



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la
communication DETEC
Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle
comunicazioni DATEC

Bundesamt für Strassen
Office fédéral des routes
Ufficio federale delle Strade

Verkehrsgqualität und Leistungs- fähigkeit auf Strassen ohne Rich- tungstrennung

**Niveau de service et capacité pour les routes à deux voies
sans séparation des sens de circulation**

Level of Service and capacity for undivided two-lane streets

Rudolf Keller & Partner Verkehrsingenieure AG
T. Karel, dipl. Bauingenieur ETH/VSS/SVI
D. Bärlocher, dipl. Bauingenieur ETH/VSS/SVI
A. Heitz, dipl. Bauingenieur FH

**Forschungsauftrag 2000/338 auf Antrag des Schweizerischen
Verbandes der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)**

November 2010

1286

INHALTSVERZEICHNIS

0	Zusammenfassung / Resumé / Summary	I
1	Einleitung	7
1.1	Ausgangslage	7
1.2	Auftrag / Forschungsziel	7
1.3	Problematik	8
1.4	Vorgehen	9
1.5	Begriffe und Abkürzungen	9
2	Vorliegende Grundlagen	10
2.1	Norm SN 640 020 Hauptverkehrs- und Verbindungsstrassen	10
2.2	Verfahren nach HBS 2001	11
2.3	Weitere Forschungsergebnisse	13
2.3.1	Ermittlung von Q-V-Diagrammen für zweistreifige Strassen	13
2.3.2	Verfahren zur Bestimmung der Leistungsfähigkeit	14
2.3.3	Geschwindigkeiten in Steigungen und Gefällen	14
2.3.4	Verkehrsqualität und Leistungsfähigkeit auf Autobahnen	15
3	Ausgangslage	16
3.1	Fazit für Bearbeitung	16
3.2	Arbeitshypothese	16
3.3	Massgebende Einflussfaktoren	17
3.3.1	Wesentliche Fragestellungen	17
3.3.2	Einfluss Schwerverkehrsmenge	17
3.3.3	Ausprägungen Hauptstrassen ausserorts (HVS/VS ausserorts)	18
3.3.4	Ausprägungen „Autostrasse“ (HLS 2x1)	19
4	Auswertung vorliegender Erhebungen	20
4.1	Erhebungen der Forschungsstelle	20
4.1.1	Frühere Zählkampagnen BE / SO / BL	20
4.1.2	Zählkampagne 2005 Kanton SO	20
4.1.3	Prüfung der Eignung für Forschungsvorhaben	20
4.1.4	Vergleich der vorhandenen Messresultate	21
4.2	Zählstellen des Bundes	22
4.3	Umfrage Kantone	24
4.4	Schlussfolgerungen	24
5	Ergänzende Messungen	25
5.1	Testdurchlauf für Querschnittsmessungen	25
5.2	Ergänzende Querschnittsmessungen	26
5.3	Streckenbezogene Messungen	27
5.3.1	GPS-basierte Messungen	27
5.3.2	Durchführung Messfahrten	27

6	Auswertung der Messungen	28
6.1	Ergebnisse GPS-Messfahrten	28
6.2	Ergebnisse Querschnittsmessungen	30
6.2.1	HVS ausserorts	30
6.2.2	HLS 2x1 (offene Strecke)	38
6.2.3	Tunnel	44
7	Aufbau / Kalibration Simulationsmodell	54
7.1	Einleitung	54
7.2	Prinzipieller Aufbau Simulationsmodell	54
7.3	Auswertung der GPS-Messfahrten	56
7.4	Kalibration auf ebenen/geraden Strecken	58
7.5	Kalibration auf Steigungsstrecken	60
7.6	Kalibration auf kurvigen / steigungsreichen Strecken	62
8	Ergebnisse Simulationen	64
8.1	Hauptverkehrsstrassen ausserorts	64
8.1.1	Simulationen der Verkehrsabläufe	64
8.1.2	Ergebnisse der Simulationen	64
9	Plausibilitätsprüfung	78
9.1	Einfluss Zeitintervalle	78
9.2	Einfluss Schwerverkehrsanteil	80
9.2.1	Hauptverkehrsstrassen ausserorts	80
9.2.2	Hochleistungsstrassen 2x1	80
9.2.3	Lange Tunnels	81
9.3	Einfluss Steigungsklasse	82
9.4	Einfluss Kurvigkeit	84
10	Normierungsempfehlungen	86
10.1	Q-V-Diagramme	86
10.2	Abgrenzung der Verkehrsqualitäten	86
10.3	Leistungsfähigkeit	88
10.3.1	Generelle Bemerkungen	88
10.3.2	Hauptverkehrsstrassen ausserorts	89
10.3.3	Hochleistungsstrassen 2x1	91
10.3.4	Lange Tunnel	93
11	Würdigung und weiterer Forschungsbedarf	95
12	Verzeichnisse	96
12.1	Quellenverzeichnis	96
12.2	Abbildungsverzeichnis	97
12.3	Tabellenverzeichnis	98
12.4	Abkürzungsverzeichnis	99

ANHANG

- ANHANG 1: Q-V-Diagramme aus dem HBS 2001
- ANHANG 2: Merkmale und Referenzzustand aus SN 640 260
- ANHANG 3: Querschnittsmessung H18 Laufen-Zwingen (HVS ausserorts)
- ANHANG 4: Querschnittsmessung H18 Umfahrung Aesch (HLS 2x1)
- ANHANG 5: Querschnittsmessung Wehntalerstrasse (HVS ausserorts)
- ANHANG 6: Auswertung GPS-Messfahrten Wehntalerstrasse
- ANHANG 7: Auswertung GPS-Messfahrten Staffelegg
- ANHANG 8: Auswertung GPS-Messfahrten H18 Umfahrung Aesch
- ANHANG 9: Auswertung GPS-Messfahrten Axenstrasse
- ANHANG 10: Auswertung GPS-Messfahrten Unterer Hauenstein
- ANHANG 11: Kalibration Simulationsstrecke Wehntalerstrasse
- ANHANG 12: Resultate Simulationsstrecke Wehntalerstrasse
- ANHANG 13: Resultate Simulationsstrecke Axenstrasse
- ANHANG 14: Resultate Simulationsstrecke Staffelegg
- ANHANG 15: Resultate Simulationsstrecke Unterer Hauenstein
- ANHANG 16: Vergleich Einfluss Kurvigkeit auf Q-V-Kurven
- ANHANG 17: Vergleich Einfluss Steigungen auf Q-V-Kurven
- ANHANG 18: Maximale Verkehrsbelastungen HVS ausserorts / HLS 2x1

ZUSAMMENFASSUNG

Mit der Schweizer Norm 640 020 „Leistungsfähigkeit, Verkehrsqualität, Belastbarkeit; Hauptverkehrs- und Verbindungsstrassen“ steht ein Verfahren zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit, Verkehrsqualität und Belastbarkeit zur Verfügung, welches sich in den Grundzügen stark an die Methodik des deutschen Handbuchs zur Bemessung von Strassen (HBS 2001) anlehnt. Um die noch zahlreichen Wissenslücken zu füllen, wurde der vorliegende Forschungsauftrag ausgelöst:

Auf Grund vorhandener und erhobener Daten und mit Simulationen wurden Richtwerte für Leistungsfähigkeiten und Verkehrsqualitätsstufen von **zweistreifigen, nicht richtungsgetrenten Strassen** erarbeitet. Dabei wurden nur Strassen ausserhalb besiedelter Gebiete („ausserorts“) sowie ohne bauliche Richtungstrennung („nur durch Markierung“) berücksichtigt. Im Wissen um das beschränkte Forschungsbudget und dem dadurch vorgesehenen pragmatischen Vorgehen wurde die sehr grosse Vielfalt an möglichen Typen auf folgende Typen begrenzt:

- **Hauptverkehrsstrassen (HVS) ausserorts:** Strassen mit je einem vollständig ausgebildeten Fahrstreifen pro Richtung, mittels Markierung abgetrennt und mit genereller Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h betrieben.
- **Zweistreifige Hochleistungsstrassen (HLS 2x1):** Zweistreifige „Autostrassen“ mit jeweils einem Fahrstreifen pro Fahrtrichtung, mittels Markierung abgetrennt und im Verkehrsregime „Autostrasse“ betrieben.
- **Lange Tunnel:** Tunnelstrecken als HVS ausserorts oder HLS 2x1 im Gegenverkehr mit Geschwindigkeitsbegrenzung auf 80km/h.

In der aktuellen Norm fehlen Richtwerte zur **Beschreibung der Verkehrsqualität**, welche im HBS 2001 und in der Schweizer Norm für Autobahnen mittels Verkehrsstärke-Geschwindigkeits-Diagrammen (Q-V-Diagramme) dargestellt werden. Mit den ausgewerteten Grundlagen wurde ersichtlich, dass solche Q-V-Diagramme wegen der gegenüber Deutschland unterschiedlichen Geschwindigkeitsvorschriften, Geschwindigkeiten des Schwerverkehrs in Steigungen sowie dem dadurch resultierenden homogeneren Fahrverhalten für die Schweizer Verhältnisse neu erstellt werden mussten.

Strassen mit Verkehrsbelastungen, welche das **gesamte Wertespektrum** umfassen, sind in der Schweiz eher selten. Dennoch konnten auf allen drei Strassentypen zusätzliche querschnittsbezogene Messungen auf „ebenen und geraden“ Strecken (entsprechend dem Referenzzustand) durchgeführt werden. Die Auswertungen dieser Messungen sowie teilweise älterer vorliegender Querschnittsmessungen ergaben

- praktisch **lineare Kurven im Q-V-Diagramm** (im Bereich des stabilen Verkehrsflusses) mit je Strassentyp unterschiedlichen Geschwindigkeitsniveaus. Die Kurven für HVS ausserorts und HLS 2x1 unterscheiden sich damit deutlich von den deutschen Kurven.
- trotz Verkehrsbelastungen im Bereich der Leistungsfähigkeit **ein Fehlen von instabilen Verkehrsflüssen**, welche durch die Strecke selber hervorgerufen werden.
- hingegen verkehrliche **Probleme im Vor- bzw. Nachlauf** der Messstrecken. Die zweistreifigen Strecken stellen – zumindest im Referenzzustand – somit selten das limitierende Ele-

ment im Strassennetz dar. Die Verkehrsbelastungen dieser Strecken werden hingegen meist durch benachbarte Knoten oder Ortsdurchfahrten bestimmt.

- durch das „**offene System**“ auf den HVS ausserorts „Störungen“ des Verkehrsflusses durch abbiegende oder einmündende Fahrzeuge, Zweiräder oder Fussgänger unterhalb der eigentlichen Leistungsfähigkeiten.
- auf allen drei untersuchten Typen für den jeweiligen Referenzzustand Verkehrsbelastungen im **Bereich der Leistungsfähigkeit** gemäss den Angaben aus dem deutschen HBS 2001.

Da sich Messungen an Querschnitten nicht zur Beschreibung der Reisegeschwindigkeiten auf Strassenabschnitten mit grösserer Kurvigkeit und grösseren Steigungen eignen, wurden diese Ausprägungen auf HVS ausserorts (mit 4 Kurvigkeitsklassen und 5 Steigungsklassen = 20 Ausprägungen) mittels **Simulation des Verkehrsflusses** untersucht.

Hierzu wurden typische Fahrtverläufe mittels GPS-Messfahrten auf vier verschiedenen Messstrecken mit unterschiedlicher Kurvigkeit aufgezeichnet und diese Strecken entsprechend im Modell nachgebaut. Durch Variation der Längsneigung dieser im Modell nachgebauten Strecken wurden **Q-V-Diagramme für 20 Ausprägungen** von HVS ausserorts erstellt.

Auf Grundlage der Messungen sowie Daten der Zählstellen des Bundes konnten für Strecken im Referenzzustand (Kurvigkeit 0-75gon/km, Steigungsklasse 1) folgende **Leistungsfähigkeiten** festgelegt werden:

	HVS ausserorts	HLS 2x1	Lange Tunnel
Querschnitt	2500 Mfz/h	2800 Mfz/h	2500-2800 Mfz/h*
Lastrichtung	1400 Mfz/h	1500 Mfz/h	1300-1500 Mfz/h*

* Der kleinere Wert dürfte für Tunnel auf HVS ausserorts, der höhere Wert auf HLS 2x1 in Ballungsräumen (bei ausgeprägtem Pendlerverkehr) zutreffen.

Tabelle 1: Leistungsfähigkeiten pro Querschnitt oder pro Lastrichtung für den Referenzzustand

Die für HVS sowie lange Tunnel in der Schweiz ermittelten Leistungsfähigkeiten entsprechen den Werten im deutschen HBS 2001. Im Rahmen der vorliegenden Forschungsarbeit konnten zudem keine Hinweise gefunden werden, welche eine Definition der Verkehrsqualitätsstufen auf Basis von zugeordneten Verkehrsdichten aus dem HBS 2001 verunmöglichen würden. Die Einteilung der Verkehrsqualitätsstufen kann somit auch für Schweizer Verhältnisse in den Q-V-Diagrammen mit folgenden Werten für einen Querschnitt definiert werden:

Verkehrsqualitätsstufen	A	B	C	D	E	F
Zugeordnete Verkehrsdichten [Mfz/km]	≤ 5	≤ 12	≤ 20	≤ 30	≤ 40*	> 40*

* unter Beachtung der Leistungsfähigkeiten aus Tabelle 1 für den Referenzzustand

Tabelle 2: Definition der Verkehrsqualitätsstufen mittels zugeordneter Verkehrsdichte pro Querschnitt

RÉSUMÉ

La norme suisse 640 020 "Capacité, niveau de service, charges compatibles; Routes principales et routes de liaison" présente une démarche pour l'évaluation de la capacité, du niveau de service et des charges compatibles qui s'inspire fortement, dans ses principes fondamentaux, à la méthodologie du manuel allemand "Handbuch zur Bemessung von Strassen (HBS 2001)". Le présent mandat de recherche a été lancé pour combler les lacunes encore nombreuses:

Des valeurs indicatives sur la capacité et les degrés du niveau de service pour les **routes à deux voies sans séparation des sens de circulation** ont été élaborées à partir de données existantes et de données collectées ainsi qu'à l'aide de simulations. Pour cela, seules les routes en dehors des espaces bâtis ("hors localité") et sans séparations physiques des sens de circulation ("uniquement marquages") ont été prises en compte. Etant donné le budget de recherche restreint et le procédé pragmatique prévu qui en découle, la grande variété de types possibles a été réduite aux types suivants:

- **Routes principales (RP) hors des espaces bâtis:** routes avec une voie complète par sens de circulation, séparées par un marquage, avec une vitesse maximale générale de 80 km/h.
- **Routes à grand débit à deux voies de circulation (RGD 2x1):** semi-autoroutes à deux voies, avec une voie par sens de circulation, séparées par marquage et exploitées en régime de semi-autoroute.
- **Tunnels longs:** tronçons de tunnel sur RP hors des espaces bâtis ou sur RGD 2x1 avec circulation dans les deux sens et une vitesse maximale autorisée de 80 km/h.

Il manque, dans la norme actuelle, les valeurs indicatives qui permettent de **décrire le niveau de service** qui sont représentées, dans le manuel "HBS 2001" et dans la norme suisse pour les autoroutes, au moyen de diagrammes débit de circulation-vitesse (diagrammes Q-V). L'évaluation des données de base a clairement montré que de tels diagrammes devraient être nouvellement créés pour les conditions en Suisse, ceci en raison des règles de vitesses et de la vitesse des poids lourds sur les déclivités différentes en Allemagne, ainsi que de la circulation plus homogène qui en découle.

Les routes avec un débit important qui couvrent **la totalité de la gamme de valeurs** sont plutôt rares en Suisse. Il a tout de même été possible d'effectuer des mesures supplémentaires de sections sur les trois types de routes, sur des trajets "plats et en ligne droite" (correspondant à l'état de référence). Les évaluations de ces mesures ainsi que de mesures ponctuelles en partie plus anciennes ont donné les résultats suivants:

- Des **courbes** pratiquement **linéaires** dans le **diagramme Q-V** (lorsque le flux de circulation est stable) avec des niveaux de vitesse différents pour chaque type de route. Les courbes des RP hors espaces bâtis et des RGD 2x1 se distinguent pour cette raison clairement des graphiques allemands.
- Malgré le débit à la limite de la capacité, une **absence de flux de trafic instables** qui auraient pu être provoqués par le tronçon même.
- Des **problèmes** de circulation apparaissent, par contre, **avant et/ou après** les tronçons de mesure. Les tronçons à deux voies –du moins dans l'état de référence– représentent ra-

rement l'élément limite du réseau. Les débits de circulation sur ces tronçons sont, en revanche, le plus souvent déterminés par un carrefour voisin ou la traversée d'une localité.

