m gewählt.

Schliesslich ist noch der Fall denkbar, dass man, z. B. für zweispurige Autostrassen, ein Ueberholen auch auf der Kuppe ermöglichen will, wenn kein Gegenverkehr vorhanden ist. Dann muss als Sichtweite die sog. Ueberholsichtweite eingeführt werden, und die minimalen Ausrundungsradien steigen sehr stark an.

Bei den Wannen, den nach unten konkaven Ausrundungen, ist mindestens bei Tage das Sichtproblem nicht massgebend. Die in den USA etwa angestellten Untersuchungen über die Sicht bei Nacht, entsprechend der vom Scheinwerfer beleuchteten Strecke, sind bei uns vorläufig nicht gebräuchlich. Die Wannen werden einfach so ausgerundet, dass sie auch bei rascher Durchfahrt nicht schlagen. Man wählt die Radien etwa nach folgender Regel

$$R_v^k \geq R_v^w \geq \frac{1}{2} R_v^k$$

Allgemein besteht im neuzeitlichen Strassenbau die Tendenz, die Ausrundungen mit möglichst grossen Radien durchzuführen; für die Minima kommen als Grössenordnung mehrere tausend Meter und als anzustrebende Werte einige zehntausend Meter in Betracht. Man wird nicht übersehen, dass deshalb recht lange Rampen, beträchtliche Aufschüttungen und tiefe Einschnitte notwendig werden können.

5. Die Kurven

Flüssige Linienführung erheischt bei Strassen für raschen Verkehr grosse Kurvenradien. Im allgemeinen werden von den Baubehörden für bestimmte Strassenkategorien Minimalwerte vorgeschrieben. So soll z. B. für eine Autobahn mit 120 km/h Ausbaugeschwindigkeit der kleinste Radius nicht unter 750 m, im äussersten Fall wenigstens über 500 m liegen.

Die Erkenntnis hat sich nun allgemein durchgesetzt, dass nur für Strassen von ganz untergeordneter Verkehrsbedeutung oder mit kleiner Ausbaugeschwindigkeit der tangentielle Anschluss der Geraden an den Kreisbogen zulässig ist. Wohl hat der Fahrer innerhalb seiner Fahrspur beschränkte Möglichkeiten, die Form des Ueberganges zu wählen. Sichere und flüssige Fahrweise, zudem aber auch die ästhetische Wirkung erfordern das Einlegen von Uebergangskurven zwischen Geraden und Hauptkreisbogen. Die Aufzeichnung des Krümmungsverlaufes macht diese Forderung sofort verständlich. An sich

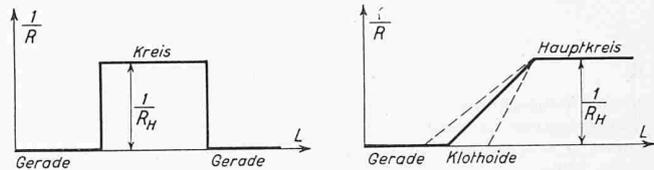
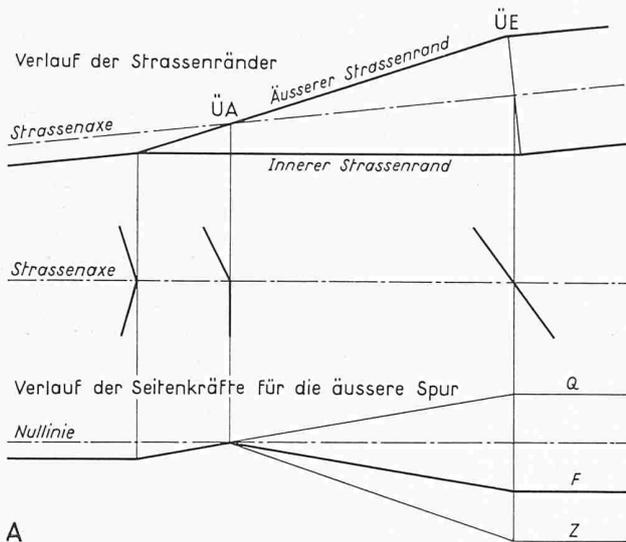


Bild 4. Krümmungslinien; Krümmung $1/R$ in Funktion der Bogenlänge L beim direkten Anschluss der Geraden an den Kreis und bei Einschaltung einer Klothoide als Uebergangskurve

