

Festlegung der Einsatzbereiche für die Rampentypen gemäß RAA unter Berücksichtigung der Zusammenhänge zwischen Verkehrsstärke und Geschwindigkeit sowie anhand der Verkehrssicherheit

FA 2.284

Forschungsstelle: Karlsruher Institut für Technologie, Institut für Straßen- und Eisenbahnwesen (ISE) (Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. R. Roos)
Bearbeiter: Zimmermann, M./ Cindric-Middendorf, D.
Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Bonn
Abschluss: Oktober 2011

Aufgrund von Beobachtungen bei den Untersuchungen zur Querschnittsbemessung wurde außerdem eine Bewertung der Trassierung von Rampen auf Basis des Geschwindigkeits- und Spurverhaltens durchgeführt. In Abschnitt 6 der RAA (2008) werden u. a. die Grundsätze der Linienführung von Rampen erläutert. In der Regel wörtlich übernommen aus dem Vorgängerregelwerk RAL-K-2 (1976) [2] werden dort nur sehr wenige Festlegungen zu Trassierungselementen und ihren Abfolgen getroffen. Im Forschungsvorhaben wurde daher näher untersucht, welche Randbedingungen beim Rampenentwurf im Hinblick auf die Verkehrssicherheit von Bedeutung sind.

1 Aufgabenstellung

Die Untersuchung hatte das Ziel, die Einsatzbereiche für Rampen der Rampengruppe I unter Berücksichtigung der Zusammenhänge zwischen Verkehrsstärke und Geschwindigkeit sowie anhand der Verkehrssicherheit zu hinterfragen und damit verbundene Aspekte der Trassierung zu untersuchen.

Zunächst wurden umfangreiche empirische Untersuchungen zu Einsatzgrenzen von Rampenquerschnitten durchgeführt. Die Bemessung von Rampen ist gemäß den RAA (2008) [1] von Verkehrsstärke und Rampenlänge abhängig.

Diese Abhängigkeit war schon Bestandteil der Vorgängerregelwerke und basiert auf Untersuchungen aus den 1970er und 1980er Jahren. Zweistreifige Querschnitte sind zum einen als Querschnitt mit Seitenstreifen (Q3) beim Überschreiten bestimmter Verkehrsmengen, zum anderen nahezu unabhängig von der Verkehrsstärke ab einer Rampenlänge von 500 m als Querschnitt ohne Seitenstreifen (Q2) vorgesehen. Ziel dieses Forschungsvorhabens ist es, die bislang im Regelwerk (RAA und HBS) verankerten Einsatzgrenzen in Abhängigkeit von der Verkehrsstärke systematisch zu hinterfragen und den heutigen Randbedingungen im Straßenverkehr anzupassen. Außerdem wurde die Notwendigkeit eines lediglich aufgrund der Rampenlänge zweistreifigen Querschnitts (Q2) hinterfragt.

In diesem Zusammenhang wurden auch die genutzte Querschnittsbreite sowie die Auswirkungen eines Seitenstreifens auf das Fahrverhalten in einstreifigen Rampen unabhängig von der Verkehrsstärke analysiert.

2 Untersuchungsmethodik

Der Untersuchung liegen über 80 Rampen aus Bayern, Baden-Württemberg, Hessen und Nordrhein-Westfalen zugrunde. In Absprache mit dem Auftraggeber bzw. mit der Betreuungsgruppe wurden für die einzelnen Fragestellungen jeweils geeignete Teilkollektive gebildet.

Besonderes Augenmerk wurde seitens des Forschungsnehmers (ISE) auf die relativ genaue Erfassung der Trassierungsdaten (Lage- und Höhenplan sowie Querschnitt) im betrachteten Rampenabschnitt gelegt. Hierzu hat das ISE im konkreten Untersuchungsbereich per 3D-Laserscannerverfahren den Fahrbahnbereich vermessen.