- Des "perturbations" du flux de trafic sur les RP hors espaces bâtis en raison du "**système ouvert**", dues aux véhicules qui tournent (sortant) ou s'insèrent (entrant), aux deux-roues ou aux piétons en deçà de la capacité théorique.
- Sur les trois types étudiés et pour l'état de référence correspondant, des débits de circulation proche de la **capacité maximale** comme décrite dans le manuel allemand HBS 2001.

Les mesures faites sur des sections ne conviennent pas pour la description des vitesses de parcours sur des tronçons de route avec une sinuosité plus grande et une déclivité plus forte. Ces tronçons de RP hors espaces bâtis (avec 4 classes de sinuosité et 5 classes de déclivité = 20 types) ont, pour cette raison, été examinés au moyen de **simulations des flux de circulation**.

Des parcours typiques ont été pour cela enregistrés en utilisant des trajets de référence mesurés à l'aide d'un GPS sur quatre parcours distincts avec une sinuosité différente, puis ces parcours ont ensuite été reproduits de manière correspondante dans le modèle. Il a été possible de créer des **diagrammes Q-V pour 20 types** de tronçons de RP hors des espaces bâtis, en variant la déclivité, à partir de ces parcours introduits dans la simulation.

Les **valeurs de capacité** suivantes ont pu être déterminées sur la base de mesures et de données des postes de comptage de la Confédération pour des tronçons selon l'état de référence (sinuosité 0-75 gon/km, classe de déclivité 1):

	RP hors des espaces bâtis	RGD 2x1	Tunnels longs
Section	2500 véh/h	2800 véh/h	2500-2800 véh/h*
Sens de débit majoritaire	1400 véh/h	1500 véh/h	1300-1500 véh/h*

* La valeur minimale devrait s'appliquer aux tunnels sur RP hors des espaces bâtis, la valeur maximale, aux RGD 2x1 dans les agglomérations (lors de trafic pendulaire important).

Tableau 1: Capacités par section ou par sens de débit majoritaire pour l'état de référence

Les valeurs de capacité trouvées pour les RP ainsi que pour les longs tunnels en Suisse correspondent aux valeurs du manuel allemand HBS 2001. De plus, rien n'a été trouvé qui empêcherait l'utilisation des densités de trafic d'après le HBS 2001, dans le cadre du présent mandat de recherche, pour établir une définition des degrés du niveau de service. La répartition de ces degrés peut donc également être définie à l'aide de diagrammes Q-V pour les conditions suisses, avec les valeurs suivantes pour une section:

Degrés du niveau de service	A	B	C	D	E	F
Densité de trafic correspondante [véh/km]	≤ 5	≤ 12	≤ 20	≤ 30	≤ 40*	> 40*

* en tenant compte de la capacité pour l'état de référence d'après le Tableau 1

Tableau 2: Définition des degrés du niveau de service au moyen des densités de trafic correspondantes par section

SUMMARY

The Swiss Norm (Swiss Standards for Highways) SN 640 020 "Capacity, Level of Service, Environment Tolerance; Main and Connecting Road" presents a procedure for evaluating capacity, level of service and environmental tolerance. It basically follows the methodology used in the German "Handbuch zur Bemessung von Strassen" (HBS 2001) – "Manual for Measuring Road Traffic Systems". In order to fill the still numerous knowledge gaps, the present research project was launched:

Basing on already available data, additionally measured data, and simulated data, approximate values for capacities and levels of service have been elaborated for **undivided two-lane streets**. Only streets outside built-up areas and streets without physical lane dividers have been considered. Knowing about the limited research budget and the hence implied pragmatical procedure, the very large variety of possible road types has been limited to the following types:

- **Highways outside built-up areas:** Two-way roads with one complete lane per driving direction, divided by street marking, and with a general speed limit of 80 km/h.
- **Two-lane motorways:** Two-lane motorways with one lane in each direction, divided by street marking and operating according to the Swiss "Autostrasse" regime (usually applied to physically divided four-lane toll motorways).
- **Longer tunnels:** Tunnel sections of highways outside built-up areas or two-lane motorways without physical dividers and with speed limited to 80 km/h.

The actual norm is missing numbers for **describing traffic quality** being shown by means of Quantity Speed Diagrams (Q/V Diagrams) as used in the German HBS 2001 and in the Swiss Standard for Motorways. After evaluation of the base data it became evident that these Q/V Diagrams had to be adapted to the Swiss circumstances. This is due to different speed restrictions in Germany, different speed of heavy vehicles in uphill sections, and the resulting more homogenous driving behavior.

Roads with a traffic volume that use the **whole value range** are rather seldom in Switzerland. In spite of this, additional punctual measurements could be carried out on all three road types on "even and straight" sections (according to the reference state). From the evaluation of these measurements, including older punctual measurements, it follows

- Almost **linear curves in the Q/V Diagram** (while traffic flow is stable) with a different speed level per road type. The curves for highways outside built-up areas and two-lane motorways differ significantly from the corresponding German curves.
- **No traffic breakdowns** caused by the segment itself, in spite of traffic flows close to saturation.
- Traffic **problems before and after the observed sections**. The two-lane sections are rarely a limiting element – at least in the reference state. Neighbor nodes or sections passing built-up areas mostly decide about the traffic load of these sections.

- Traffic flow disturbances below the theoretical capacity limit due to the "**open system**" on the highways outside built-up areas, by turning vehicles (in and out), bicycles, or pedestrians.
- Similar traffic loads **close to capacity limit** at the reference state of all three evaluated road types following the indications of the German HBS 2001.

The punctual measurements cannot be used for describing cruising speed on sections with greater curvature or steeper ramps. Therefore **traffic flow simulation** has been used for examining highways outside built-up areas for non-standard (non reference-state) sections. 4 classes of curve frequency and 5 classes of steepness have been introduced, which resulted in 20 different types.

Typical trajectories have been recorded by GPS reference trips on four different routes with different frequencies of curves. These four routes have been modeled in the simulator. By "inclination" variation of the modeled sections, the **Q/V Diagrams** of the 20 different types of highways outside built-up areas have been measured from the simulation runs.

Basing on the measurements and on Federal counter measurements, the following **capacities** for reference segments (curvature 0-75 gon/km, upward gradient class 1) could be found:

	Highways outside built-up areas	Two-lane motorways	Long tunnels
Punctual (bi-directional)	2500 veh/h	2800 veh/h	2500-2800 veh/h*
Major load direction	1400 veh/h	1500 veh/h	1300-1500 veh/h*

* The smaller value might apply to tunnels on highways outside built-up areas, the greater value to two-lane motorways in agglomerations (with high commuter percentage).

Table 1: Punctual capacity and capacity for the major traffic load direction for the reference state

The capacities found for highways outside built-up areas and for long tunnels in Switzerland correspond to the values given in the German HBS 2001. The present research did not find indications that would make it impossible to use the same traffic densities as given in HBS 2001 in order to define Levels of Service for traffic flows. The Levels of Service can be categorized for Switzerland as well according to the following values found in the Q/V Diagrams:

Levels of Service	A	B	C	D	E	F
Corresponding traffic densities [veh/h]	≤ 5	≤ 12	≤ 20	≤ 30	≤ 40*	> 40*

* Under consideration of the capacity from Table 1 for the reference state

Table 2: Level of Service definition by corresponding traffic of a punctual measuring point

1 EINLEITUNG

1.1 Ausgangslage

Mit der Normengruppe SN 640 017-024 „Leistungsfähigkeit, Verkehrsqualität, Belastbarkeit“ ist die Systematik mit einer Definition von Verkehrsqualitätsstufen (level of service, abgekürzt LOS) nach Vorbild des us-amerikanischen Highway Capacity Manual (HCM) sowie dem deutschen Handbuch für die Bemessung von Strassen (HBS) eingeführt worden.

In dieser Normengruppe ist für einzelne „Bausteine“ des Strassen-Verkehrssystems eine Definition der Verkehrsqualität, der Leistungsfähigkeit sowie der Belastbarkeiten vorgesehen. Auch für die übrigen Verkehrsmittel ist eine Übertragung dieser Systematik angedacht.

Mit der Norm SN 640 020 „Hauptverkehrs- und Verbindungsstrassen“ (HVS/VS) [1], welche sich ausschliesslich auf Strassen ausserorts bezieht, sind die damaligen Ergebnisse der Forschungen vor allem aus der Schweiz, Deutschland, Österreich sowie den USA ausgewertet worden. Soweit möglich, wurde ein für die Schweizer Verhältnisse geeignetes Verfahren in Anlehnung an den ersten Entwurf des deutschen HBS vorgeschlagen.

Problematisch erweisen sich dabei die wenigen, bezüglich der Thematik nicht zusammenhängenden Forschungsergebnisse. Viele Fragen wie der Beschrieb und die Definition von Verkehrsqualitätsstufen für Schweizer Verhältnisse konnten mit dieser Norm nicht beantwortet werden.

1.2 Auftrag / Forschungsziel

In Kenntnisnahme dieser Wissenslücken erliess der Verband Schweizerischer Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS) folgenden Forschungsauftrag:

Auf Grund vorhandener und erhobener Daten und mit Hilfe von Simulationen sind Richtwerte für Leistungsfähigkeiten und Verkehrsqualitätsstufen von zweistreifigen, nicht richtungstrennten Strassen zu erarbeiten.

In Kenntnis der vorliegenden Forschungsergebnisse zu dieser Thematik ergibt sich die folgende, deutlich ausgeweitete Aufgabenstellung:

- Erarbeiten von Richtwerten für eine zuverlässige Beurteilung der Qualität des Verkehrsablaufs (und nicht nur der Verkehrsqualitätsstufen)
- Berücksichtigung der spezifisch schweizerischen Ausprägungen des Umfelds mit stark coupiertem Gelände und häufigen längeren Tunnels
- Berücksichtigung der Schweizer Strassen- und Betriebsbedingungen wie Verkehrsverhalten, Betriebsformen, Tempolimiten und Ausbaustandards

Der Forschungsauftrag wird insofern präzisiert, als ausschliesslich Strassen ausserhalb besiedelter Gebiete sowie ohne bauliche Richtungstrennung (d.h. nur mit einfacher / doppelter Sicherheitslinie getrennte Fahrstreifen im Gegenverkehr) zu berücksichtigen sind.

1.3 Problematik

Dem Forschungsauftrag liegt folgende Problematik zu Grunde:

1) Grosse Spannbreite an unterschiedlichen Strassentypen

Unter dem in der Aufgabenstellung definierten Strassentypen ist immer noch eine sehr grosse Spannbreite an grundlegend unterschiedlichen Strassen-, Betriebs- und Verkehrsbedingungen vorhanden. Anhand der Systematik der VSS-Normen werden im Forschungsauftrag folgende Strassentypen in der Untersuchung berücksichtigt:

SN 640 041 [2]	Hochleistungsstrassen (HLS) ohne bauliche Richtungstrennung (=Autostrassen) innerhalb und ausserhalb besiedelter Gebiete
SN 640 042 [3]	Hauptverkehrsstrassen (HVS) ausserhalb besiedelter Gebiete, sowohl als Grundtyp wie auch als reduzierter Typ
SN 640 043 [4]	Verbindungsstrassen (VS) ausserhalb besiedelter Gebiete als Regional- oder Lokalverbindungsstrasse

Bei den HVS/VS werden nur diejenigen Strassen berücksichtigt, welche soweit ausgebaut sind, dass sich zwei Motorfahrzeuge jederzeit kreuzen können, d.h. dass diese über zwei vollständig ausgebildete und markierte Fahrstreifen verfügen. Verbindungswege bzw. Lokalverbindungsstrassen ohne Fahrbahnmarkierung (nach SN 640 043) sind somit auszuschliessen.

Die Betriebs- und Verkehrsbedingungen auf Autostrassen innerhalb bebauter Gebiete unterscheiden sich nicht grundlegend von Autostrassen ausserhalb bebauter Gebiete. Somit ist hier eine Unterscheidung bezüglich der Lage der Autostrasse nicht relevant.

Ein weiterer Strassentyp mit einer doppelten Sicherheitslinie und dazwischen angeordneten „Plastik“-Leitbaken zwischen den Fahrstreifen weist streng genommen keine ausreichende „bauliche“ Richtungstrennung auf. Dennoch ist eine im Vergleich zur blossen Markierung „spürbare“ Abgrenzung zur Gegenfahrbahn gegeben. Da dieser Typ zudem eher selten ist, wird dieser in den nachfolgenden Arbeiten nicht berücksichtigt.

2) Beschränktes Forschungsbudget

In Kenntnis, dass das Forschungsbudget für eine wissenschaftlich umfassend fundierte Bearbeitung nicht ausreicht, ist ausdrücklich ein

pragmatisches Vorgehen zum „Füllen“ der Wissenslücken, vor allem unter Zuhilfenahme von Simulationsrechnungen

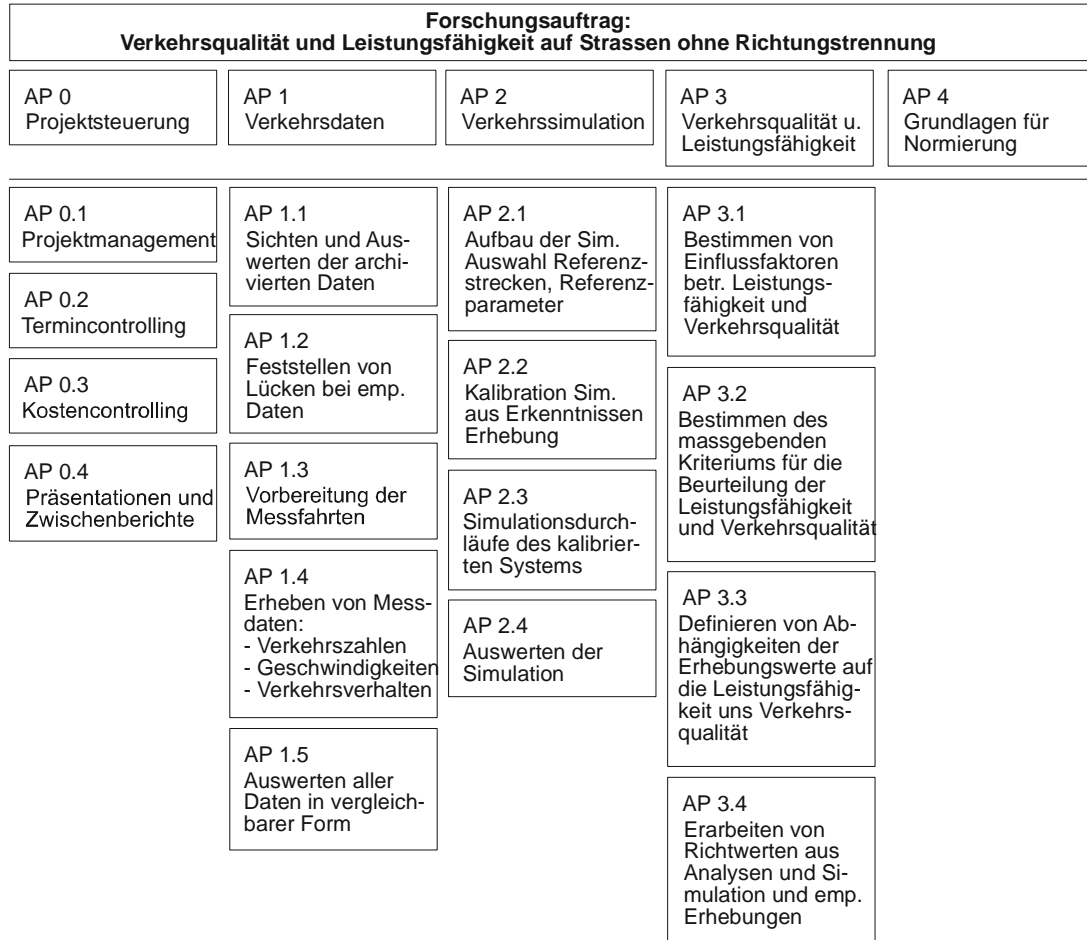
vorgeschlagen worden. Diese zeichnet sich aus durch

- Rückgriff auf bestehendes Datenmaterial (somit uneinheitliche Grunddaten)
- Anlehnung an anerkannte ausländische Verfahren
- Beschränkung auf die wesentlichen Anwendungsfälle

Trotz diesem pragmatischen Vorgehen müssen die neuesten Schweizer Forschungsergebnisse (siehe Kap. 2.3.3. und 2.3.4) in geeigneter Weise berücksichtigt werden.