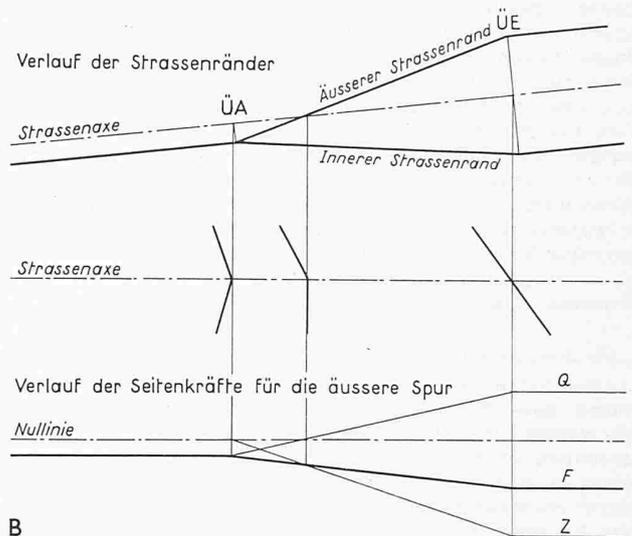
kommen verschiedene Kurvenformen in Betracht, und die Diskussion über die beste wird noch lange weitergehen. Praktisch ist auch bei uns die Entscheidung getroffen: Als Uebergangskurve soll die Klothoide angewendet werden, deren Kurvengesetz lautet $R \cdot L = a^2$, wobei a der Kurvenparameter ist. Wenn eine Kurve mit konstanter Geschwindigkeit gefahren und dabei das Steuerrad gleichmässig gedreht wird, beschreibt das Fahrzeug als Ganzes eine Klothoide; Bogenlänge und Krümmung sind proportional. Die Kurven werden zwar tatsächlich auf verschiedenste Weise befahren; die erwähnte Annahme bildet aber ein brauchbares Mittel und hat, wie sich aus dem Krümmungsbild zeigt, mit der einfachen Beziehung zwischen Bogenlänge und Radius mancherlei Vorteile. Nachdem in den VSS-Normen und in der VSS-Klothoidentafel die Unterlagen für Berechnung und Absteckung zur Verfügung stehen, sollte ihre Anwendung keine Schwierigkeiten mehr bereiten. Die wegen ihrer geometrischen Vorzüge etwa empfohlene kubische Parabel gibt nur geringe Unterschiede gegenüber der Klothoide (wenn man von den in Reihen entwickelten kartesischen Koordinaten der Klothoide nur je das erste Glied verwendet, erhält man eine kubische Parabel), der Zusammenhang zwischen Bogenlänge und Radius ist nicht mehr so einfach, und die Anwendung ist auf Winkel bis 24° beschränkt. Wenn man noch etwas Besseres als die Klothoide haben möchte, dann dürfte wohl das Winkelbildverfahren in Betracht kommen, das im Eisenbahnbau eine erhebliche Rolle spielt und das heute schon gelegentlich als besonders anpassungsfähige Methode im Strassenbau verwendet wird (das sog. Winkelbild, die Kurve der Tangentenwinkel in Funktion der Bogenlänge, ist die Integrallinie der Krümmungslinie).

Mit der Wahl des Kurvengesetzes, der Ausbaugeschwindigkeit und des Radius des Hauptkreisbogens ist die Klothoide aber noch nicht eindeutig bestimmt; wir können noch eine weitere Grösse wählen. Normalerweise ist dies der Querruck k , die Aenderung der Radialbeschleunigung pro Zeiteinheit. Mit $k = \frac{dp}{dt} = \frac{dL}{dt} \frac{dp}{dL} = v \frac{dp}{dL}$ ist die Uebergangskurve eindeutig bestimmt, wenn der Querruck festgelegt wird. Die Gleichung enthält neben dem Querruck die Ausbaugeschwindigkeit und, über die resultierende Radialbeschleunigung p , den Kurvenradius und das Quergefälle als bekannte Grössen und liefert uns die Bogenlänge und damit den Parameter. Die VSS-Normen und die Klothoidentafel beruhen, in Anlehnung an entsprechende Festlegungen im Ausland, auf einem Querruck von ungefähr $0,5 \text{ m/s}^3$; damit erhalten wir die «normalen» Klothoide. Als obere Grenze für Ueberlandstrassen betrachtet man $k = 0,8 \text{ m/s}^3$; nur bei kleinen Geschwindigkeiten innerorts kommen grössere Werte in Betracht. Klothoide mit $k > 0,5 \text{ m/s}^3$ nennt man «gedrungene». Die Empfindungs-