Zur Erfassung des Geschwindigkeits- und Spurverhaltens in den relevanten Bereichen von Rampen wurde ein Messsystem eingesetzt, das messtechnisch von einem im Umfeld des betrachteten Streckenabschnitts angeordneten Beobachtungsstandorts die Annäherung von Fahrzeugen (Objekten) aufzeichnet (Erfassungslinien ELp). In einem weiteren Schritt wurde durch Überlagerung mit den Trassierungsdaten (Lageplan) die Fahrlinie im Querschnitt bezogen auf den rechten Fahrbahnrand ermittelt, um hieraus Aussagen über das Geschwindigkeits- sowie Spurverhalten und schließlich über das Fahrverhalten insgesamt machen zu können. Zur Auswertung des Spurverhaltens und der Geschwindigkeitsverläufe wurden Diagramme erstellt, die im oberen Teil die Auswertungen der Fahrspurverläufe, in der Mitte das Krümmungsband des mit dem 3D-Laserscanner aufgenommenen Rampenabschnitts sowie im unteren Teil die Auswer-

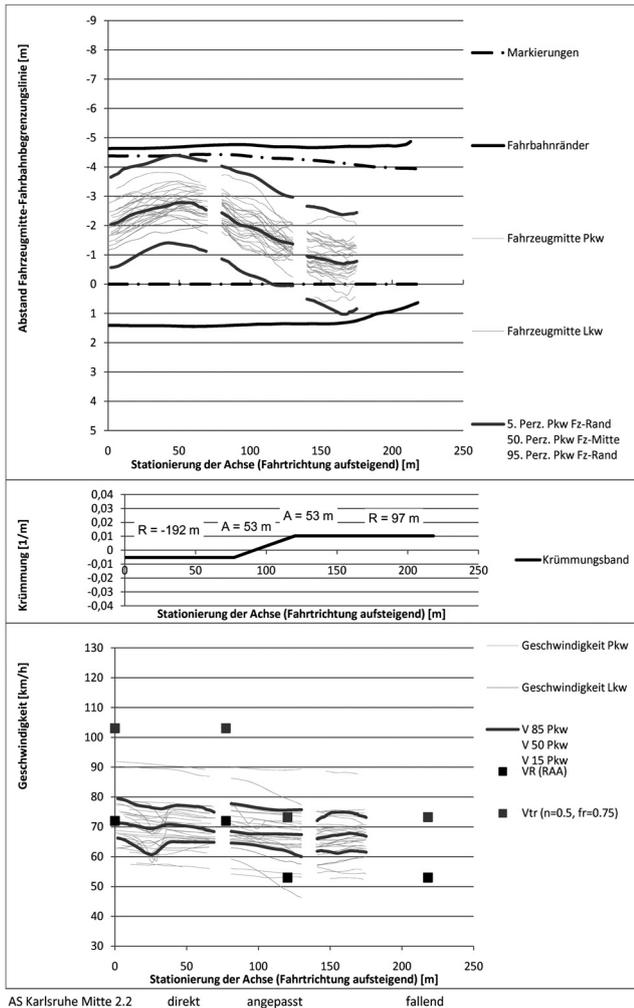


Bild 1: Spurverlauf, Krümmungsband und Geschwindigkeitsverlauf Karlsruhe Mitte R2.2

tungen der Geschwindigkeitsverläufe der ausgewerteten Fahrzeuge darstellen (Bsp. in Bild 1). Auf der jeweiligen Abszisse sind die Stationierungen der Achse aufsteigend in Fahrtrichtung aufgetragen. Die einzelnen in Grau dargestellten Fahrspuren beziehen sich dabei auf die Mitte der Fahrzeugvorderachse. Die Linie des 50. Perzentils ist der Median dieser einzelnen Fahrspuren aller Pkw. Die Linie des 95. Perzentils (rechts bzw. links) beschreiben jeweils die Fahrspur der äußeren Räder der ausgewerteten Pkw, d. h., jeweils 5 % der Fahrzeuge fahren mit ihrem linken bzw. rechten Rad außerhalb dieser Linie. Für Pkw wurde eine einheitliche Fahrzeugbreite von 1,80 m gewählt. Von den in geringerem Umfang ausgewerteten Lkw bzw. den bei zweistreifigen Rampen auf dem linken Fahrstreifen fahrenden Pkw werden nur die Einfahrten gestrichelt dargestellt.

Auf eine Darstellung der Perzentile dieser Fahrzeuge wird aus Gründen der eingeschränkten Kollektivgröße und der Übersichtlichkeit verzichtet.