1.4 Vorgehen

Mit dem definierten „pragmatischen Vorgehen“ sind gemäss Arbeitsprogramm folgende Arbeitspakete zu bearbeiten:



Schlussbericht: Kap. 4/5/6 Kap. 7/8 Kap. 8/9 Kap. 10

Abbildung 1: Arbeitspakete gemäss Forschungsgesuch der Forschungsstelle mit Beschrieb der Vorgehensweise

Die vorliegende Gliederung (Nummerierung) in Arbeitspakete definiert in Etwa gleichzeitig den Projektablauf im vorliegenden Forschungsauftrag.

1.5 Begriffe und Abkürzungen

Zahlreiche Begriffe werden nur das erste Mal ausgeschrieben und anschliessend abgekürzt. Die Abkürzungen sind im Abkürzungsverzeichnis in Kap. 12. ersichtlich.

2 VORLIEGENDE GRUNDLAGEN

2.1 Norm SN 640 020 Hauptverkehrs- und Verbindungsstrassen

Die geltende Norm [1] zeichnet ein Verfahren zur Beurteilung der Verkehrsqualität und der Leistungsfähigkeiten auf Hauptverkehrsstrassen (HVS) und Regional-Verbindungsstrassen (RVS) ausserhalb bebauter Gebiete vor. Das Verfahren zur verkehrstechnischen Dimensionierung basiert auf dem Konzept der Grundlagennorm SN 640 017a [5] der Normengruppe.

Zweistreifige Hochleistungsstrassen (HLS 2x1) ohne bauliche Richtungstrennung, welche mit dem speziellen Geschwindigkeitsregime „Autostrasse“ (PW: 100 km/h, Reisecars / Busse: 100 km/h, LW: 80 km/h, Mindestgeschwindigkeit: 60 km/h) betrieben werden, berücksichtigt die Norm nicht. Dieser Strassentyp als wichtiges „Strassenelement“ ist zudem in der gesamten Normengruppe SN 640 017-024 noch nicht vertreten.

Es werden die wesentlichen Merkmale auf zweistreifigen HVS/RVS ausserorts aufgeführt und hierzu ein „Referenzzustand“ definiert. Als wesentliche Merkmale sind aufgeführt:

- **Strassenbedingungen:** Geometrisches Normalprofil (seitliche Hindernisfreiheit), Kurvigkeit, Längsneigung (Gradient, Länge), Seitlicher Zutritt, Zusatzstreifen in Steigungen
- **Verkehrsbedingungen:** Verkehrsstärken mit Richtungsanteilen, Schwerverkehrsanteil, Anteil langsamer Fahrzeuge ($V_{MAX} \leq 25\text{km/h}$), Anteil leichter Zweiräder, Kollektiv der Fahrzeuglenker (v. a. Verkehrszweck)
- **Betriebsbedingungen:** Geschwindigkeitsbeschränkungen, Überholverbote, Witterungs- und Lichtverhältnisse (Strassenzustand)

Die Merkmale sowie die entsprechenden Festlegungen zum Referenzzustand aus der SN 640 020 [1] sind im ANHANG 2 aufgeführt. Der Normerarbeitung wurden den nachfolgenden Überlegungen zu Grunde gelegt:

- Die Vorgehensweise bei der Bemessung sowie einige Angaben in dieser Norm entstammen – mangels damaliger Schweizer Grundlagen - einem ersten, in der Zwischenzeit stark überarbeiteten Entwurf für das deutsche Handbuch für die Bemessung von Strassen aus dem Jahre 1993 [16].
- Die Klassierung der HVS/RVS ausserorts in 4 Kurvigkeits- und 5 Steigungsklassen wurde ebenfalls vom deutschen Handbuch [16] übernommen. Infolge der wesentlichen Unterschiede zu den deutschen Verhältnissen konnten aber keine Verkehrsqualitäten (z.B. in Form von Q-V-Diagrammen) festgelegt werden.
- Auch die Werte zu den Leistungsfähigkeiten und den für die Dimensionierung zulässigen Verkehrsstärken sind aus dem deutschen Handbuch [16] übernommen worden, in der Annahme, dass die erkannten landesspezifischen Unterschiede im Bereich der Leistungsfähigkeit vermutlich keinen wesentlichen Einfluss ausüben.

Der vorliegende Forschungsauftrag soll die in der Norm SN 640 020 [1] enthaltenen Wissenslücken schliessen und somit den „Grundaufbau“ der Norm nicht verändern.

2.2 Verfahren nach HBS 2001

Das Berechnungsverfahren [6] dient dem Nachweis, dass die in der Netzplanung nach der deutschen Richtlinie RAS-N 1988 angestrebte Reisegeschwindigkeit als Indikator der Qualität des Verkehrsablaufs auf zweistreifigen Landstrassen mit einer gegebenen bzw. geplanten Verkehrsstärke abgewickelt werden kann. Unter diese zweistreifige Landstrassen fallen Strassen der Verbindungsfunktionsstufen AI – AIII (nach RAS-N 1988), d.h. mittels den Normquerschnitten RQ 10.5 und RQ 9.5 der RAS-Q gut ausgebaute Abschnitte von Hauptverkehrsstrassen, welche ausserorts und ausserhalb der Einflussbereiche von Knoten liegen.

Die angestrebte Reisegeschwindigkeit über eine Strassenverbindung wird infolge der in Deutschland geltenden unterschiedlichen Geschwindigkeitsregelung pro Fahrzeugkategorie (StVO Abs. 1 §3 für HVS ausserorts: PW=100 km/h, LW über 3.5t = 80 km/h, LW/LZ über 7.5t = 60 km/h) durch die mittlere Reisegeschwindigkeit der PW definiert.

Als wesentliches Unterscheidungsmerkmal werden die Strecken in 4 Kurvigkeits- und 5 Steigungsklassen unterteilt. Während die Kurvigkeitsklassen gegenüber den Angaben in der SN 640 020 [1] nicht verändert worden sind, liegt der Einteilung der Steigungsklassen das abweichende Geschwindigkeitsprofil eines deutschen „Bemessungs-Schwerfahrzeugs“ (analog dem Bemessungslastwagen in SN 640 138b [7]) zu Grunde.

Beurteilt werden ausschliesslich stündliche Verkehrsstärken mit den Kennwerten Verkehrsstärke [Mfz/h] und Schwerverkehrsanteil [%]. Es werden 6 Verkehrsqualitätsstufen von A bis F definiert, welche den Beschreibungen der Grundlagennorm SN 640 017a [5] entsprechen.

Beurteilung von offenen Strecken

Die Beurteilung von offenen Strecken (d.h. ausserhalb langer Tunnel) erfolgt mittels Geschwindigkeits-Verkehrsstärke-Diagrammen (Q-V-Diagramme, siehe Abbildung 2, auch ANHANG 1), jeweils eines pro Kurvigkeits- und Steigungsklasse. Der Zusammenhang zwischen der Verkehrsstärke im Querschnitt (d.h. beide Fahrrichtungen zusammen) und dem Schwerverkehrsanteil (SV) auf die mittlere PW-Reisegeschwindigkeit ($V_{RM,PW}$) sind in Q-V-Kurven abgebildet.

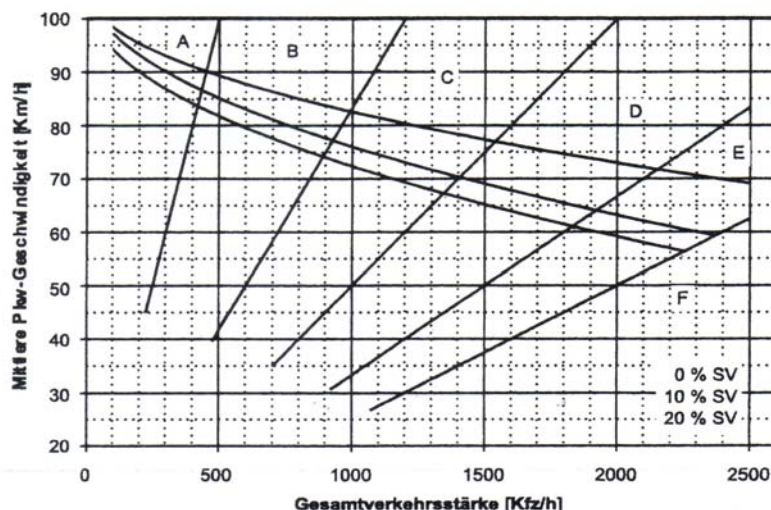


Abbildung 2: Beispiel für ein Q-V-Diagramm des HBS 2001 [6] für offene Strecken auf zweistreifigen Landstrassen und Steigungsklasse 1 sowie Kurvigkeit 0-75 gon/km

Die Abstufungen der Verkehrsqualitätsstufen A-F erfolgen mittels zugeordneten Verkehrsstärken. In Funktion der Q-V-Kurven ergeben sich die in Abbildung 2 aufgezeigten Verkehrsdichten im Q-V-Diagramm. Sämtliche Q-V-Diagramme des HBS 2001 [6] sind in ANHANG 1 dargestellt.

Gemäss Beispiel in Abbildung 2 liegt die Leistungsfähigkeit auf „ebenen und geraden“ Strecken mit einem Schwerverkehrsanteil von 0% (entspricht in etwa dem Referenzzustand gemäss SN 640 020) bei rund 2500 Mfz/h, Querschnitt und somit einer entsprechenden Verkehrsdichte für den Übergang von Stufe E zu Stufe F von rund 32 Mfz/km.

Die Betrachtung einer Fahrtrichtung kann mit dem Verfahren ebenfalls vorgenommen werden, wobei die Leistungsfähigkeit einer Richtung mit ca. 55% derjenigen des Querschnitts angegeben wird. Im dargestellten Fall einer „ebenen und geraden“ Strecke (Abbildung 2) ergäbe dies eine Leistungsfähigkeit pro Fahrtrichtung von rund 1400 Mfz/h, Richtung (genau: 1375 Mfz/h, Richtung).

Beurteilung von Tunnelstrecken

In der Systematik des HBS 2001 [6] wird für die Leistungsanalyse auf „langen“ Tunnelstrecken (Länge > 200m, signalisierte Höchstgeschwindigkeiten 60/70/80 km/h, Steigungsklasse 1) ein spezielles Verfahren auf Basis eines richtungsbezogenen speziellen Q-V-Diagramms aufgeführt. Dieses ist in Abbildung 3 dargestellt.

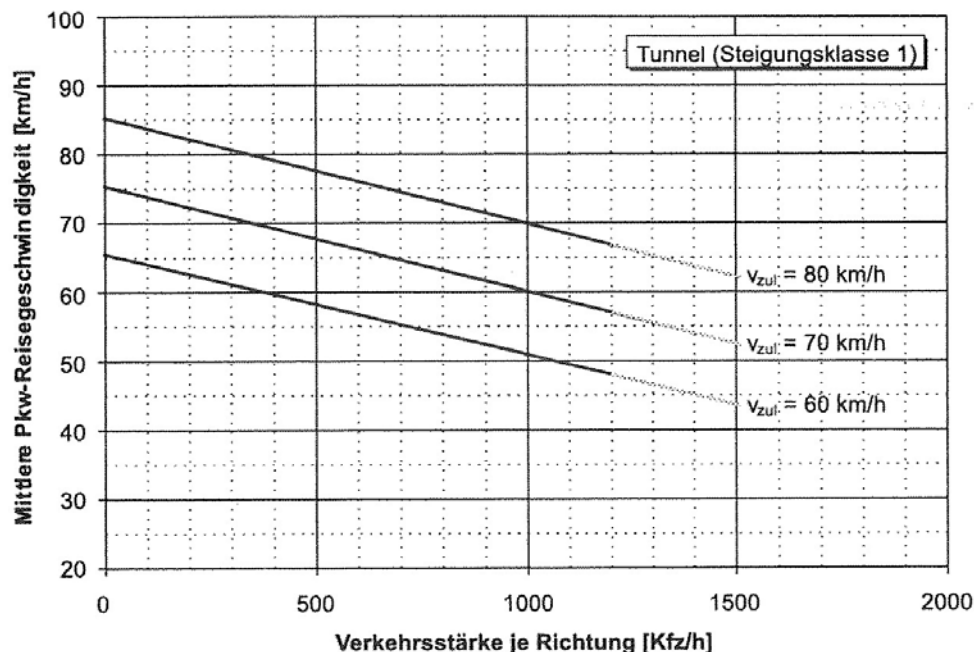


Abbildung 3: Spezielles Q-V-Diagramm für lange Tunnel des HBS 2001 [6] mit richtungsbezogener Leistungsanalyse

Als Leistungsfähigkeit werden Werte von 1200-1500 Mfz/h, Richtung angegeben, je nach Lage und Funktion innerhalb des untersuchten Strassennetzes. Die Ermittlung der resultierenden Verkehrsqualität mittels mittlerer PW-Reisegeschwindigkeit erfolgt zuerst richtungsbezogen und anschliessend über die Bildung des harmonischen Mittels beider Fahrtrichtungen.

2.3 Weitere Forschungsergebnisse

2.3.1 Ermittlung von Q-V-Diagrammen für zweistreifige Strassen

In einer breit angelegten Forschungsarbeit des Bundesministeriums für Verkehr (1997) [8] sind die aktuellen Q-V-Diagramme im HBS 2001 für zweistreifige Landstrassen mittels Messungen und Simulationen erarbeitet worden. Für diese Arbeiten stand das für die deutschen Verhältnisse erstellte Simulationsmodell LASI zur Verfügung, welches im Rahmen dieses Forschungsauftrags verbessert wurde. Die wesentlichen Erkenntnisse aus dieser Grundlage für die vorliegende Forschungsarbeit sind:

- Der Anteil langsam fahrender Fahrzeuge (Maximalgeschwindigkeit von 25 km/h) konnte in den Untersuchungen mangels geeigneter Unterlagen nicht berücksichtigt werden. Die Messungen zeigten, dass diese langsam fahrenden Fahrzeuge aber selten auftreten.
- Bei Richtungsüberhängen von bis zu 70% sind keine Geschwindigkeitsunterschiede zu erwarten, welche einen fahrtrichtungsbezogenen Nachweis der Verkehrsqualität erforderlich machen.
- Begegnungen von Schwerfahrzeugen haben erst bei einer befestigten Breite der Strasse von unter 5.5m einen negativen Einfluss auf die Verkehrsqualität und die Kapazität.
- Lokale Messungen sind nur bedingt geeignet, den Einfluss der Kurvigkeit auf die Q-V-Beziehungen zu verdeutlichen bzw. nicht geeignet, daraus Aussagen zu Reisegeschwindigkeiten auf Strassenabschnitten mit nicht einheitlicher Streckencharakteristik (z.B. ungleichmässig kurvige Strecken) zu erarbeiten.
- Rückgriff auf Erkenntnisse streckenbezogener Messungen mittels Verfolgungsfahrten von Fahrzeugen, deren Lenker ihre Fahrweise frei wählen konnten.
- Erstellung der Q-V-Diagramme (für das HBS 2001) [6] auf Basis von Simulationsstrecken, welche nicht exakt, sondern bezogen auf die wichtigsten Merkmale (Steigungsklasse, Kurvigkeitsbereich) mit der Messtrecke übereinstimmen.
- Festlegung von „Wunschgeschwindigkeiten“ der PW und LW auf Basis der Geschwindigkeitsverteilungen an der „schnellsten“ lokalen Messstelle zur Anpassung der Simulationsergebnisse an die Realität.
- Eichung des Simulationsmodells anhand der Reisegeschwindigkeiten der Gesamtstrecke, aber keine Auswertung von Geschwindigkeitsprofilen
- Die ermittelten Q-V-Zusammenhänge konnten am Besten mittels Regression mit polynomischem Ansatz (Wurzelfunktion) mathematisch beschrieben werden.
- In den Simulationen konnten keine Rückschlüsse auf die Leistungsfähigkeiten ermittelt werden (kein „capacity drop“ bzw. veränderter Verlauf der Punktwolke im instabilen Verkehrsfluss). Die entsprechenden Engpässe im Verkehrsfluss treten an den Einfahrten in die Simulationsstrecken auf. Instabile Verkehrsflüsse (Staus) konnten nur mittels Einbau von künstlichen „Engpässen“ erzeugt werden.
- Unter günstigen Strassen- und Verkehrsbedingungen konnte in den Simulationen eine Kapazität eines Fahrstreifens max. 1400-1500 Mfz/h ermittelt werden.