A

Bild 5. Uebergang vom dachförmigen Quergefälle in der Geraden zum einseitigen Quergefälle im Hauptkreisbogen, sog. Anrampung; ÜA = Uebergangsbogenanfang (links davon Gerade), ÜE = Uebergangsbogenende (rechts davon Kreisbogen); Z = Querkraft aus Fahrt in der Kurve, Q = Querkraft von der Querneigung herrührend, F = Resultierende aus Z und Q. A und B bezeichnen die beiden im Text behandelten Fälle



B

schwelle für den Querruck soll bei $0,3 \text{ m/s}^3$ liegen; Klothoiden mit $k < 0,5 \text{ m/s}^3$ heissen «gestreckte».

Ausnahmsweise gestatten Scheitelklothoiden eine Anpassung an besondere Verhältnisse. Bei diesen gehen die beiden Uebergangsbogen im Kurvenscheitel direkt ineinander über, und der Hauptkreisbogen verschwindet, d. h. er wird zum Schmiegunskreis. Sie sollen aber nur mit Zurückhaltung, unter Berücksichtigung der in den VSS-Normen angegebenen Grenzen, angewendet werden. Schliesslich sind auch direkt aufeinanderfolgende gleich- und entgegengesetzt gerichtete Kreisbogen mit Klothoiden zu «Ei-» und «S»-Linien zu verbinden.

Da die Kurvenprobleme, insbesondere auch konstruktive und ästhetische Fragen, von anderer Seite eingehend behandelt werden, ist hier nur grundsätzlich darauf hinzuweisen, dass Uebergangskurven und Hauptkreisbogen in einem harmonischen Verhältnis zueinander stehen sollen, dass der neuzeitliche Strassenbau lange Gerade tunlichst vermeidet und durch Kurven mit sehr grossen Radien ersetzt, dass die Kurven in Wirklichkeit räumliche Gebilde sind und deshalb nicht nur getrennt im Grundriss und Aufriss studiert werden dürfen, sondern als Raumkurven zu sehen sind, und dass schliesslich das Auge noch viel empfindlicher auf unschöne Kurven reagiert als das schnellste Fahrzeug.

6. Das Quergefälle

In der Geraden wird das für den Wasserablauf notwendige Quergefälle meist als Dachprofil ausgeführt, wobei die mindest notwendige Neigung 1,5 bis 2 % beträgt. Bei Autobahnen wendet man auch in der Geraden einseitiges Quergefälle an. Unverkennbar, und wie uns scheint zu Recht, verstärkt sich die Tendenz, auch bei anderen Strassen für raschen Verkehr nur einseitiges Quergefälle auszuführen.

In der Kurve ist heute die Anwendung des einseitigen Quergefälles wohl unbestritten. Ein VSS-Normblatt gibt Richtwerte in Abhängigkeit vom Kurvenradius und lässt darüber hinaus dem Konstrukteur einen gewissen willkommenen Spielraum. Die Normwerte sind so bestimmt, dass bei der massgebenden Geschwindigkeit von der gesamten in der Kurve auf das Fahrzeug wirkenden Fliehkraft ein Drittel vom Quergefälle und zwei Drittel im Kontakt Rad/Belag von der Reibung aufgenommen werden. Für Autobahnen wird voraussichtlich auch bei uns das Quergefälle so festgelegt, dass es die Hälfte der Zentrifugalkraft übernimmt.

Strassenbauer und Fahrer diskutieren die Frage der angemessenen Kurvenüberhöhung heftig, und man hört die Forderung nach grösseren Quergefällen recht oft. Wenn man dieser Auffassung auch grundsätzlich zustimmen kann, ist doch eine sorgfältige und sehr differenzierte Behandlung des einzelnen Falles unerlässlich. Wo ausgesprochen langsamer Verkehr von Bedeutung ist oder wo die klimatischen Verhältnisse

häufig zu Glatteis führen, wird man bei der Kurvenüberhöhung zurückhaltend sein müssen.

7. Die Anrampung

Man bezeichnet als Anrampung den Uebergang vom Quergefälle in der Geraden zu jenem im Hauptkreisbogen. Seine Gestaltung ist fahrtechnisch, bezüglich des Wasserablaufes und für die ästhetische Wirkung der Kurve von erheblicher Bedeutung. Normalerweise werden die Fahrbahnhälften um die Strassenaxe, gelegentlich um den inneren Fahrbahnrand und nur ausnahmsweise um eine andere Leitlinie gedreht. Dabei ist zu beachten, dass keine Säcke entstehen dürfen, dass die relative Neigung der Ränder gegenüber der Axe nicht zu gross wird und dass die Fahrbahnänder gut ausgerundet und stetig verlaufen.