Für den jeweiligen Radius wurde die Rampengeschwindigkeit V_R nach den RAA (2008) ermittelt und mit der tatsächlich gefahrenen Geschwindigkeit verglichen. Die V_R entspricht der Geschwindigkeit, die für den betrachteten Radius für die Bemessung auf nasser Fahrbahn zugeordnet werden kann. Die durchgeführten Messungen fanden allerdings bei trockener Fahrbahn statt. Um eine korrekte Interpretation der Ergebnisse zu gewähr-

leisten, wurde analog zur Berechnung von V_R eine vom jeweiligen Radius abhängige Referenzgeschwindigkeit V_{tr} mit dem gleichen Ausnutzungsgrad $n = 0,50$, jedoch einem deutlich höheren und geschwindigkeitsunabhängigen Kraftschlussbeiwert $f_R = 0,75$ ermittelt und in den Diagrammen zum Geschwindigkeitsverhalten zusätzlich dargestellt.

Für Kapazitätsfragen wurden zusätzlich zu den ELp Seitenradargeräte eingesetzt und die erhobenen Daten in Form von q-v-Diagrammen dargestellt.

Beide Messtechniken waren in Leitpfosten untergebracht und somit für die Verkehrsteilnehmer als solche nicht zu erkennen, sodass von einer unbeeinflussten Fahrweise ausgegangen werden konnte.

3 Untersuchungsergebnisse

Die Untersuchungen zur Einsatzgrenze von Rampenquerschnitten in Abhängigkeit von der Verkehrsstärke haben Folgendes ergeben:

In keiner der im Rahmen der vorliegenden Untersuchung betrachteten einstreifigen Rampen sind Verkehrszusammenbrüche registriert worden, obwohl Spitzenbelastungen von 1 900 Pkw-E/h bzw. 1 850 Kfz/h gemessen wurden, was deutlich über der bisherigen Einsatzgrenze für einstreifige Rampen von 1 350 Kfz/h liegt.

Die mittlere momentane Geschwindigkeit der Kfz bleibt unabhängig von Belastung und Fahrzeugtyp überwiegend konstant. In Rampen wird sowohl bei hoher als auch bei niedriger Verkehrsbelastung immer wieder mit einem zu geringen Sicherheitsabstand gefahren. Der Anteil der Fahrzeuge mit zu geringem Abstand nimmt mit der Verkehrsbelastung annähernd linear zu. Negative Auswirkungen des zu dichten Auffahrens auf das Unfallgeschehen konnten allerdings nicht festgestellt werden.

Die im Rahmen des Forschungsvorhabens durchgeführten empirischen Untersuchungen zeigen, dass keine Kapazitätsengpässe in Rampen zu erwarten sind, sofern die Einfahrten und Ausfahrten sowie die Verflechtungsbereiche richtig bemessen sind. Eine gesonderte Betrachtung der Rampen an sich erscheint bei der Bemessung in Zukunft nicht erforderlich.

Unabhängig von der Verkehrsstärke wurden im Weiteren folgende Aspekte untersucht:

Querschnittsbemessung:

- genutzte Querschnittsbreite sowie die Auswirkungen des Seitenstreifens auf das Fahrverhalten in einstreifigen Rampen mit Querschnitt Q1.
- Notwendigkeit eines lediglich aufgrund der Rampenlänge zweistreifigen Querschnitts (Q2).

Rampentrassierung:

- Bewertung der Trassierung von Rampen auf Basis des Geschwindigkeits- und Spurverhaltens

Die Querschnittsbreite einstreifiger Rampen variiert in der Realität stark und entspricht in den seltensten Fällen dem in den RAA (2008) vorgegebenen Wert für Q1. Die tatsächlich befahrene Fahrstreifenbreite ist von Rampe zu Rampe unterschiedlich, besondere auffällige Auswirkungen der Fahrstreifenbreite auf das Fahrverhalten und damit auf das Unfallgeschehen konnten jedoch nicht festgestellt werden. Die in den RAA (2008) geregelte Fahrstreifenbreite für den Querschnitt Q1 von 4,50 m zeigt sich als ein gutes Maß für eine einheitliche Fahrstreifenbreite unabhängig von den Trassierungselementen der jeweiligen Rampe und sollte deshalb beibehalten werden. In allen Rampen der Rampengruppe I wird vor allem aus betrieblichen Gründen ein Seitenstreifen mit 2,50 m Breite empfohlen, da sowohl theo-

retische Berechnungen als auch ein Praxistest dessen Vorteile aufgezeigt haben.

Der 4,50 m breite Fahrstreifen und ein 2,50 m breiter Seitenstreifen können außerdem bei Bedarf (z. B. bei Verkehrszunahme aufgrund einer Baustellenumleitung) ohne zusätzliche Fahrbahnverbreiterungen in einen zweistreifigen Querschnitt mit jeweils 3,50 m Fahrstreifenbreite (entspricht aktuell dem Querschnitt Q2) ummarkiert werden. Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, dass die zugehörigen Aus- und Einfahrten in diesem Fall ebenfalls zu ertüchtigen sind.