Diese Erkenntnisse sind in der vorliegenden Forschungsarbeit, insbesondere beim Aufbau, Auswertung und Beurteilung des Simulationsmodells, von wesentlicher Bedeutung.

2.3.2 Verfahren zur Bestimmung der Leistungsfähigkeit

Im Forschungsauftrag 17/95 [9] sind die damals vorliegenden Materialien zur Erarbeitung der SN 640 020 [1] (Kap. 2.1) ausgewertet und auf deren Übertragbarkeit auf Schweizer Verhältnisse geprüft worden. Neben den damals aktuellen Fassungen des US-amerikanischen HCM, dem Entwurf des HBS sowie der österreichischen Norm ÜAS sind auch einige Schweizer Forschungsarbeiten ausgewertet worden.

- Die Messungen des Geschwindigkeitsniveaus (Zeitraum: 1985-1992) auf „geraden und ebenen“ Landstrassen bei „unkritischen Verkehrsmengen“ [12] ergab eine grosse Bandbreite der Kennwerte V_M (64-85km/h), $V_{15\%}$ (54-75km/h) und $V_{85\%}$ (74-97km/h), aber keinen statistisch nachweisbaren Zusammenhang mit der Fahrbahnbreite. Q-V-Diagramme wurden nicht erstellt.
- In einer breit angelegten Untersuchung (1995) [13] wurde das Fahrverhalten von Fahrzeugen auf Ausserortsstrassen zur Ermittlung umweltrelevanter Kennwerte erhoben. Als wesentliche Erkenntnis ist die Bedeutung der verschiedenen Einflussgrössen auf das Fahrverhalten auf Ausserortsstrassen (Streuung der mittleren Geschwindigkeiten) zu nennen: 55.5% nicht erklärbare Gründe; 29.6% Linienführung (v. a. Kurvigkeit); 5.7% Längsneigung; 3.6% Verkehrsmenge und 5.6% „weitere Einflussfaktoren“. Für ein Q-V-Diagramm relevante Zusammenhänge sind nicht erarbeitet worden.

2.3.3 Geschwindigkeiten in Steigungen und Gefällen

Im Forschungsauftrag 20/98 [10] sind aktualisierte Grundlagen zu Geschwindigkeiten von PW und LW in Steigungen und Gefällen bei unbehinderter Fahrt erarbeitet worden. Die Erkenntnisse dienen vor allem der Aktualisierung der Norm SN 640 138b „Zusatzstreifen in Steigungen und Gefällen“ [7], geben aber auch einen Überblick über den aktuellen Forschungsstand rund um die Thematik „Fahrverhalten auf Hauptstrassen ausserorts“.

Die Erkenntnisse mit Zusammenhang zur vorliegenden Forschungsarbeit lassen sich kurz wie folgt zusammenfassen:

- Messungen auf unterschiedlich geneigten Hauptstrassen ausserorts mit Angabe der jeweiligen Geschwindigkeitsverteilungen von PW und LW (bilden Grundlage für die Kalibration des Simulationsmodells in Kap. 7.5) an Stellen, wo von einer Erreichung der so genannte Dauergeschwindigkeit V_D ausgegangen wurde.
- Es ist ein aktualisiertes Geschwindigkeitsdiagramm für den Schweizer Bemessungslastwagen erarbeitet worden (siehe Kap. 3.3, Abbildung 6), welcher in etwa dem Modell eines „langsamen/beladenen“ Lastwagens entspricht und in Etwa das Geschwindigkeitsniveau des Kennwerts $V_{LW,15\%}$ aufweist.
- Gegenüber dem Bemessungs-Schwerfahrzeug aus dem HBS 2001 [6] und älteren Schweizer Untersuchungen ergeben sich für den Schweizer Bemessungslastwagen deutlich höhere Geschwindigkeiten auf Steigungen und in Gefällen. Dies wird auf die aktuelle Zusammensetzung des gut motorisierten Lastwagenparks in der Schweiz zurückgeführt.
- Auf Hauptverkehrsstrassen treten während des Tages nur selten Lastwagenanteile von über 10% auf. Die Berücksichtigung von Lastwagenanteilen bis 20% in den Normen ist demnach ausreichend.

2.3.4 Verkehrsqualität und Leistungsfähigkeit auf Autobahnen

Im Forschungsauftrag 2000/37 [11] ist eine der vorliegenden Forschungsarbeit ähnliche Aufgabenstellung bearbeitet worden mit dem Ziel, für freie Strecken von Autobahnen (Konfiguration HLS 2x2 und HLS 2x3) die Normgrundlagen für Schweizer Verhältnisse zu ermitteln bzw. zu aktualisieren.

Mittels Auswertung der zahlreichen geeigneten on-line-Zählstellen des Bundes auf Autobahnen und mittels Simulation des Verkehrsflusses sind nicht nur abgesicherten Q-V-Diagramme, sondern auch aktualisierte Werte zur Leistungsfähigkeit und zur Definition von Verkehrsqualitätsstufen erarbeitet worden.

Obwohl eine sehr ähnliche Fragestellung bearbeitet worden ist, ergeben sich durch das betrachtete Strassenelement „Autobahn“ doch folgende, zu den HVS teilweise wesentlich abweichende Ausgangslagen:

- Im Unterschied zu HVS sind Autobahnstrecken „in sich geschlossene Systeme“ mit fehlenden „externen“ Störquellen respektive mit eingeschränktem Fahrzeugmix (Mindestgeschwindigkeit 60km/h, keine leichten Zweiräder). Die Verhältnisse sind somit eher mit den HLS 2x1 („Autostrassen“) sowie längeren Tunnel vergleichbar.
- Die gewünschten Reisegeschwindigkeiten können durch Überholmanöver - im Rahmen der Verkehrsbedingungen - durch die Fahrzeuglenker ohne Rücksicht auf den Gegenverkehr bzw. die Linienführung optimiert werden. Somit optimieren sich auch die Fahrzeugabstände bzw. Zeitlücken innerhalb der Richtungsfahrbahnen. Die auf zweistreifigen HVS/HLS 2x1 erreichbaren nicht optimalen Verkehrsdichten dürfen diejenigen auf zweistreifigen Autobahnen (HLS 2x2) nicht überschreiten. Die im HBS 2001 aufgeführten maximalen Verkehrsdichten pro Verkehrsqualitätsstufe für freie Strecken auf Autobahnen lauten:

Verkehrsqualitätsstufe	A	B	C	D	E	F
Verkehrsdichte [Mfz/km]	≤ 8	≤ 16	≤ 23	≤ 32	≤ 45	> 45

Tabelle 1: Verkehrsqualitätsstufen (VQS) und deren zugeordnete Verkehrsdichten [Mfz/km] für zweistreifige Richtungsfahrbahnen auf Autobahnen (HLS 2x2) [6, 11]

- Das Merkmal „Kurvigkeit“ hat infolge der geschwindigkeitsbezogenen Trassierung der Autobahnen (V_A , V_P gemäss VSS-Normen) keinen massgebenden Einfluss auf die mittleren Geschwindigkeiten der Fahrzeuge.
- Die Leistungsfähigkeit stellt effektiv einen Wertebereich dar, in dem die Wahrscheinlichkeit eines Zusammenbruchs des Verkehrsflusses stark zunimmt. Auf Autobahnen erfolgen diese Zusammenbrüche aber im Gegensatz zu den HLS eher selten durch „externe Störquellen“.
- Die ermittelten Leistungsfähigkeiten ergeben Werte analog dem HBS 2001 [6]. Für Autobahnstrecken mit deutlichem Lastwageneinfluss (mit grossen Steigungen oder Anteilen am Gesamtverkehr) sind gegenüber dem HBS 2001 bessere Werte ermittelt worden (Einfluss des Schwerverkehrs, siehe auch Kap. 2.3.2).
- Die Simulation des Zusammenhangs Verkehrsmenge-mittlere Zeitlücken bei Kolonnenfahrt auf einem Fahrstreifen ergab folgende Erkenntnisse: mittlere Zeitlücke $2s = \text{ca. } 1500 \text{ Mfz/h}$ (bei $V=80 \text{ km/h}$) und $\text{ca. } 1600 \text{ Mfz/h}$ (bei $V=100\text{km/h}$)

3 AUSGANGSLAGE

3.1 Fazit für Bearbeitung

Wie der zusammenfassende Beschrieb der wesentlichen Grundlagen in Kap. 2 zeigt, muss im vorliegenden Forschungsauftrag eine dem HBS 2001 [6] oder dem US-HCM [14] ähnliche Methode (siehe Abbildung 4) entwickelt werden, welche folgende Hauptanwendungen der Norm mittels „Bleistift und Papier“ und ohne Einsatz von EDV-Hilfsmitteln ermöglicht:

1. Bestimmung der Verkehrsqualität bei gegebener / zukünftiger Verkehrsmenge (in Abbildung 4 rot dargestellte Vorgehensweise)
2. Überprüfung einer Projektidee / Strassenprojektes (verkehrstechnische Dimensionierung; in Abbildung 4 gelb dargestellte Vorgehensweise)

Im deutschen HBS 2001 [6] erfolgt dies für eine „ebene und gerade“ Strecke mittels folgendem Verkehrsstärke-Geschwindigkeits-Diagramm (Q-V-Diagramm):

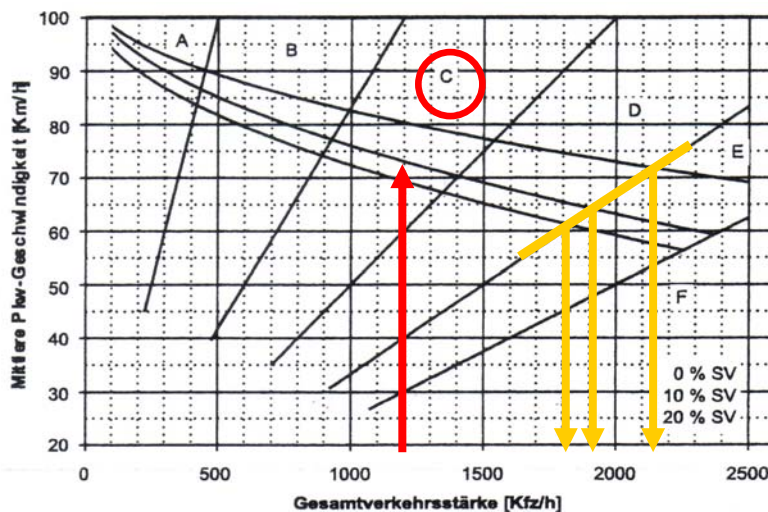


Abbildung 4: Bestimmung der Verkehrsqualität (rot) bzw. der den Verkehrsqualitätsstufen zugeordneten maximalen Verkehrsstärken (gelb) in Abhängigkeit des Schwerverkehrsanteils für eine HVS ausserorts mit Steigungsklasse 1 und Kurvigkeit 0.75 gon / km gemäss dem HBS 2001 [6]

3.2 Arbeitshypothese

Um mit den beschränkten Ressourcen möglichst einfach Resultate erarbeiten zu können, wird den nachfolgenden Arbeiten folgende Arbeitshypothese zu Grunde gelegt:

Die entsprechenden Kennwerte für die Verkehrsqualität und Leistungsfähigkeit nach HBS 2001 [6] gelten auch für die Schweiz.

Dies bedeutet, dass in den folgenden Arbeitsschritten wesentliche Abweichungen von den deutschen Verhältnissen erkannt werden müssen und das deutsche Verfahren im Bedarfsfall entsprechend den Schweizer Verhältnissen anzupassen ist.

3.3 Massgebende Einflussfaktoren

3.3.1 Wesentliche Fragestellungen

Aus der Arbeitshypothese ergeben sich folgende wesentliche Fragestellungen:

- Stimmen die Rahmenbedingungen (Verkehrs-, Betriebs- und Strassenbedingungen) in Deutschland und der Schweiz überein und welchen Einfluss haben allfällige Unterschiede auf die Kennwerte (siehe Kap. 2.1 und ANHANG 2)?
- Welche abweichenden Kennwerte sind hierzu in der Schweiz erhoben worden?
- Wie verhalten sich die neueren Schweizer Forschungsergebnisse zu den deutschen Resultaten?

Bezogen auf die massgebenden Q-V-Diagramme im HBS 2001 [6] sind insbesondere folgende Elemente zu überprüfen:

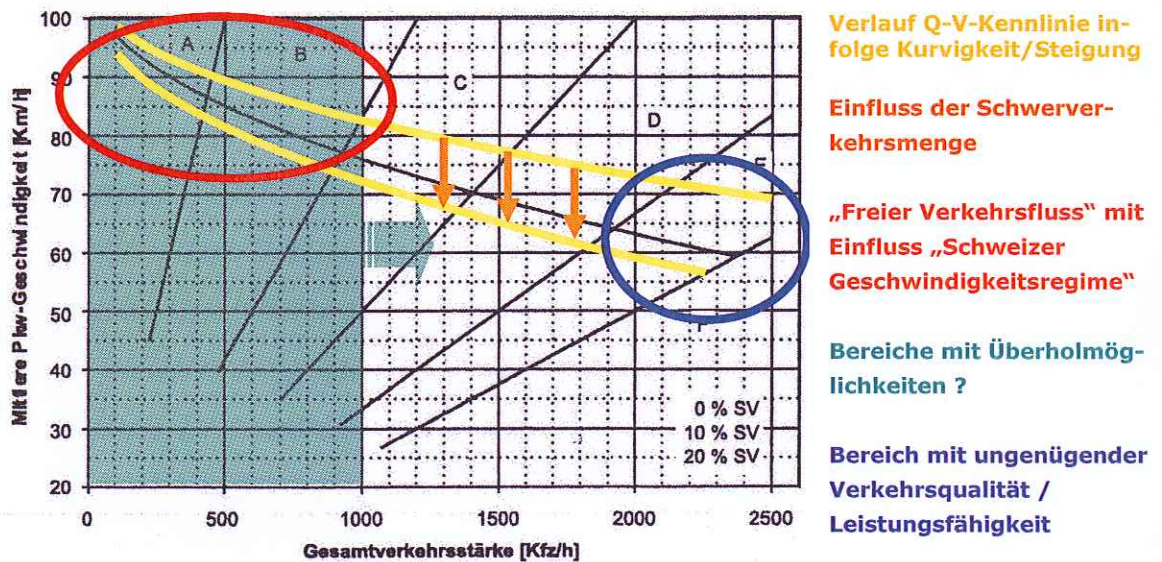


Abbildung 5: Elemente der Q-V-Diagramme des HBS 2001 [6], welche auf die spezifischen Schweizer Gegebenheiten überprüft werden sollen

3.3.2 Einfluss Schwerverkehrsmenge

Der Einfluss der Schwerverkehrsmenge dürfte auch auf Schweizer Strassen vor allem auf Strecken mit mittleren bis grossen Steigungen signifikant sein. Daher ist zu prüfen, ob dieser Einfluss im HBS 2001 den Schweizer Verhältnissen entspricht.

Wie im Kap. 2.3.3 aufgeführt ist das Geschwindigkeitsverhalten eines Schweizer Bemessungslastwagens gegenüber dem deutschen Bemessungslastwagen (aus HBS 2001) in Steigungen infolge der höheren spezifischen Leistung [kW/t] deutlich günstiger.

Der deutliche Einfluss eines zunehmenden Schwerverkehrs auf die Q-V-Kurven im HBS 2001 dürfte somit auf den Schweizer Strassen geringer ausfallen bzw. die Q-V-Kurven auf Strecken mit einer mittleren bis grossen Längsneigung weniger auseinander liegen.