Obwohl zur Hauptsache die Anrampung im Uebergangsbogen durchgeführt wird, gibt es doch verschiedene Möglichkeiten, von denen die beiden wichtigsten hier kurz diskutiert werden sollen. Von der Annahme eines Dachprofils in der Geraden ausgehend, ist dabei vor allem der Uebergang in der äusseren Fahrspur näher zu betrachten. Bei der Lösung A beginnt man mit dem Aufdrehen der Fahrbahn schon so weit vorn in der Geraden, dass beim Uebergangsbogen-Anfang die äussere Fahrbahn horizontal ist. Diese Ausführung entspricht den theoretischen Erwägungen über Krümmung und Quergefälle und ergibt kein Kurvenstück mit «verkehrter» Neigung. Nach Lösung B beginnt man erst im Uebergangsbogen-Anfang mit der Anrampung und behält damit im ersten Teil der Uebergangskurve nach aussen, also falsch gerichtetes Quergefälle — allerdings bei sehr grossen Radien. Die Projektierungskommission der VSS hat diese Fragen eingehend erwogen und ist zum Schluss gekommen, für normale und gestreckte Klothoiden sei die Lösung B und nur für gedrungene Uebergangskurven die Lösung A vorzuziehen. Diese im ersten Moment überraschende Entscheidung wird verständlich, wenn man den Verlauf der resultierenden, auf das Fahrzeug wirkenden Radialbeschleunigung aufzeichnet; er ist für die Lösung B stetiger und begünstigt damit die ruhige Kurvenfahrt.

II. Knoten

Einmündungen und Kreuzungen stellen den Strassenbauer vor wichtige, aber meist nicht leicht zu lösende Aufgaben, und dies besonders deutlich unter dem doppelten Gesichtspunkt der Leistungsfähigkeit und der Sicherheit. Das Ergebnis wird sehr verschieden sein für gewöhnliche oder für sog. niveaufreie Lösungen. Bei den normalen Knotenpunkten mit Linksabbiegen und Kreuzen à niveau hat zudem die Frage, ob die Verkehrsabwicklung frei oder durch Signale gesteuert erfolge, ihre konstruktiven Konsequenzen. Durch Steuerung des Verkehrs werden die sich konkurrenzierenden Verkehrsströme zeitlich

getrennt, ihre Spuren können sich deshalb örtlich überschneiden. Bei freier Verkehrsabwicklung wird man umgekehrt die örtliche Trennung der Spuren anstreben, um deren gleichzeitige Benutzung zu ermöglichen.

Da die Knotenpunkte und insbesondere die Autobahn-Anschlüsse von anderer Seite behandelt werden, sind hier nur einige allgemeine Erwägungen und Hinweise auf die konstruktiven Leitgedanken zu geben. Dabei darf daran erinnert werden, dass sich die Beratungsstelle für Unfallverhütung um die Einführung neuzeitlicher Lösungen für Knotenpunkte bei uns grosse Verdienste erworben hat.

1. Leitgedanken

Klarheit: die Lösung muss so klar und übersichtlich sein, dass auch der Ortsfremde seinen vorgezeichneten Weg ohne Zögern erkennt. Er soll nicht einen Wirrwarr von Markierungen, Inseln und Signalen enträtseln müssen, sondern seine Aufmerksamkeit auf die eigene Fahrt und den übrigen Verkehr richten können. Wohl sind genügende Spurbreiten notwendig, aber ein grosser Spielraum in der Breite, ein freier Platz ist unerwünscht, weil damit verschiedene Fahrweisen möglich werden und die Schnittpunkte mit anderen Fahrströmen sich willkürlich verlagern.

Gute Sicht nicht nur auf den Platz selber, sondern vor allem auch auf die Zubringerstrecken, mit deren Verkehr man sich zum Einspuren oder Kreuzen auseinandersetzen hat, ist eine grundlegende Voraussetzung. Dabei ist zu beachten, dass die notwendige Sichtweite von den in Betracht kommenden Geschwindigkeiten abhängt. Man hat früher etwa den Versuch gemacht, bei schlecht funktionierenden, unfallgefährlichen Knotenpunkten den Platz zu vergrössern und damit selten gute Ergebnisse erhalten. Es kann der Satz von Ing. Biermann zitiert werden: «Le gain de vue est préférable au gain de chaussée».