Es zeigte sich auch, dass in indirekten Rampen tendenziell näher am rechten Fahrbahnrand gefahren und ein dort vorhandener Seitenstreifen oft mitbenutzt wird. In diesen Rampen erscheint daher eine Markierung des Seitenstreifens am linken Fahrbahnrand sinnvoller, um die Sicht auf Betriebsdienst- bzw. Pannenfahrzeuge zu verbessern.

Eine Alternative zu der empfohlenen Änderung der Querschnittsbemessung des Q1 besteht darin, die Fahrbahn in den Bereichen enger Radien abschnittsweise zu verbreitern oder die Schutzplanken – unter Berücksichtigung von Sicherheitsaspekten – abzurücken. Ergeben sich bei Verbindungsrampen ohne oder nur mit kurzen Geradenlängen durch die erforderlichen Kurvenverbreiterungen häufige Breitenwechsel, so kann eine durchgehende Fahrbahnverbreiterung wirtschaftlicher sein.

Die Gegenüberstellung der Erkenntnisse aus der Unfallanalyse und der Tendenzen aus den Untersuchungen zum Fahrverhalten zeigt eine gute Übereinstimmung der Gefahrenstellen.

Im Rahmen der Unfallanalyse konnten insgesamt 499 Unfälle ausgewertet werden. Unfälle in Rampen sind überwiegend Fahr-unfälle (Unfalltyp 1).

Sowohl die Auswertungen zum Fahrverhalten als auch die Erkenntnisse aus der Unfallanalyse ergeben, dass zweistreifige Querschnitte Q2 in Autobahnkreuzen bei niedrigen Verkehrsbelastungen keine Vorteile aufweisen, für die Verkehrssicherheit sogar nachteilig sein können. Es wurde festgestellt, dass das Angebot des zweiten Fahrstreifens in schwach belasteten Rampen von den Autofahrern kaum genutzt wird. Messungen ergaben, dass die Mehrzahl sowohl der Pkw als auch der Lkw auf dem rechten Fahrstreifen eine der Trassierung angemessene Geschwindigkeit fährt, sodass ein Überholdruck kaum entsteht. Eine der ursprünglichen Hauptmotivationen für einen zweiten Fahrstreifen erscheint somit nicht mehr zeitgemäß. Der linke Fahrstreifen animiert tendenziell zum zu schnellen Fahren und erscheint in Kombination mit dem Einfahrtstyp E2 (der linke Fahrstreifen wird vor der Einfahrt eingezogen) nachteilig für die Verkehrssicherheit. Ein zweistreifiger Querschnitt wird daher in Rampen von Autobahnkreuzen nur in Kombination mit einer aus Kapazitätsgründen zweistreifigen Einfahrt für sinnvoll erachtet (in den RAA (2008) der Querschnitt Q3).

Unabhängig vom Rampenquerschnitt wurde im Weiteren die Auswirkung der Trassierung auf Fahrverhalten und Unfallgeschehen untersucht. Die Analyse des Fahrverhaltens zeigt, dass die Radienfolge eine deutlich größere Bedeutung hinsichtlich des Fahrablaufs besitzt als bislang bekannt bzw. im Regelwerk verankert. Deutlich wurde die Notwendigkeit von Festlegungen zur Radienrelation und zur Beschränkung von Geradenlängen, aber auch der Grundsatz, dass Elemente zu vermeiden sind, die deutlich höhere Geschwindigkeiten zulassen, als sie im Scheitelradius fahrbar sind.

Dabei zeigt sich ein deutlicher Einfluss des Rampentyps und der Rampenführung auf das Unfallgeschehen. Bei einstreifigen Rampen weisen die indirekten, angepassten die höchsten Unfallraten auf. Bei zweistreifigen ist das bei den direkten, nicht angepassten Rampen der Fall, wobei hier zu beachten ist, dass das Kollektiv von indirekten Rampen mit zweistreifigem Quer-

schnitt zu gering ist, um einen sicheren Vergleich hinsichtlich des Rampentyps vornehmen zu können.