Den vermutlich unterschiedlichen Einfluss veranschaulicht auch ein Vergleich der entsprechenden Geschwindigkeitsprofile für den Schweizer Bemessungslastwagen (aus SN 640 138b [7]) und dem deutschen Bemessungslastwagen (aus HBS 2001 [6]):

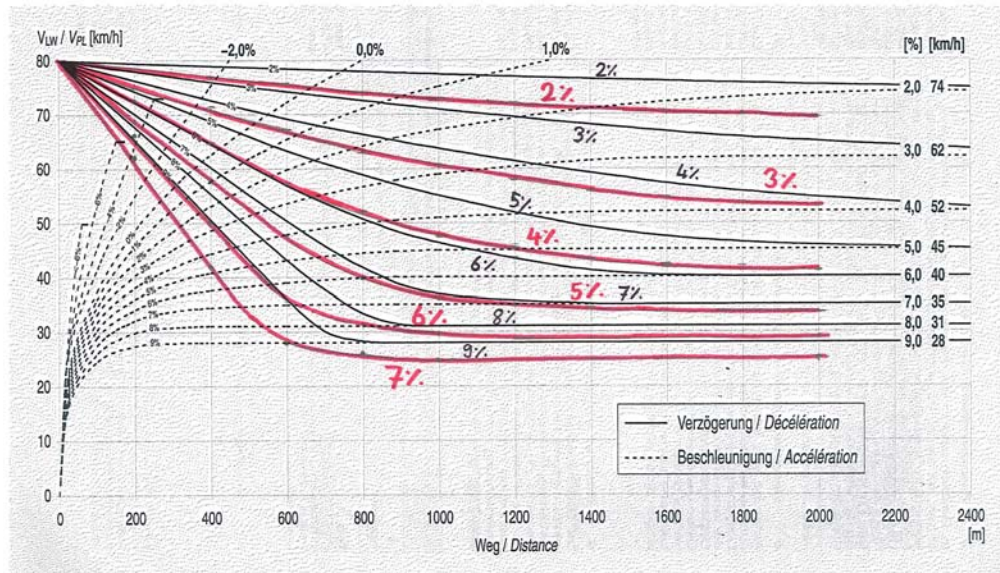


Abbildung 6: Vergleich der Geschwindigkeitsprofile des Schweizer Bemessungslastwagens (schwarz) mit dem deutschen Bemessungslastwagen (rot)

3.3.3 Ausprägungen Hauptstrassen ausserorts (HVS/VS ausserorts)

Anhand der Auswertung der Grundlagen (Kap. 2), der Projektierungsnormen [2,3,4] sowie der Aufgabenstellung (Kap. 1) ergeben sich für das Verkehrsregime auf Hauptverkehrsstrassen ausserorts zusammengefasst folgende wesentlichen Ausprägungen für die Strassen-, Verkehrs- und Betriebsbedingungen, welche bei der Typisierung eines „Normfalls“ (grün) zu berücksichtigen, als „Spezialfall“ (gelb) nicht zu prüfen sind oder nicht Gegenstand der Aufgabenstellung sind (rot):

Kriterium	Typisierte Ausprägungen „Hauptstrasse ausserorts“				
Querschnitt	Tunnel	Offen, Markierung	Offen, Sicherheitslinie mit Leitbaken	Offen, bauliche Trennung	
Fahrstreifen	Kleiner 2x1	2 x 1		2 / 1	2 x 2 2 x 3
Seitl. Abschluss	Böschung	Trottoir	Velostreifen	Standstreifen	Mauer; Geländer
Geschwindigkeit	V _{SIGN} = 60 km/h		V _{SIGN} = 70 km/h	V _{GEN} = 80 km/h	V _{SIGN} = 100 km/h
Lastwagenanteil	0%	5%	10%	15%	20% über 25%
Kurvigkeit	0 – 75 gon/km	75 – 150 gon/km		150 – 225 gon/km > 225 gon/km	
Steigungsklasse	1	2	3	4	5
Sichtweiten	≥ Überholsichtweite		≥ Überholsichtweite teilweise		Anhaltesichtweite
Überholverbot	kein Verbot		einseitig		beidseitig

Abbildung 7: Festlegung der massgebenden Ausprägungen auf den HVS/VS ausserorts für den „Normfall“ (grün), die nicht zu prüfenden „Spezialfälle“ (gelb) sowie die Ausprägungen, welche nicht Gegenstand des vorliegenden Forschungsauftrags sind (rot)

3.3.4 Ausprägungen „Autostrasse“ (HLS 2x1)

Für das Regime „Autostrasse“ lassen sich die wesentlichen Ausprägungen analog zur HVS/VS ausserorts ohne bauliche Richtungstrennung wie folgt zusammenfassen:

Kriterium	Typisierte Ausprägungen „Autostrasse“ (HLS 2x1)					
Querschnitt	Tunnel	Offen, Markierung		Offen, Sicherheitslinie mit Leitbaken		Offen, bauliche Trennung
Fahrstreifen	Kleiner 2x1	2 x 1		2 / 1		2 x 2 2 x 3
Seitl. Abschluss	Bankett	Trottoir	Velostreifen	Standstreifen	Mauer; Geländer	
Geschwindigkeit	$V_{SIGN} = 60 \text{ km/h}$		$V_{SIGN} = 70 \text{ km/h}$		$V_{SIGN} = 80 \text{ km/h}$	$V_{GEN} = 100 \text{ km/h}$
Lastwagenanteil	0%	5%	10%	15%	20%	über 25%
Kurvigkeit	0 – 75 gon/km		75 – 150 gon/km		150 – 225 gon/km > 225 gon/km	
Steigungsklasse	1	2		3	4	5
Sichtweiten	≥ Überholsichtweite		≥ Überholsichtweite teilweise			Anhaltesichtweite
Überholverbot	kein Verbot		einseitig			beidseitig

Abbildung 8: Festlegung der massgebenden Ausprägungen auf den Hochleistungsstrassen für den „Normfall“ (grün), die nicht zu prüfenden „Spezialfälle“ (gelb) sowie die Ausprägungen, welche nicht Gegenstand des vorliegenden Forschungsauftrags sind (rot)

Die „Spezialfälle“ (gelb in Abbildung 7 und Abbildung 8) werden wie folgt beurteilt:

- „Längere“ Tunnels (nach HBS 2001 ab 200m Länge) bilden hierzulande ein sehr häufiges Element der HVS/VS ausserorts und der HLS 2x1 und müssen analog des Vorgehen im HBS 2001 [6] somit im Normvorschlag berücksichtigt werden.
- Die Fahrstreifentrennung mittels doppelter Sicherheitslinie und mittig angeordneter Leitbake ist vergleichsweise selten und entspricht dem Kriterium „ohne bauliche Richtungstrennung“ nur unvollständig (siehe Kap. 1.3)
- Ein- oder beidseitige Standstreifen stellen sowohl auf HVS/VS ausserorts als auch HLS 2x1 seltene Fälle dar (nicht zu normierender „Regelfall“).
- Von der Generellen Höchstgeschwindigkeit abweichende signalisierte Geschwindigkeiten von $V_{SIGN} = 60/70/80 \text{ km/h}$ sind meist an Stellen vorhanden, an denen aus Gründen der Linienführung (Kurven), der Übersichtlichkeit, des Umfelds (Lärmschutz), enger Verhältnisse (Tunnel) oder aber infolge des Strassenzustandes eine Absenkung des Geschwindigkeitsniveaus auch im „freien Verkehrsfluss“ notwendig ist. Die Berücksichtigung dieser abweichenden Geschwindigkeiten in der Norm wäre wünschenswert, ist aber nicht vordringlich.
- Strassen mit einem häufigen Schwerverkehrsanteil von über 25% dürften selten auftreten (nicht zu normierender „Regelfall“, siehe Kap. 2.3.3).
- Überholverbote auf HVS/VS ausserorts werden an Stellen mit mangelnden Überholsichtweiten (Kuppen, Kurven) oder an engen Stellen örtlich begrenzt signalisiert.
- Auf Autostrassen stellt die Markierung einer durchgehenden Sicherheitslinie den Regelfall dar. Hier spielt das Vorhandensein einer Überholsichtweite keine Rolle mehr. Die Anhaltesichtweite ist als wesentliche Projektierungsvorgabe vorhanden.

4 AUSWERTUNG VORLIEGENDER ERHEBUNGEN

4.1 Erhebungen der Forschungsstelle

4.1.1 Frühere Zählkampagnen BE / SO / BL

Gemäss Arbeitspaket AP 1.1 (Kap. 1.4) sind die verfügbaren Verkehrsdaten der Forschungsstelle, welche seit Jahren Messungen mittels Messplatten durchführt, zu sichten und auszuwerten.

Der Forschungsstelle liegen Erhebungsergebnisse aus Querschnittsmessungen an Hauptverkehrsstrassen ausserorts aus den Kantonen Bern, Solothurn und Basel-Landschaft vor. Diese wurden nicht nach einer für das Forschungsvorhaben geeigneter Weise, sondern gemäss der jeweiligen Aufgabenstellung ausgeführt. Der Erhebungsumfang, die Darstellung und die Auswertung der Erhebungsergebnisse variiert daher beträchtlich.

4.1.2 Zählkampagne 2005 Kanton SO

Die Forschungsstelle führte zu Beginn des Forschungsauftrags im Juni 2005 im Auftrag des Kantons Solothurn an insgesamt 12 Standorten an Hauptverkehrsstrassen ausserorts Querschnittsmessungen mittels Zählplatten durch. Die Standorte waren vom Auftraggeber vorbestimmt, so dass eine für das Forschungsvorhaben optimale Messanordnung nur in einem begrenzten Rahmen durchführbar war.

4.1.3 Prüfung der Eignung für Forschungsvorhaben

Die Prüfung der Eignung der Erhebungsergebnisse aus den oben beschriebenen Zählkampagnen erfolgte mittels folgender Eignungskriterien:

- Kriterium 1: „ungestörter“ Verkehrsfluss (d.h. Messtrecke ausserhalb Einflussbereiche Knoten, Bahnübergängen etc..)
- Kriterium 2: Repräsentanz einer Querschnittsmessung für das Geschwindigkeitsverhalten auf einer Ausserortsstrecke, d.h. ausserhalb von Beschleunigungs-/Verzögerungsbereichen nach / vor Kurven oder innerhalb von Kurven
- Kriterium 3: Ausreichender Datenumfang mit Messungen über mehrere Wochentage
- Kriterium 4: Ausgedehnter Wertebereich für die Verkehrsbelastungen im Querschnitt gemäss Kap. 2.2; d.h. auch mittel bis stark befahrene Strassenabschnitte

Die Prüfung der vorhandenen Erhebungsdaten ergab folgende Erkenntnisse:

- Aus den bisherigen Messkampagnen der Forschungsstelle erfüllt nur ein Standort die generellen Eignungskriterien (Messstelle „Herzogenbuchsee“). Dieser weist die Merkmale des „einfachen Falls“ auf (offener und breiter Querschnitt, ebene und gerade Strecke).
- Aus der Messkampagne für den Kanton Solothurn erweist sich lediglich ein Standort als geeignet (Messstelle „Oberbögen“). Die Messstelle weist wiederum Merkmale des „einfachen Falls“ auf (offener und breiter Querschnitt, ebene und gerade Strecke).

4.1.4 Vergleich der vorhandenen Messresultate

Die Gegenüberstellung der Erhebungsergebnisse im Q-V-Diagramm (analog der Angabe im HBS 2001 [6]) lässt folgende Schlussfolgerungen zu:

- Deutlich „flacherer“ Verlauf der Messpunkte gegenüber den Q-V-Kurven des HBS 2001 für ebene und gerade Strecken (Steigungsklasse 1 / Kurvigkeit 0-75 km/gon) im Bereich des „freien“ bis „wenig gebunden“ Verkehrsflusses
- Geschwindigkeitswerte aus Obergösgen bei gleichen Streckenkennwerten leicht niedriger als in den übrigen Messstellen (ca. 5 km/h Differenz)
- Wertebereich über 1500 Mfz/h (pro Querschnitt) mit einer mittleren bis starken Verkehrsbelastung wird bei weitem nicht erreicht
- Kein wesentlicher Einfluss des Anteils des Schwerververkehrs auf den ebenen/geraden Strecken erkennbar

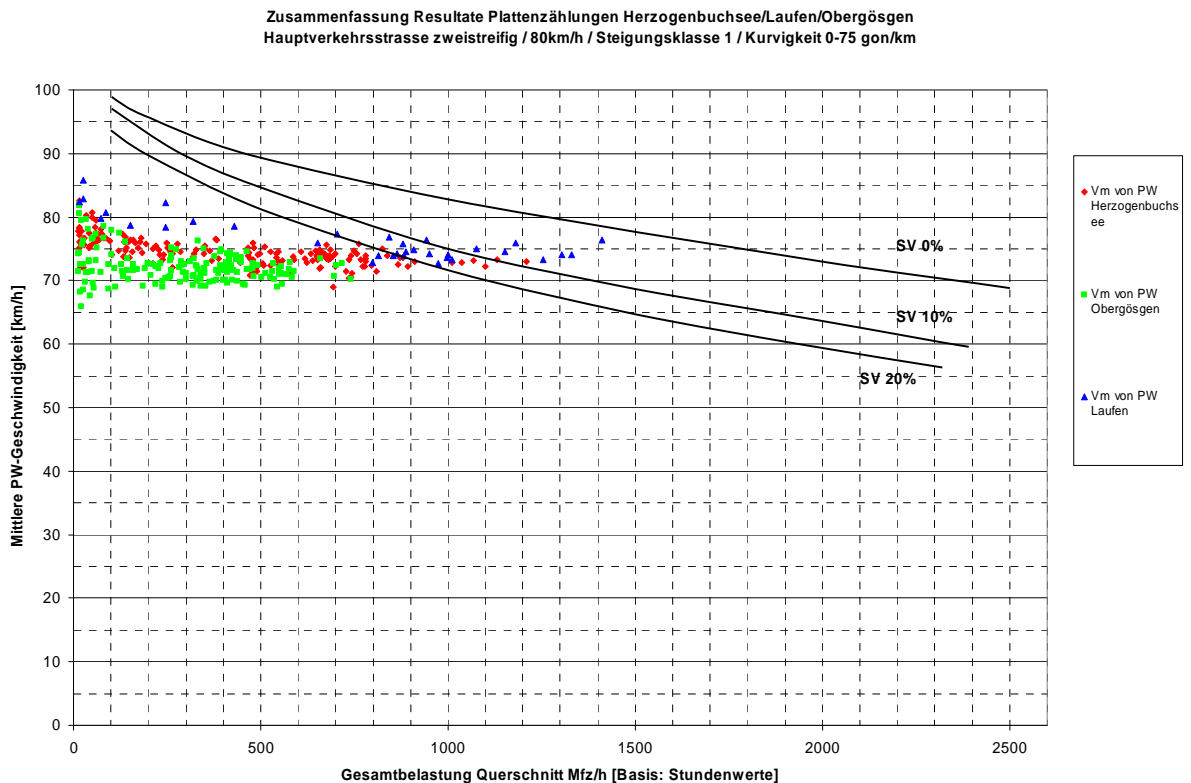


Abbildung 9: Zusammenfassung der vorhandenen Erhebungsergebnisse an den Messstellen Herzogenbuchsee / Obergösgen / Laufen im V-Q-Diagramm sowie Vergleich mit Angaben aus HBS 2001 für Strecken mit Steigungsklasse 1 und Kurvigkeit 0-75 gon/km

Die bei der Forschungsstelle vorhandenen Messdaten aus zahlreichen Messkampagnen sind somit nur in zwei Fällen für die Beschreibung der Verkehrsqualität geeignet, allerdings nur für den Bereich von kleinen bis mittleren Verkehrsmengen. Die im Kap. 3.3 postulierten massgebenden Abweichungen (Einfluss Schwerverkehr, Einfluss Schweizer Geschwindigkeitsregime) von den deutschen Verhältnissen ergeben deutlich abweichende Kurvenverläufe im Q-V-Diagramm (siehe Abbildung 9).