Die **Geschwindigkeit** der Fahrt im Knotenpunkt könnte man als dessen Dominante bezeichnen. Dies nicht etwa in dem Sinne, dass allgemein hohe Geschwindigkeiten gewährleistet werden müssten, wie es umgekehrt auch zu kurzog wäre, einfach in jedem Knoten langsame Fahrt zur Bedingung zu machen. Aber jeder Knotenpunkt soll einen bestimmten und leicht erkennbaren «Geschwindigkeits-Charakter» haben, in Grössenordnungen ausgedrückt also für langsamen oder für relativ raschen Verkehr gebaut sein. Unklare Zwischenlösungen verführen zu unangemessener Fahrweise und sind ausgesprochen gefährlich. Auf Grund von Verkehrsanalysen, Unfalluntersuchungen, Situation, Grösse des verfügbaren Platzes und der Fahrgeschwindigkeiten auf den anschliessenden Strecken wird man sich für eine bestimmte Grössenordnung der Geschwindigkeit entscheiden. Daraus ergeben sich dann wichtige konstruktive Konsequenzen. Ganz allgemein ist klar, dass mit zunehmender Geschwindigkeit der Platzbedarf erheblich ansteigt; Sichtweiten, Radien, Verflechtungsstrecken, Einbauten usw. müssen gross gewählt werden, während andererseits die Winkel von Ein- und Ausfahrten klein zu halten sind.

2. Elementare Bewegungen und verkehrstechnische Hilfen

Ausbiegen: der einfachste Fall; der Fahrer hat seinen Platz im betrachteten Verkehrsstrom, und es handelt sich vor allem darum, dass er diesen Strom beim Ausbiegen möglichst wenig stört. Dazu soll er mit der diesem Strom eigenen Geschwindigkeit so weit ausfahren können, bis er dessen Spur verlassen hat. Das erfordert ein flaches Ausbiegen und nachher aber auf der neuen Spur eine genügende Strecke, um die Fahrt auf die in der neuen Spur angemessene Geschwindigkeit reduzieren zu können. Auf Strassen mit raschem Verkehr sind Abzweigungen mit grossem Winkel und enger Ausrundung unerwünscht, ja gefährlich. Sie sind innerorts meist nicht zu vermeiden und bedingen eine entsprechend langsamere Fahrweise.

Einmünden: dieser Bewegungsvorgang setzt natürlich Lücken im Verkehrsstrom der Hauptspur voraus. Bei stärkerem Verkehr wird der Einbiegende aber in sehr langsamer Zufahrt oder im Stillstand eine Lücke abwarten müssen. Daraus leitet sich der Typus des ungefähr rechtwinkligen Einbiegens mit relativ enger Ausrundung ab. Die Lücke muss aber gross sein, weil der Einbiegende noch Länge braucht, um von seiner kleinen Geschwindigkeit auf jene des Fahrstromes zu beschleunigen, ohne die Wagen hinter der Lücke zu behindern.

Wenn das Einfädeln schon mit der Geschwindigkeit des Stromes auf der Hauptspur vollzogen werden kann, fällt diese Beschleunigungsphase weg und es genügt eine wesentlich kürzere Lücke. Die Einmündung muss schlank sein und benötigt auf eine lange Strecke eine zusätzliche Spur neben der Hauptspur, damit der Einbiegende mit leichter Variation seiner Geschwindigkeit die nächste Lücke finden und ausnützen kann. Diese Lösung kann nur in Betracht gezogen werden, wenn deren konstruktive Konsequenzen voll berücksichtigt werden.

Bei diesem einfachen Vorgang des Einbiegens erkennt man deutlich die Bedeutung der Geschwindigkeit als der den Typus bestimmenden Grösse; die beiden Extreme geben ganz verschiedenartige, aber klare Formen; verschwommene Zwischenlösungen verführen zu falscher Fahrweise und sind gefährlich (vgl. die richtige Lösung, Bild 8).

Verflechten: die Kombination von Ein- und Ausbiegen ist beim Kreisverkehr und überall dort notwendig, wo Spurwechsel auf parallelen Fahrbahnen ausgeführt werden. Da die Fahrzeuge ungefähr gleiche Geschwindigkeiten haben, funktioniert der in der Schemazeichnung eher fragwürdig aussehende Verkehrsablauf meist recht gut, wenn hohe gegenseitige Rücksichtnahme und genügend lange Verflechtungsstrecken vorhanden sind.