Insgesamt zeigen die Unfallkennwerte, dass die Trassierungsbedingungen eine deutlich größere Bedeutung haben, als dies im Regelwerk bislang berücksichtigt wird. Insbesondere Auffälligkeiten bei angepassten indirekten Rampen sowie direkten Rampen mit ungünstigen Radienrelationen und/oder langen Zwischengeraden lassen erkennen, dass das Fehlen von Festlegungen zu Radienrelationen und Geradenlängen, die bisher in den RAA (2008) nur für die freie Strecke vorliegen, überdacht werden sollte.

Die Unfallanalyse zeigte darüber hinaus, dass die Unfallbeteiligung von Lkw in Rampen deutlich geringer ist als insgesamt auf Autobahnen, die Motorradfahrerbeteiligung dagegen höher.

Während Unfälle mit Kraffradbeteiligung auf Autobahnen allgemein nicht besonders auffällig sind, gibt es Indizien, dass das Risiko vor allem von Unfällen mit schwerem Personenschaden in Rampen unter bestimmten Trassierungsrandbedingungen erheblich erhöht ist.

Eine grobe Überprüfung des Typs der betroffenen Rampen ergab, dass es sich tendenziell um indirekte und halbdirekte Rampen handelt, allerdings müssten für die Absicherung dieser Zusammenhänge genauere Untersuchungen durchgeführt werden, da es sich bei den hier betrachteten Daten nur um eine kleine Stichprobe handelt.

4 Folgerungen für die Praxis

Der Schwerpunkt der im Forschungsvorhaben durchgeführten Untersuchungen lag ausschließlich auf Rampen der Rampengruppe I (planfrei-planfrei). Eine Anwendbarkeit auf Rampen der Rampengruppe II (planfrei-plangleich) ist prinzipiell denkbar, sollte aber anhand von weiteren Untersuchungen in Rampen dieser Rampengruppe überprüft werden.

Aufgrund der im Forschungsvorhaben gewonnenen Erkenntnisse hinsichtlich der Wahl des Rampenquerschnitts wird eine Überarbeitung der Querschnittsbemessung in den RAA entsprechend Bild 2 empfohlen.

Für den Entwurf von Rampen der Rampengruppe I werden folgende Grundsätze empfohlen:

Direkte Rampen sollten zur Förderung eines konstanten Geschwindigkeitsverlaufs vorzugsweise angepasst trassiert werden. Das optimale Verhältnis zwischen aufeinanderfolgenden Radien beträgt $R_1 : R_2 \leq 1:1$, ein Verhältnis $R_1 : R_2 > 1$ ist zu vermeiden.

Radien $R < 50$ m sollten vermieden werden, da diese seitens der Bemessung nur Rampengeschwindigkeiten $V_R < 40$ km/h zulassen, die in der Realität allerdings von einem Großteil der Fahrzeuge auch bei kleineren Radien stark überschritten werden.

Geraden animieren zu Geschwindigkeitserhöhung. Sind sie nicht zu vermeiden, so ist eine bestimmte Länge nicht zu überschreiten bzw. der nachfolgende Radius anzupassen, Damit soll das Beschleunigen auf Geschwindigkeiten oberhalb der V_R des nachfolgenden Radius verhindert werden.

Die Erkenntnisse bezüglich der Rampentrassierung wurden in Form zweier Diagramme zusammengestellt (Bild 3) und werden für die Übernahme in die RAA empfohlen.

Da die Unfallanalyse eine erhöhte Motorradbeteiligung, tendenziell bei Unfällen mit schwerem Personenschaden, aufzeigt, ist für die Ableitung von Maßnahmen zum Schutz der Kraftträger in Rampen eine vertiefte Analyse in einem hinreichend großen Kollektiv erforderlich, die insbesondere die Abhängigkeit der Motorradunfälle von den Trassierungsbedingungen umfasst.