4.2 Zählstellen des Bundes

Zur Ergänzung der geeigneten Messwerte der Forschungsstelle werden die Zählstellen des Bundes [15] (Stand Juni 2005; Querschnittsmessungen) auf ihre Eignung gemäss Kriterien in Kap. 4.1 wie folgt grob beurteilt:

Nr.	Strasse	Typ	Belastung 2003 (stärkste Stunde, beide Richtungen)	Schwer- verkehrs- anteil	Eignung
40	A8, Alpnachstad	HLS	2286 Mfz/h	--	Evtl. gegeben
44	A13, San Bernardino	HLS, Tunnel	1689 Mfz/h	22.9%	Spezialfall
50	A4, Mositunnel (Axenstrasse)	HLS, Tunnel	1698 Mfz/h	(evtl. hoch)	Evtl. gegeben
92	A13, Minusio Verba- nella	HLS?	2162 Mfz/h	--	Tempolimit ?
132	A28, Pardisla (Prätti- gau)	HLS, Tunnel	2004 Mfz/h	7.9%	Evtl. gegeben
150	A1, Gotthardtunnel	HLS, Tunnel	1807 Mfz/h	28.4%	Spezialfall
202	A13, Crapteigtunnel	HLS, Tunnel	2196 Mfz/h	14.0%	Evtl. gegeben
212	J20, Vue des Alpes	HLS, Tunnel	2394 Mfz/h	6.5%	Evtl. gegeben
178	A4, Andelfingen Wein- landbrücke	HLS	2723 Mfz/h	14.5%	3-streifig am Messstandort

Tabelle 2: ASTRA-Zählstellen auf stark belasteten zweistreifigen „Autostrassen“ [15]

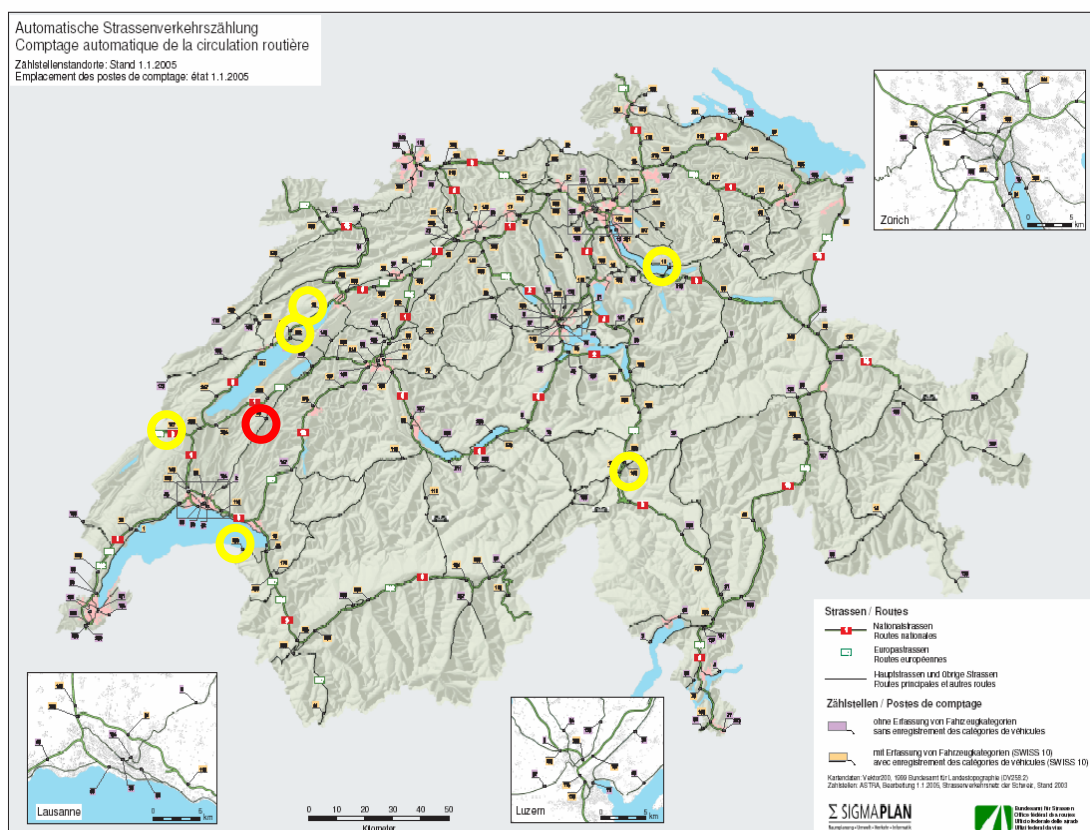
Nr.	Strasse	Typ	Belastung 2003 (stärkste Stunde, beide Richtungen)	Schwer- verkehrs- anteil	Eignung
11	T8, Seedamm Rap- perswil	HVS	2099 Mfz/h	6.1%	Staubereich Ortsdurch- fahrt
21	J12, Langenbruck	HVS	1402 Mfz/h	8.1%	Evtl. gegeben
52	Uster, Aathal	HVS	2481 Mfz/h	7.5%	gegeben
58	Herisau	HVS	1740 Mfz/h	5.6%	Ausserorts kurz
111	Frutigen Süd (Lötsch- berg)	HVS	3456 Mfz/h	--	Saisonal?, plausibel?
189	Le Locle Est	HVS	2599 Mfz/h	--	Evtl. gegeben
179	Saignelégier	HVS	995 Mfz/h	5%	Wenig Ver- kehr
193	Knonau Nord (Zufahrt A4)	HVS	1172 Mfz/h	6.7%	gegeben
196	Andermatt, Schöllenen	HVS	1875 Mfz/h	5.5%	Evtl. gegeben

Tabelle 3: ASTRA-Zählstellen auf stark belasteten zweistreifigen "HVS ausserorts" [15]

Die effektive Eignung der in Tabelle 2 und Tabelle 3 als eventuell geeignet bezeichneten Zählstellen ist vor Ort durch die Fachstelle geprüft worden.

Zur Herstellung der Q-V-Diagramme müssen die entsprechenden Datensätze an den Zählstellen gespeichert sein. Seit mehreren Jahren rüstet der Bund seine Zählstellen so aus, dass die aktuell gemessenen Rohdaten jederzeit on-line ausgelesen und in der im vorliegenden Forschungsauftrag benötigten Form ausgewertet werden können. Mit diesen on-line-Zählstellen sind auch die vergleichbaren Untersuchungen für die Autobahnstrecken (VSS-FA 2000/37 [11], siehe Kap. 2.3.3) durchgeführt worden.

Mit Stand Juni 2005 standen sieben Zählstellen zur Verfügung, welche aber entweder nicht geeignet sind (z.B. T8, Rapperswil Seedamm), bei näherer Untersuchung als „Spezialfälle“ gelten müssen (A2 Gotthardtunnel) oder nicht den gewünschten Wertumfang generieren.



○ voraussichtlich geeignete Messstelle

○ Eignung noch näher abzuklären

Abbildung 10: Darstellung des Zählstellennetzes des Bundes (Stand Juni 2005) [15] mit Darstellung der on-line fähigen Zählstellen auf zweistreifigen HLS/HVS (Stand Juni 2005)

Bei näherer Prüfung konnte für den vorliegenden Forschungsauftrag keine optimale on-line-Zählstelle des Bundes gefunden werden. Die übrigen Zählstellen des Bundes können zwar teilweise als on-line fähige Zählstellen hergerichtet werden, der entsprechende Arbeitsaufwand entspricht allerdings demjenigen einer üblichen Plattenzählung.

Die Auswertung der Zählstellen des Bundes gibt aber Hinweise auf geeignete, teilweise stark befahrene Streckenabschnitte für die Erhebung von streckenbezogenen Messwerten (GPS-Analyse der Fahrtverläufe, siehe Kap. 5.3) wie z.B. die Axenstrasse (Brunnen-Flüelen).

4.3 Umfrage Kantone

Um die Übersicht und die vorhandene Datenlage zu vervollständigen, werden neben den Daten der Kantone BE und SO (Kap. 4.1) auch diejenigen der Kantone Basel-Landschaft, Aargau, Zürich, Luzern, St. Gallen und Graubünden mit Hilfe der jeweiligen Fachstellen auf mögliche geeignete Strecken / Datensätze abgesucht.

Im Vordergrund stehen dabei kantonale und eidgenössische Zählstellen auf Strassen mit einer Verkehrsbelastung von über 10'000 Mfz/Tag (DTV). Neben dem vorliegenden Datenumfang wurde deren Eignung mit den Kriterien aus Kap. 4.1 zuerst grob, bei Bedarf auch teilweise vor Ort näher überprüft.

Zudem sind vorliegende „Verkehrsbelastungspläne“ der Kantone (meist Übersichtspläne mit Angaben des DTV) nach Strecken mit vergleichsweise höheren Verkehrsbelastungen analysiert worden, um allfällige Strecken ohne Zählstellen, aber mit hohen Verkehrsbelastungen (> 10'000 Mfz/h DTV) zu erkennen.

4.4 Schlussfolgerungen

Das Sichten und Auswerten der archivierten Daten (Arbeitspaket AP 1.1) ergab entgegen der ursprünglichen Annahmen folgendes Fazit:

- Wenig vorhandene Daten, welche in geeigneter Form vorliegen und welche auf einem „geeigneten“ Messquerschnitt erhoben wurden.
- Wenige zweistreifige Hauptverkehrsstrassen, welche Verkehrsbelastungen im gesamten Bereich der Leistungsfähigkeit (d.h. Querschnittsbelastungen bis ca. 2000-2500 Mfz/h, Querschnitt) aufweisen werden.
- Voraussichtlich nur wenige zweistreifige Hauptverkehrsstrassen mit hohen Schwerverkehrsanteilen bei stärkeren stündlichen Verkehrsmengen (jeweils auf einen Stundenwert bezogen).
- Die Lage einer geeigneten Messstelle muss für das Verkehrsverhalten auf einem Strassenabschnitt repräsentativ sein. Bei vielen Messstellen ist diese Repräsentativität wegen der Kurvigkeit, nahe liegender und somit beeinflussender Knoten oder Geschwindigkeitsbeschränkungen nicht gegeben.
- Für viele Streckentypen (gemäss HBS 2001) müssen neue, auf das Forschungsvorhaben zugeschnittene Datensätze erhoben werden.
- Die querschnitts- wie auch streckenbezogenen Messungen müssen dabei speziell auf das Forschungsvorhaben zugeschnitten werden. Erhebungen auf nahen kantonalen oder eidgenössischen Zählstellen können allerdings zur Kontrolle / Verifizierung der Messdaten (z.B. der stündlichen Verkehrsmengen) verwendet werden.

5 ERGÄNZENDE MESSUNGEN

5.1 Testdurchlauf für Querschnittsmessungen

Zur Verdichtung der wenigen für das Forschungsvorhaben geeigneten Grundlagen von stationären Messungen (querschnittsbezogene Messungen) müssen zusätzliche Daten (gemäss AP 1.3, Kap. 1.3) erhoben werden. Hierzu stehen der Forschungsstelle mehrere Zählplatten für stationäre Messungen zur Verfügung. Diese können Daten wie Geschwindigkeiten, Fahrzeuglänge und Anzahl in zwei Erfassungsarten erfassen:

- aggregiert (d.h. automatische Aggregation von Einzelmessungen in vorgegebene Zeitintervalle und anschliessende Speicherung)
- sequentiell (d.h. Speicherung aller Einzeldaten)

Um die Datenqualität, den maximal möglichen Datenumfang und somit die Eignung der sequentiellen Erfassung für den vorliegenden Forschungsauftrag zu testen, wird neben der Zählstelle des Kantons Basel-Landschaft auf der H18 Laufen-Zwingen (siehe Abbildung 11) folgender Testdurchlauf durchgeführt:

- Parallele Erhebung mit einer Messplatte (sequentiell und konventionell) mit Vergleich zu den Zähldaten der kantonalen Zählstelle
- Manuelle Aufnahme der Fahrzeugmenge, Fahrzeugzusammensetzung und die Art der Fahrzeugpulks (Anzahl Fahrzeuge pro Pulk, Durchfahrtszeit der Pulks) für ausgewählte Zeitintervalle der Spitzenstunden

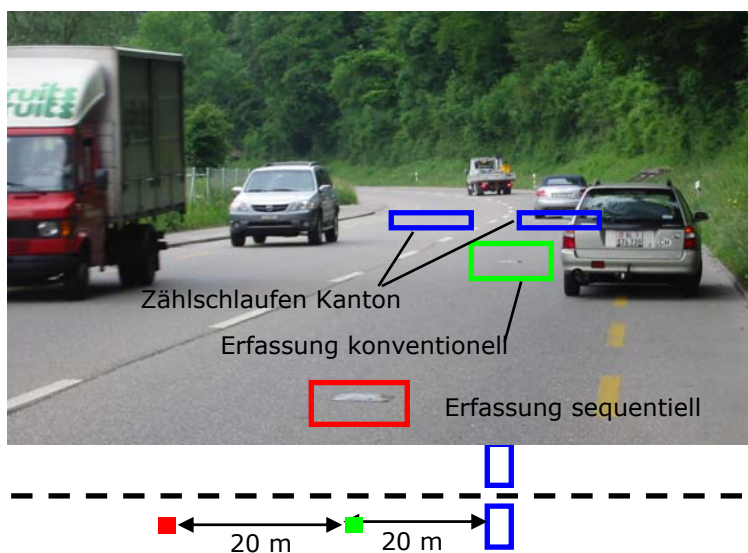


Abbildung 11: gewählte Messanordnung für den Testdurchlauf auf der H18 Laufen -Zwingen

Der Testdurchlauf mit der sequentiellen Erfassung ergab folgende Erkenntnisse:

- die sequentielle Erfassung ergab eine weniger gute Übereinstimmung mit Daten der kantonalen Zählstelle als die konventionelle Erfassung
- es werden bis zu 10% der Fahrzeuge nicht klassiert; d.h. deren Daten (Länge, Geschwindigkeit, Zeit) nicht abgespeichert
- die gemessenen Geschwindigkeiten liegen generell ca. 2-3 km/h höher als mit der konventionellen Messung (über Geschwindigkeitsbereich $V_{15\%}$ - $V_{85\%}$)

- teilweise unplausible Messungen (Beispiel: erstes Fahrzeug im Pulk: 86km/h, zweites nachfolgendes Fahrzeug: 165 km/h; weiteres Beispiel: Fahrzeuge des Schwerverkehrs mit Messwert von 160 km/h)
- Der Speicher für Einzelfahrzeu erfassung ermöglicht bei 8'000-9'000 Mfz/Tag und Richtung eine Messdauer von lediglich 2,5 Tagen; d.h. es werden wenige Verkehrsspitzen mit mittleren bis hohen Verkehrsmengen erfasst
- Die Datenkontrolle, -aufarbeitung und -verarbeitung erfordert bei der sequentiellen Erfassung einen hohen Bearbeitungsaufwand
- Sehr gute Kalibration der Längenklassenabgrenzungen für korrekte Ermittlung des Schwerverkehrsanteils notwendig

Auf Grundlage der Erkenntnisse des Testdurchlaufs wird auf eine querschnittsbezogene sequentielle Erfassung der Fahrzeuge verzichtet und die Erhebungen mittels der üblichen aggregierten Erfassung durchgeführt.

5.2 Ergänzende Querschnittsmessungen

Die Querschnittsmessungen auf ausgewählten HVS ausserorts und HLS 2x1 (ohne bauliche Richtungstrennung) werden mittels zwei Messplatten pro Fahrstreifen (= pro Fahrtrichtung) mit zeitlich versetzter Erfassung durchgeführt.

Die Daten werden dabei bezogen auf 10-Minuten-Intervalle aggregiert, um die geräteeigenen Datenspeicher so nutzen zu können, dass das Zusammenspiel „kleine Zeitintervalle – Erfassungsdauer (Speicherkapazität)“ in einem optimalen Verhältnis stehen. Eine in der Fachliteratur (Kap. 2) empfohlene Erfassung mittels 5-Minutenintervallen ergäbe eine zu kurze Messdauer, so dass nur wenige effektive Spitzenstunden (mit meist einer Lastrichtung von 1-2 Stunden pro Werktag) erfasst werden könnten.