Kreuzen: das Kreuzen von Fahrströmen soll möglichst rechtwinklig erfolgen, weil damit der Schnittpunkt der Spuren eindeutig bestimmt ist, die gegenseitige Blockierung der Gegenspuren und die notwendigen Lücken am kürzesten werden und zudem der Verkehrsablauf auf den anderen Spuren am besten beobachtet werden kann.

Das Kreuzen mehrerer Fahrströme in einer Bewegung setzt voraus, dass gleichzeitig in allen Strömen eine Lücke vorhanden ist. Wahrscheinlichkeitsrechnung und Erfahrung lehren gleicherweise, dass dies recht selten eintritt, auch wenn die einzelnen Fahrströme nur mässig belegt sind. Es drängt sich deshalb das schrittweise Ueberwinden der Gesamtkreuzung auf. Dazu ist es notwendig, die ursprünglich nebeneinander liegenden Fahrspuren mindestens so weit auseinanderzuziehen, dass nach dem Kreuzen eines Verkehrsstromes die Lücke im nächsten abgewartet werden kann.

Warteräume: die eben erwähnte Methode wirkt nur dann befriedigend, wenn das Abwarten ohne Behinderung der anderen Fahrströme möglich ist. Das zur Schaffung der Warterräume notwendige Spreizen der Fahrspuren muss meist in

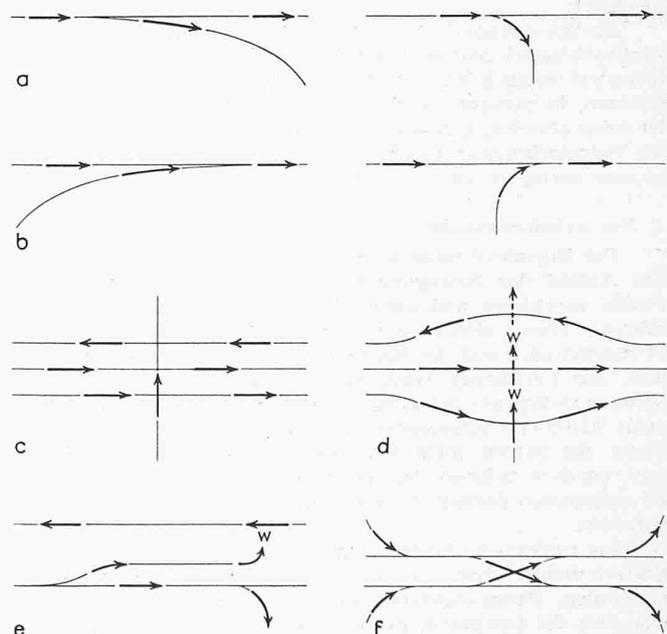


Bild 6. Elementare Bewegungen im Knoten

- a Schlankes und enges Ausbiegen
- b Rasches und langsames Einmünden
- c Kreuzen mehrerer Verkehrsströme in einer Bewegung
- d Auseinandergezogene Fahrspuren gestatten schrittweises Kreuzen mit Abwarten der Lücken ohne Störung des Längsverkehrs
- e Vorsortierung mit Warteraum für Linksabbieger
- f Verflechten paralleler Verkehrsströme

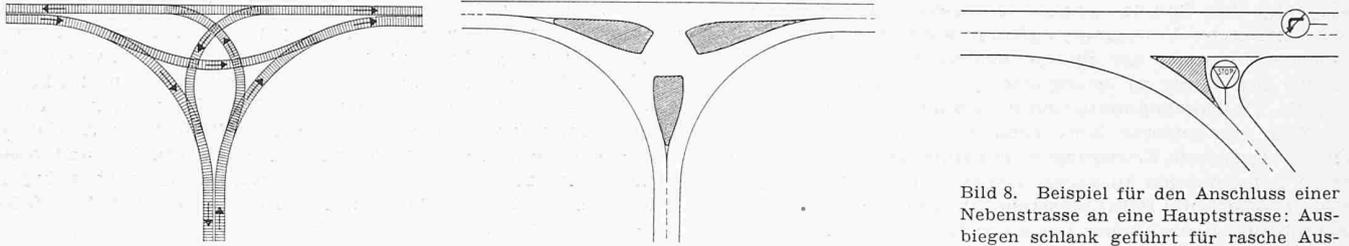


Bild 7. Schematische Darstellung der Arbeitsmethode: Festlegen der Fahrströme, daraus ergeben sich Fahrbahnränder und Einbauten