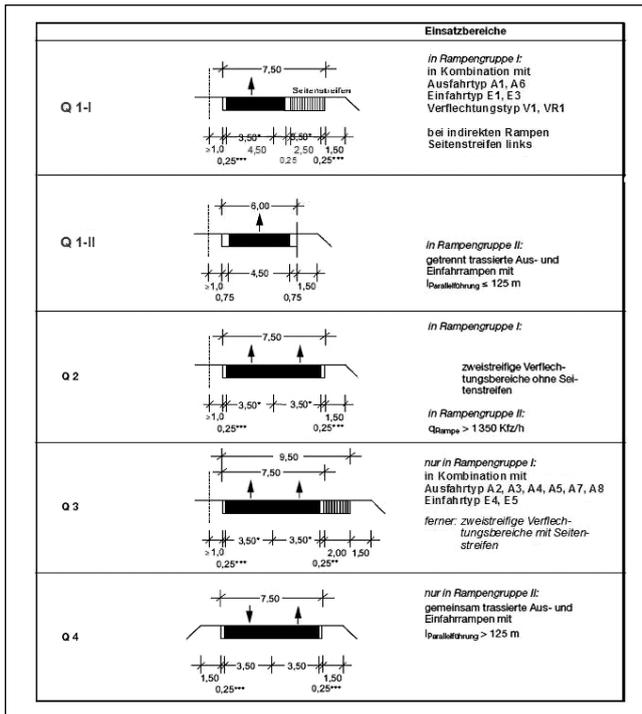


Bild 2: Empfehlung von Einsatzgrenzen für Rampenquerschnitte in Autobahnkreuzen; Basisquelle: (RAA, 2008)

Aufgrund der Fokussierung des Forschungsvorhabens auf Rampen wurden Auswirkungen des Fahrverhaltens in Rampen auf die nachfolgenden Einfahrten nicht betrachtet. Allerdings konnte beobachtet werden, dass die Trassierung am Ende einer Rampe einen wesentlichen Einfluss auf die Geschwindigkeit der Fahrzeuge zu Beginn des Einfädelungsvorgangs in die Hauptfahrbahn und damit auf das dadurch entstehende Konfliktpotenzial hat. Dieser Einfluss schlägt sich allerdings bislang nicht in der Gestaltung von Einfahrten gemäß den RAA (2008) nieder, da diese unabhängig von der Rampentrassierung ist. Da dieser Aspekt aus der Sicht des Forschungsnehmers einen bedeutenden Einfluss auf die Verkehrssicherheit in Einfahrten hat, wird für die Fortschreibung der RAA eine Untersuchung des Zusammenhangs zwischen dem Fahrverhalten in Rampen unmittelbar vor der Einfahrt und dem Fahrverhalten bzw. der Verkehrssicherheit in anschließenden Einfahrten empfohlen.

5 Literaturverzeichnis

- [1] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (2008): Richtlinien für die Anlage von Autobahnen (RAA), Köln
- [2] Forschungsgesellschaft für das Straßenwesen (1976): Richtlinien für die Anlage von Landstraßen – Teil: Knotenpunkte, Abschnitt 2: Planfreie Knotenpunkte (RAL-K-2), Köln

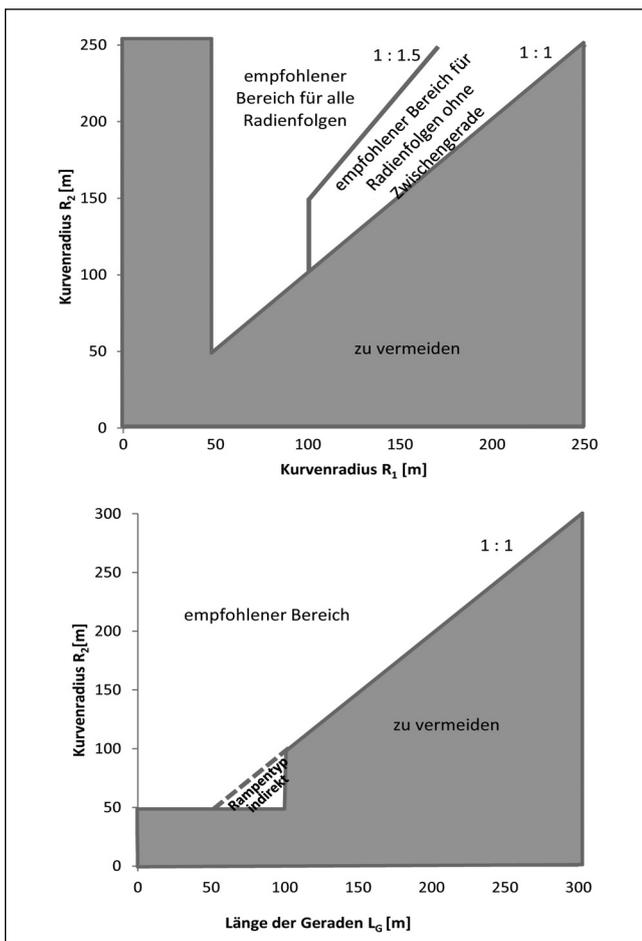


Bild 3: Empfehlung von Einsatzgrenzen für Radien und Geraden von Rampen in Autobahnkreuzen