Um den Erfassungsaufwand klein zu halten, sind auf Basis der Auswertungen der vorliegenden Verkehrsdaten (Kap. 4) folgende ergänzenden Querschnittsmessungen vorgenommen worden:

- H18 Laufen - Zwingen (BL): **HVS ausserorts** mit überregionaler Verbindungsfunktion und schwachem bis mittlerem Verkehrsaufkommen; Standort gleich wie im Testdurchlauf (Kap. 5.1, Abbildung 11, ANHANG 3)
- Wehntalerstrasse Zürich-Affoltern – Regensdorf (ZH): **HVS ausserorts** mit regionaler Verbindungsfunktion und schwachem bis sehr starkem Verkehrsaufkommen; Standort zwischen Katzenssee und Regensdorf (siehe ANHANG 5 und 6)
- H18 Umfahrung Aesch (BL): **HLS 2x1** ohne bauliche Richtungstrennung mit überregionaler Verbindungsfunktion und schwachem bis starkem Verkehrsaufkommen mit ausgeprägten Lastrichtungen (siehe Abbildung 21 oder ANHANG 4)

Die Durchführung von Messungen auf **Tunnelstrecken** erfordert einen hohen Vorbereitungs- und Sicherungsaufwand. Glücklicherweise stehen für die Forschungsarbeit jedoch Daten einer Erhebung der Kantonspolizei BL im Tunnel Arisdorf der A2 zur Verfügung, welcher infolge Bauarbeiten und Sperrung einer Tunnelröhre in der zweiten Tunnelröhre während einigen Wochen im Gegenverkehr betrieben worden ist. Während die Verkehrs- und Strassenbedingungen dieser Messung für den Typ HLS 2x1 (ohne bauliche Richtungstrennung) exakt übereinstimmen, können diese Daten aus folgenden Gründen auch näherungsweise für Tunnelstrecken auf HVS ausserorts verwendet werden:

- Signalisierte Höchstgeschwindigkeit während Messungen von 80 km/h
- Überholverbot auf Tunnelstrecken auf HLS 2x1 und HVS üblich
- Fahrverbote für leichte Zweiräder und landwirtschaftliche Fahrzeuge sind – zumindest auf wichtigeren HVS ausserorts - analog zur Messung vorhanden

Einzig aus der Mischung der Motorfahrzeuge (HLS 2x1: Mindestgeschwindigkeit 60 km/h) können sich Differenzen im Verkehrsfluss zwischen Tunnelstrecken auf HVS ausserorts und HLS 2x1 ergeben, welche jedoch als nicht massgebend eingeschätzt werden.

5.3 Streckenbezogene Messungen

Gemäss Vorgehensvorschlag sind streckenbezogene Daten mittels GPS-basierter Messungen durchzuführen (Kap. 1.4, Arbeitspakete AP 1.3 und 1.4). Mit dieser Messmethode kann zwar jeweils nur ein Ausschnitt aus dem effektiven Verkehrsgeschehen festgehalten und ein statistisch beschränkter Datenumfang erhoben werden, dafür liegen die Daten über längere Strassenabschnitte mit der Möglichkeit einer Nachbearbeitung für frei zu wählende Abschnitte vor. Da die streckenbezogenen Messungen vor allem zur Kalibration der Fahrtverläufe im Simulationsmodell benötigt werden, wurde diese Erhebungsart für die vorliegende Forschungsarbeit als geeignet befunden.

5.3.1 GPS-basierte Messungen

Mit dem Global Positioning System (GPS) können via satellitengestützter Bestimmung die jeweiligen Orts- und Zeitabgaben entlang einer vorgegebenen Messstrecke mit handelsüblichen Geräten aufgezeichnet werden.

Mit der speziellen Auswertungssoftware VS-GPS Analyser™ der Forschungsstelle können die Messwerte Zeit / Ort / Höhe in geeigneten Listen, Diagrammen oder als entsprechende Layer über Kartengrundlagen ausgewertet werden.

Schwierigkeiten mit der GPS-Datenerfassungen und –auswertung können sich auf Strassenabschnitten mit hohen seitlichen Hindernissen (z.B. Felswände, Mauern, Gebäude nahe an der Strasse) ergeben. Auf Strassenabschnitten mit Tunnels oder Galerien / Steinschlagdächern werden ebenfalls keine Messpunkte gespeichert. Somit können hier auch keine Weg-Geschwindigkeitsdiagramme ermittelt werden. Mit dem jeweils letzten und dem jeweils ersten gemessenen Punkt können für diese Strassenabschnitte aber die jeweiligen Reisegeschwindigkeiten zwischen Tunnelein- und –ausfahrt berechnet werden.

5.3.2 Durchführung Messfahrten

Auf den gewählten Strassenabschnitten mit einem auch tagsüber mittleren Verkehrsaufkommen wurden die Fahrtverläufe verschiedener Fahrzeuge mittels „Verfolgungsfahrten“ jeweils pro Fahrtrichtung gemessen. An den „Wendepunkten“ dieser Fahrten konnte der Datensatz gespeichert und die entsprechenden Beobachtungen zum Fahrtverlauf (Kap. 6.1) notiert werden.

Anschliessend wurde an den „Wendepunkten“ gewartet, bis sich die nächste geeignete Verkehrssituation wie z.B. eine Fahrzeugkolonne hinter einem langsam fahrenden PW oder hinter einem beladenen Lastwagen ergab. Konnte im Zeitraum bis 5 Minuten keine geeignete Situation vorgefunden werden, wurde die Messfahrt im Sinne einer „freien Fahrt“, d.h. einer durch andere Fahrzeuge unbehinderten Fahrt durchgeführt.

6 AUSWERTUNG DER MESSUNGEN

6.1 Ergebnisse GPS-Messfahrten

Die in Kap. 5.3 beschriebenen streckenbezogenen Messungen auf GPS-Basis wurden auf folgenden Strecken durchgeführt:

Kurvigkeit [gon/km]	Steigungs- klasse 1	Steigungs- klasse 2	Steigungs- klasse 3	Steigungs- klasse 4	Steigungs- klasse 5
0 – 75	Wehntaler- strasse	Münchenstein Bruderholzstr.			
75 – 150	Axenstrasse (Teilstr. Nord)				
150 – 250	Axenstrasse (Teilstr. Süd)			Staffelegg (Südrampe) (Nordrampe)	
≥ 250			Hauenstein Südrampe	Schöllenen (Ge- samtstrecke)	Schöllenen (Teilstrecke)

Tabelle 4: Zusammenstellung der GPS-Messungen auf ausgewählten HVS ausserorts sowie Darstellung der in Kap. 7.3 ausgewerteten Messstellen (grau)

Infolge des grossen Bearbeitungsaufwands und Schwierigkeiten in der Bearbeitung einiger Messresultate wurden die Auswertung der Fahrtverläufe auf je eine Messstrecke pro Kurvigkeitsklasse beschränkt (in Tabelle 4 grau dargestellt).

Die wichtigsten Beobachtungen während der GPS-Messfahrten waren:

- Ein grosser Teil der angelaufenen Messfahrten (bis zu 1/3 aller Fahrten) mussten infolge vorzeitiger Abbiege- und Ausschervorgänge, Bushalte, zu schnelles Fahren des zu verfolgenden Fahrzeugs sowie anderer „externer Störungen“ des Verkehrsflusses“ (z.B. querende Wandergruppen) vorzeitig abgebrochen werden.
- Auf Bergstrassen führte vornehmlich das Befahren der Wendeplatten von Fahrzeugen (wie z.B. Reiseautos) zu kurzzeitigen Zusammenbrüchen des Verkehrsflusses, welche nicht direkt von der Verkehrsmenge abhängig sind.
- Die Geschwindigkeitswahl ist massgeblich vom vorangehenden oder pulkführenden Fahrzeug bestimmt. Hierbei ist – vor allem auf steilen und kurvigen Strecken – ein Unterschied zwischen „ortskundigen“ und „ortsfremden“ Fahrzeuglenkern festzustellen.
- Überholvorgänge von PW und LW werden häufig – trotz der objektiv gegebenen Möglichkeit - nicht durchgeführt. Sehr langsam fahrende Landwirtschaftsfahrzeuge oder leichte Zweiräder werden jedoch nach Möglichkeit sofort überholt.
- In längeren Fahrzeugpulk entstehen durch die zeitverzögerten Brems- und Beschleunigungsvorgänge teils abrupte Fahrmanöver. Manche Verkehrsteilnehmer nehmen sich dabei in ihrer Fahrweise bewusst „zurück“, da ein Überholen unmöglich und das Fahren im Pulk zu anstrengend ist. Dieses individuelle „Einstellen“ der optimalen Fahrzeugabstände dürfte somit massgebend für die erreichbaren maximalen Verkehrsmengen im Bereich der Leistungsfähigkeit werden.

Die einzelnen erhobenen Fahrtverläufe unterschiedlicher Fahrzeugarten oder Verkehrssituationen können anhand der Beobachtungen grob einzelnen „typisierten Fahrtverläufen“ zugeordnet werden (siehe auch Abbildung 43, Kap. 7.3). Als einfachste Unterscheidung der Fahrtverläufe sind zu nennen:

- „freie Fahrt“: unbehinderte Fahrt ohne Beeinträchtigung durch ein anderes Fahrzeug entlang der Messtrecke
- Fahrt in einer lockeren kurzen PW-Kolonne: Der „pulkführende“ Personenwagen fährt vergleichsweise schnell, es entstehen nur geringe Beeinträchtigungen für die Folgefahrzeuge. Die Beschleunigungs-/Abbremsvorgänge innerhalb der kurzen Kolonne sind nur schwach ausgeprägt
- Fahrt in einer längeren PW-Kolonne: Die Fahrt der Fahrzeuge wird durch einen pulkführenden Personenwagen bestimmt. Die Beschleunigungs-/ Abbremsvorgänge innerhalb der Kolonne sind stark ausgeprägt
- Fahrt hinter einem Lastwagen / Lastenzug / Car: der „optimale“ Fahrtverlauf wird über die gesamte Messtrecke vom führenden Fahrzeug beeinträchtigt. Massgebend für den Fahrtverlauf dieser Fahrten sind die fahrzeugspezifischen Beschränkungen (Länge/Breite, Gewicht, Motorisierung/Bremsvermögen).

Für jeden Fahrtverlauf können mit dem Analyseprogramm VS-GPS Analyser™ die Reisegeschwindigkeit bzw. die Reisezeit automatisch berechnet werden. Untenstehend sind die jeweiligen Kennwerte aus den vier GPS-Messtrecken für die grobe Unterteilung in die obigen vier Kategorien zusammengefasst aufgeführt:

GPS-Messstrecke		Zusammenfassungen von „typisierten Fahrtverläufen“							
		Freie Fahrt		lockere PW-Kolonne		lange PW-Kolonne		LW/LZ/Bus	
		$V_{R,M}$ [km/h]	$t_{R,M}$ [s]	$V_{R,M}$ [km/h]	$t_{R,M}$ [s]	$V_{R,M}$ [km/h]	$t_{R,M}$ [s]	$V_{R,M}$ [km/h]	$t_{R,M}$ [s]
Wehntalerstrasse	Regensdorf	81.8	44.5	72.5	51.4	65.2	56.5	63.5	57.7
	Zürich	73.1	51.7	63	58	63.2	58.5	61.3	60.5
Axenstrasse (Teilstrecke Nord)	Sissikon	72.6	191.3	71.3	195	68.7	201.5	58	238.5
	Brunnen	--	--	67.5	205.5	57.3	243.5	63.8	218.5
Staffelegg (Südrampe)	Aarau	77.2	164	69.1	183	73.6	172	51.7	277.5
	Frick	75.6	167	72	177	60.7	208	42	296
unterer Hauenstein (Südrampe)	Olten	68.7	189	61.4	210.7	58.6	220.3	52.9	247.6
	Läufelfingen	70.6	183.5	66.6	193.3	56.4	228.3	44.2	296.3

Tabelle 5: Kennwerte „mittlere Reisezeit“ sowie „mittlere Reisegeschwindigkeit“ in Abhängigkeit der Messstrecken, Fahrtrichtung und der vier zusammengefassten „typisierten“ Fahrtverläufe

Die effektive Aggregation der gemessenen Fahrtverläufe sowie die Zuordnung zu einzelnen „Modellfahrzeugen“ für die Kalibration des Simulationsmodells sind im Kap. 7.3 beschrieben.

6.2 Ergebnisse Querschnittsmessungen

6.2.1 HVS ausserorts

Q-V-Diagramm (Abbildung 12)

Im nebenstehenden Q-V-Diagramm sind die entsprechenden Resultate der Querschnittsmessungen, aufgeschlüsselt auf die vier Messstrecken, dargestellt. Als x-Achse wird analog dem HBS 2001 die gesamte Verkehrsmenge an Motorfahrzeugen pro Querschnitt, d.h. in beiden Fahrtrichtungen zusammen, verwendet, als y-Achse die mittlere Geschwindigkeit aller Motorfahrzeuge im Querschnitt (wiederum beide Richtungen zusammen).

Deutlich sichtbar ist, dass auch auf wichtigeren Hauptverkehrsstrassen ausserorts (z.B. Messstrecken Herzogenbuchsee, Laufen-Zwingen) bezogen auf das gesamte Wertespektrum nur kleine bis mittlere Verkehrsstärken gemessen wurden. Strassenabschnitte mit dem gesamten möglichen Wertespektrum wie die Wehntalerstrasse sind eher selten anzutreffen. Zur Auswertung liegt folgende Gesamtmenge an 2652 Messpunkten vor:

Messstelle	Intervalle	Werte bereinigt	Besonderes
Herzogenbuchsee	60 Min.	168 Werte	Nicht aus Forschungsauftrag
Obergösgen	60 Min.	168 Werte	Nicht aus Forschungsauftrag
Laufen-Zwingen	10 Min.	1164 Werte	(bei Bedarf zusätzlich Daten aus sequentieller Erfassung vorhanden, Kap. 5.1)
Wehntalerstrasse	10 Min.	1152 Werte	--

Tabelle 6: Ausgewertete Messungen auf „ebenen und geraden“ Strecken (Kap. 5.2)

Das resultierende Q-V-Diagramm (Abbildung 12) kann wie folgt beschrieben werden:

- Mit der Messung auf der Wehntalerstrasse kann das auf einer Hauptverkehrsstrasse ausserorts gemäss HBS 2001 zu erwartende „Wertespektrum“ abgedeckt werden.
- Der Verlauf der aufgezeichneten Messwerte über die x-Achse ist gegenüber dem HBS 2001 infolge des abweichenden Schweizer Geschwindigkeitsregime deutlich „flacher“ (Bestätigung der Annahmen aus Kap. 3.3).
- Im Bereich von sehr kleinen Verkehrsstärken bis ca. 100 Mfz/h, Querschnitt, d.h. bei freiem Verkehrsfluss, ist eine grosse Schwankungsbreite der Messwerte zu verzeichnen.
- Im Bereich ab ca. 100 Mfz/h, Querschnitt ist die Schwankungsbreite der Messwerte deutlich geringer und ein klarer Verlauf des Q-V-Zusammenhangs ersichtlich. Die gemessenen Geschwindigkeiten auf allen vier Messstrecken stimmen in etwa überein.
- Im Bereich von hohen Verkehrsbelastungen treten einzelne Messwerte mit deutlich tieferen Geschwindigkeiten auf, welche durch in die Messstrecke hineinragende Rückstaus oder stockendem Kolonnenverkehr zurückzuführen sind. Dieser Wertebereich (unter 60 km/h) wird in der richtungsbezogenen Analyse (Abbildung 14 und Abbildung 15) näher analysiert.
- Die höchsten hochgerechneten stündlichen Verkehrsbelastungen im Querschnitt liegen bei maximal 2592 Mfz/h, die auftretenden effektiven Stundenwerte liegen bei maximal 2314 Mfz/h.