Bild 8. Beispiel für den Anschluss einer Nebenstrasse an eine Hauptstrasse: Ausbiegen schlank geführt für rasche Ausfahrt, Einfahrt aus dem mittleren Winkel der Strassenachsen auf rechtwinklig abgedreht, langsame Bewegung, entsprechende Regelung des Vortrittsrechtes

flachgeschwungener Linienführung geschehen. Es wird dann kaum möglich sein, lange Warteräume für mehrere Fahrzeuge hintereinander zu schaffen; dagegen ist deren Verbreiterung, so dass zwei bis drei Fahrzeuge nebeneinander Platz haben, leichter.

Vorsortierung: die Unterteilung eines in den Knoten ein-fahrenden Fahrzeugstromes nach den verschiedenen Richtungen der Weiterfahrt, die Vorsortierung, ist ein sehr leistungsfähiges Mittel zur Verbesserung des Verkehrsablaufes. Ob diese Vorsortierung total sein soll oder nur auf einzelne, meist die störendsten Fahrrichtungen beschränkt wird (z. B. Linksabbieger separat, Geradeausfahrer und Rechtsabbieger zusammen), hängt von den Verhältnissen ab. Wenn es möglich ist, den Vorsortierungsstrecken eine gewisse Länge zu geben, können sie gleichzeitig in sehr vorteilhafter Weise die Funktion der Warteräume übernehmen. Man wird nicht übersehen, dass diese wirksame Massnahme recht viel Platz erfordert.

Vortrittsrecht: die Konzeption des Verkehrsablaufes im Knoten und seine konstruktive Gestaltung schliesst die Abklärung des Vortrittsrechtes bei jeder Teilkreuzung und Einmündung und, wo notwendig, deren angemessene Klarstellung auf dem Platze in sich. Dabei wird man nicht ohne schwerwiegende Gründe von den im betreffenden Raum normalerweise geltenden Regeln — zur Zeit allgemeiner Rechtsvortritt innerorts und privilegierte Hauptstrassen ausserorts — abweichen. Das Stoppsignal ist zwar ein überaus wirksames, gleichzeitig aber auch ein sehr rigoroses Hilfsmittel. Es soll nur dort in Betracht gezogen werden, wo Strassen oder Spuren gegenüber anderen durchaus sekundär sind und keine Belegung erhalten, die zu einem Rückstau führen könnte, der weitere Knoten blockiert.

Einbahnverkehr, Verbot gewisser Bewegungen (z. B. Linksabbiegen) und schliesslich das **Verlegen** bestimmter Zubringerstrassen können, in Verbindung mit den übrigen Massnahmen, in manchen Fällen sehr vorteilhaft sein. Bedingung ist dabei allerdings, dass man mit diesen massiven Hilfsmitteln die Schwierigkeiten nicht einfach auf benachbarte Knotenpunkte verlagert und dort auf sich beruhen lässt.

3. Die Arbeitsmethode

Der Ingenieur muss seine Vorstellung, seinen Willen über den Ablauf der Bewegungen im Knoten, draussen auf dem Platze verankern und allen Verkehrsteilnehmern klar übermitteln. Hiezu stehen ihm in erster Linie die Führung der Strassenränder und die Einbauten, wie Inseln, Verkehrsteiler usw. zur Verfügung. Diese Hilfen haben als bauliche Massnahmen zwingende Wirkung; da sie aber bestimmte, und zwar nicht kleinliche Abmessungen haben müssen, brauchen sie Platz. Sie dürfen nicht Verkehrshindernisse, gar Prellböcke sein, sondern müssen den Verkehr klar und schlank führen; sie bekommen deshalb Formen, die Strömungsvorgängen entsprechen.

Als zusätzliche Hilfen dienen Markierungen und Signale. Erstere haben rechtlich zwingenden Charakter, z. B. Sicherheitslinien, Fussgängerstreifen, oder es sind Empfehlungen, wie etwa die Leitlinien; in allen Fällen sind es unentbehrliche optische Führungen. Verbots-, Gebots- und Hinweis-Signale ergänzen die verfügbaren Hilfsmittel; sie sollen aber mit Zurückhaltung angewandt werden.

Geht man an die Bearbeitung eines Knotenpunktes, so ist man leicht geneigt, als erstes in die durch Strassenbreiten und Anschlusswinkel scheinbar gegebene Form des Platzes ein paar Verkehrsteiler und Inseln einzuzeichnen. Wir möchten eine andere Arbeitsweise empfehlen: nach gründlichem Stu-

dium der Aufgabe — die ohnehin meist nicht einfach ist und selten nur eine brauchbare und in die Augen springende Lösung besitzt — handelt es sich darum, vorerst ein paar recht verschiedenartige Lösungsmöglichkeiten zu skizzieren und dann kritisch miteinander zu vergleichen. Jede dieser Lösungen beruht auf einer bestimmten Konzeption über die Verkehrsabwicklung. Sie ist auf dem Skizzenblatt festzulegen, indem die Fahrströme, so wie man sie haben will, aufgezeichnet werden, und zwar nicht als Striche, sondern masstäblich als Bänder. Wie der erfahrene Konstrukteur seine ersten Skizzen auch bei anderen Aufgaben «von Auge» verbessert, wird man auch hier Form und Verlauf der Fahrströme «nach Gefühl» korrigieren. Die notwendigen Führungshilfen ergeben sich dann von selbst, die Fahrbahnränder sind gegeben und die grösseren, zwischen den Fahrströmen liegenden freien Flächen bestimmen Lage und Form der Einbauten. Dabei soll man aber nicht jeden kleinen freien Raum mit einer Insel belegen, sondern zurückhaltend prüfen, welche der grösseren Flächen mit Leitwerken versehen werden müssen, um die gewollte Fahrweise sicherzustellen. Dann setzt das anspruchsvollere, kritische Vergleichen der verschiedenen Lösungen ein, das mit diesem Vorgehen aber bereits zweckmässig vorbereitet ist. Es wird auf den entscheidenden Kriterien der Klarheit, Flüssigkeit und Sicherheit der Verkehrsabwicklung beruhen und auch die Abschätzung der Leistungsfähigkeit nach einer der verfügbaren Methoden in sich schliessen. (Schluss folgt)

Mitteilungen

Die Glen Canyon - Bogengewichtsmauer, die vom United States Bureau of Reclamation in Angriff genommen wurde, soll die zweithöchste Talsperre der USA werden. Am Colorado-Fluss oberhalb des Eintritts in den Grand Canyon gelegen, bildet sie mit ihrem Speicher von 34,5 Mld m³ das Kernstück des riesigen, weitere acht projektierte Talsperren umfassenden Upper Colorado River Project. Dieses bezweckt die vorwiegend bewässerungstechnische Nutzbarmachung von über 9 Mld m³ Wasser jährlich unter Einhaltung einer Abgabepflicht im gleichen Umfang an das Lower Colorado River Basin, d. h. den Einzugsgebietteil unterhalb Glen Canyon. Es ist diese Bedingung, welche angesichts der starken Abflussschwankungen des Colorado-Flusses die Bereitstellung grosser Speicherräume fordert. Die Sperrstelle weist typischen Canyon-Charakter auf mit ausgeprägtem U-Profil und lotrechten massigen Sandsteinflanken. Die Talsperre ist als Zylindermauer ausgelegt mit folgenden Hauptabmessungen:

Kronenhöhe 1130 m ü. M., max. Höhe über Fundamentsohle 214 m
Kronenlänge 458 m, Kronenbreite 10,7 m, Fussbreite 95,5 m

Der Massenbeton (3,65 Mio m³) wird eine Bindemitteldosierung von 110 kg/m³ Portlandzement mit 55 kg/m³ Puzzolanzusatz aufweisen. Die Zuschlagstoffe sollen einer rund 16 km entfernten Grube entnommen werden. Die zwei Umleitstollen von 14 m Durchmesser vermögen 3400 m³/s abzuführen und sollen später teilweise als Ablaufstollen für die zwei Hochwasserentlastungen dienen. Diese sind auf eine Wassermenge von insgesamt 7800 m³/s bemessen und werden mit je zwei Segmentschützen 12 × 16 m ausgerüstet. In die Talsperre einbetoniert werden die acht Druckleitungen zu dem zur Mauer parallelen, von ihr leicht abgesetzten Maschinenhaus. Dessen acht Einheiten werden eine totale Leistung von 900 MW aufweisen. Die Erschliessung der Baustelle erforderte umfangreiche Strassenbauten. Die Arbeiten am ersten Umleitstollen