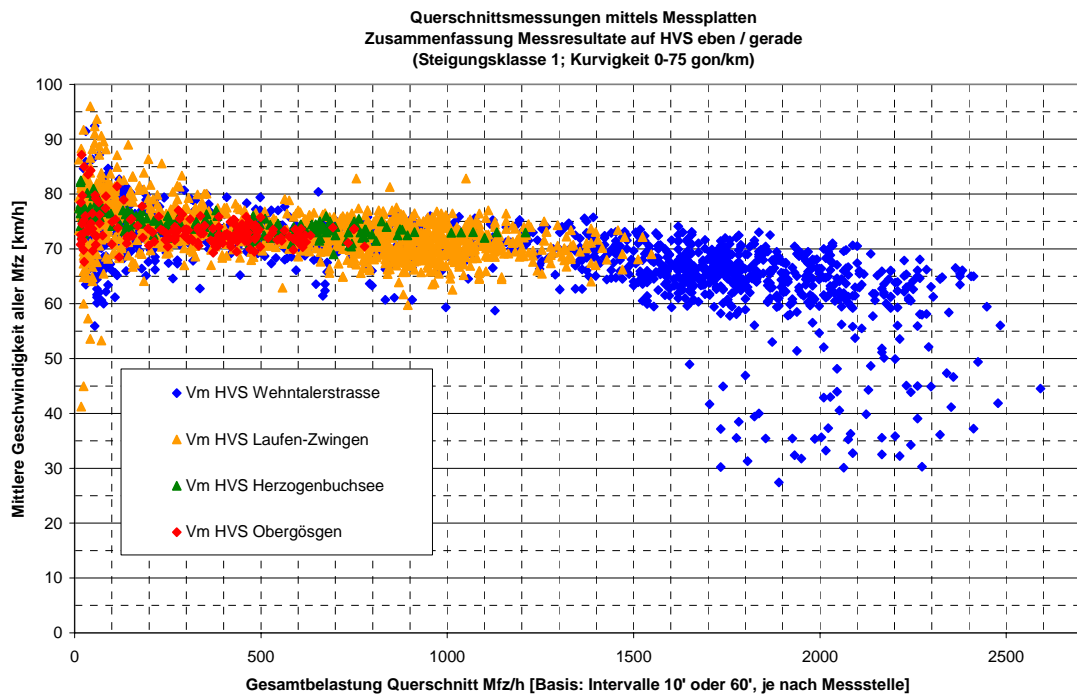


Abbildung 12: Vergleich aller Querschnittsmessungen auf „ebenen und geraden“ Strecken (Kap. 5.2) im Q-V-Diagramm

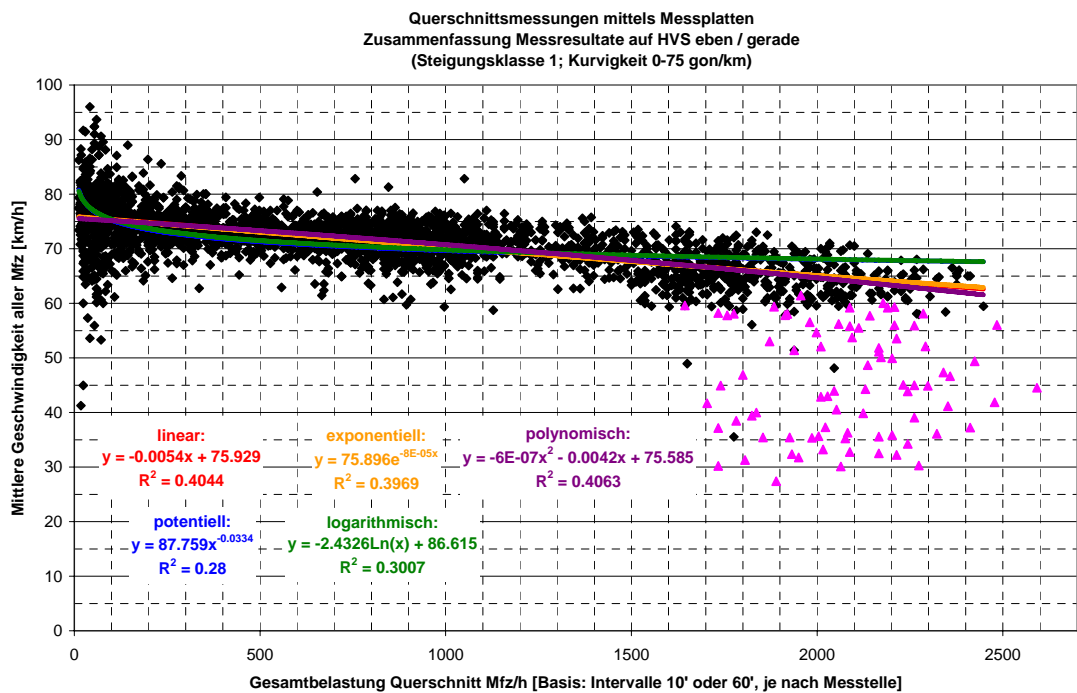


Abbildung 13: Regressionsgleichungen zur Beschreibung der Messwerte für Bereiche ohne stockenden Verkehrsfluss (rosa markiert) auf „ebenen und geraden“ Strecken

Regressionsanalyse (Abbildung 13)

Der Zusammenhang zwischen der mittleren Geschwindigkeit aller Motorfahrzeuge und der Verkehrsbelastung im Querschnitt wird mittels Regressionsanalyse mathematisch erfasst. Der erwähnte Wertebereich mit Rückstauerscheinungen (siehe auch Abbildung 15) wird dabei nicht mitberücksichtigt.

Eine Regression mit linearer Funktion beschreibt die gemessenen Zusammenhänge am einfachsten. Eine alternative Regression mit einem polynomischen Ansatz ergibt ein nur unwesentlich grösseres Bestimmtheitsmass.

Richtungsbezogene Analysen (Abbildung 14 und Abbildung 15)

Eine fahrtrichtungsbezogene Betrachtung der Messwerte der Messstelle Wehntalerstrasse ergibt folgende Resultate:

- In Fahrtrichtung Regensdorf („stadtauswärts“, Abbildung 14) sind kaum Messwerte mit niedrigen Geschwindigkeiten zu verzeichnen. Der Verkehrsfluss in dieser Fahrtrichtung wird somit vom vorangehenden und vom nachfolgenden Knoten bzw. Siedlungsdurchfahrt nicht negativ beeinflusst.
- Die höchsten hochgerechneten stündlichen Verkehrsbelastungen liegen bei 1416 Mfz/h, Richtung, der höchste effektive Stundenwert bei 1324 Mfz/h, Richtung. Inwieweit diese maximalen Verkehrsmengen durch die vorangehende Lichtsignalanlage am Autobahnanschluss ZH-Affoltern bestimmt ist, ist nicht bekannt.
- Der Verlauf der Messwerte entspricht weitgehend demjenigen des Querschnitts (aus Abbildung 12).
- In Fahrtrichtung Affoltern („stadteinwärts“, Abbildung 15) sind Werte mit deutlich niedrigeren Geschwindigkeiten gemessen worden. Eine Detailanalyse dieser Werte zeigt, dass diese zur werktäglichen Morgen- und Abendspitzenstunde gemessen wurden und vom Zulauf auf die Rückstaukolonnen bzw. stockendem Verkehr der Lichtsignalanlage des Autobahnanschlusses A20 Zürich-Affoltern zurückzuführen sind. Sie sind somit Resultat einer Störquelle ausserhalb der eigentlichen „Strecke ausserorts“.
- Ausserhalb der in Abbildung 15 schwarz dargestellten Messwerte mit stockendem Verkehr gleichen die übrigen (grau dargestellten) Messwerte vom Verlauf her in etwa den Querschnittswerten (Abbildung 12). Das gesamte Geschwindigkeitsniveau ist dabei allerdings spürbar tiefer als in der Gegenrichtung.
- Die höchsten hochgerechneten stündlichen Werte in Fahrtrichtung Affoltern werden bei 1290 Mfz/h, Richtung, die effektiven Stundenwerte bei 1105 Mfz/h, Richtung gemessen. In wie weit diese maximalen Verkehrsmengen durch die nachfolgende Lichtsignalanlage am Anschluss A20 Zürich-Affoltern bestimmt sind, ist nicht bekannt. Im Vorlauf ist kein eindeutig limitierendes Strassenelement (Knoten, Kreisel, Ortsdurchfahrt,...) erkennbar.

Fazit:

Auch die fahrtrichtungsbezogene Analyse der Messstelle Wehntalerstrasse (Abbildung 14 und Abbildung 15) ergibt klare Q-V-Zusammenhänge. Analog dem Kurvenverlauf im HBS 2001 [6] (Kap. 2.2) treten auf diesem Streckentyp keine verkehrlich „instabilen“ Verkehrsverhältnisse durch die Strecke selber, wohl aber durch Einflüsse im umliegenden Strassennetz auf.

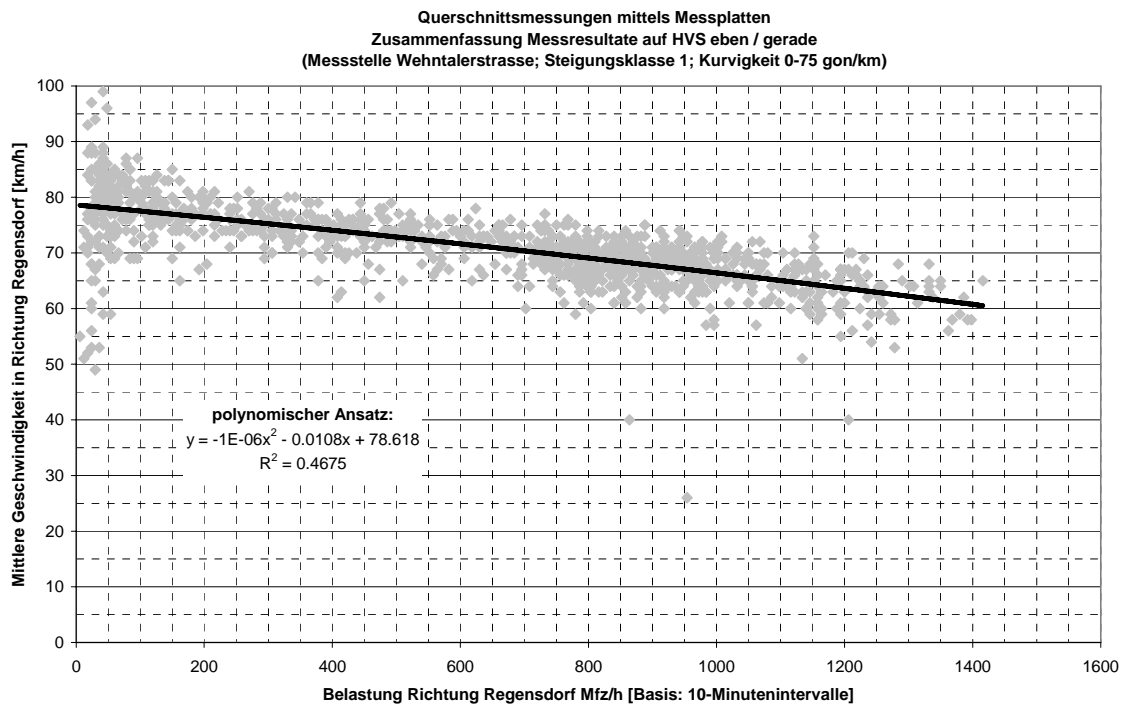


Abbildung 14: Q-V-Diagramm der Messstelle Wehntalerstrasse in Richtung Regensdorf (mit Regressionsfunktion)

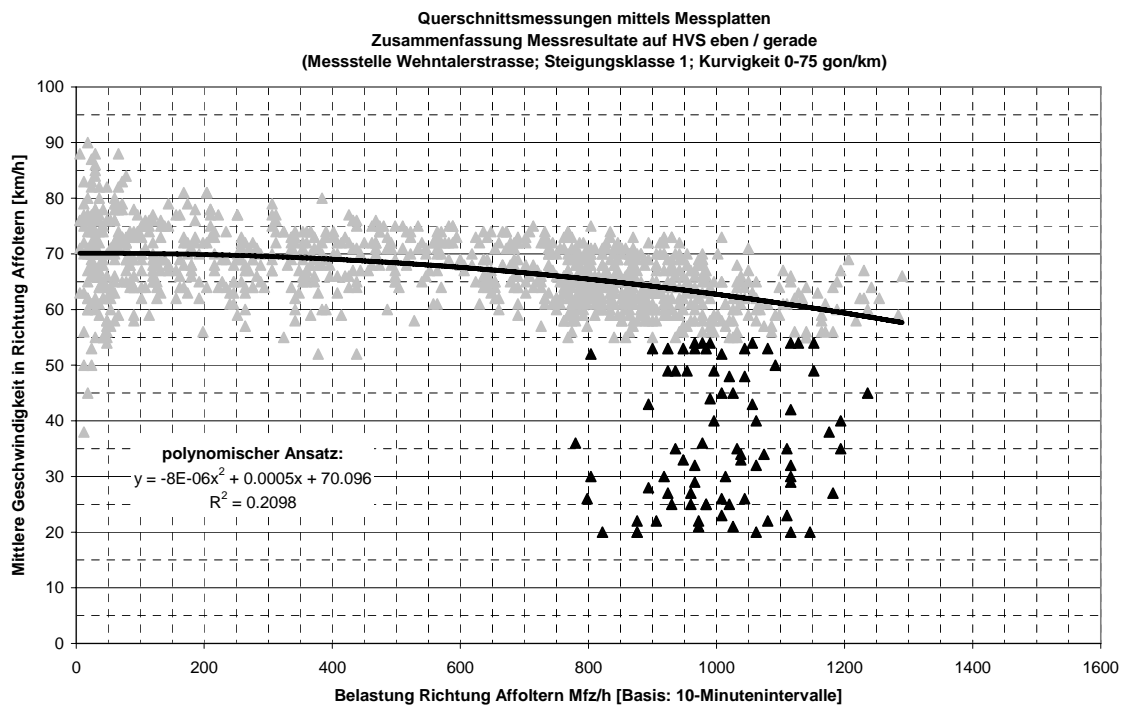


Abbildung 15: Q-V-Diagramm der Messstelle Wehntalerstrasse in Richtung Affoltern mit Messwerten ohne (grau) und mit (schwarz) stockendem Verkehr durch die nachfolgende Lichtsignalanlage am Anschluss A20 Zürich-Affoltern

Einfluss Schwerverkehrsanteil (Abbildung 16 und Abbildung 17)

Die Messresultate werden analog zum HBS 2001 [6] bezogen auf die drei Klassen Schwerverkehrsanteil 0%, 10%, 20% aufgeteilt. Die nebenstehende Abbildung 16 zeigt diese grobe Aufschlüsselung und lässt folgende Feststellungen zu:

- Interessanterweise konzentrieren sich die gemessenen Stunden der Klasse „Schwerverkehrsanteil 20%“ auf die Stunden mit sehr niedrigem Verkehrsaufkommen sowie mit hohem Verkehrsaufkommen.
- Die Klasse „Schwerverkehrsanteil 0%“ ist dagegen im Bereich der hohen Verkehrsmengen kaum vertreten.
- Im Gegensatz zum HBS 2001 [6] ist in der Abbildung 16 optisch kein wesentlicher Einfluss des Schwerverkehrsanteils auf den Verlauf der Q-V-Kurven erkennbar.

Eine Auswertung der Zusammenhänge zwischen mittlerer Geschwindigkeit (V_M aller Mfz/h) und dem Schwerverkehrsanteil ist in Abbildung 17 aufgeführt. Eine Regressionsanalyse ergibt folgende Resultate:

- Die Messwerte in Abhängigkeit der mittleren Geschwindigkeit und des Schwerverkehrsanteils ergeben eine breite Punktwolke mit einer Konzentration der Anteile im Bereich zwischen 0% und 25%.
- Am aussagekräftigsten erweist sich ein linearer Regressionsansatz, welcher zu einer leicht geneigten Regressionsgeraden führt. Die nur sehr leichte Steigung der Gerade führt zu einem Geschwindigkeitsabfall von lediglich ca. 4 km/h im Wertebereich des Schwerverkehrsanteils von 0%-25%. Die Geschwindigkeitsdifferenzen zwischen möglichen Q-V-Kurven für 0% / 10% / 20% Schwerverkehrsanteil sind somit noch wesentlich kleiner und im Q-V-Diagramm grafisch kaum darstellbar.

Fazit:

Im Gegensatz zum deutschen HBS 2001 [6] ist infolge des Schweizer Geschwindigkeitsregimes und der daraus resultierenden homogeneren Geschwindigkeitsverteilung zwischen den Fahrzeugarten kein wesentlicher Zusammenhang zwischen der mittleren Geschwindigkeit und dem Schwerverkehrsanteil pro Querschnitt auf ebenen und geraden Strecken ersichtlich. Für ebene und gerade Strecken ist eine Unterteilung der Q-V-Kurven nach Schwerverkehrsanteilen zur Beschreibung der Verkehrsqualität und der Leistungsfähigkeit im Q-V-Diagramm nicht notwendig.

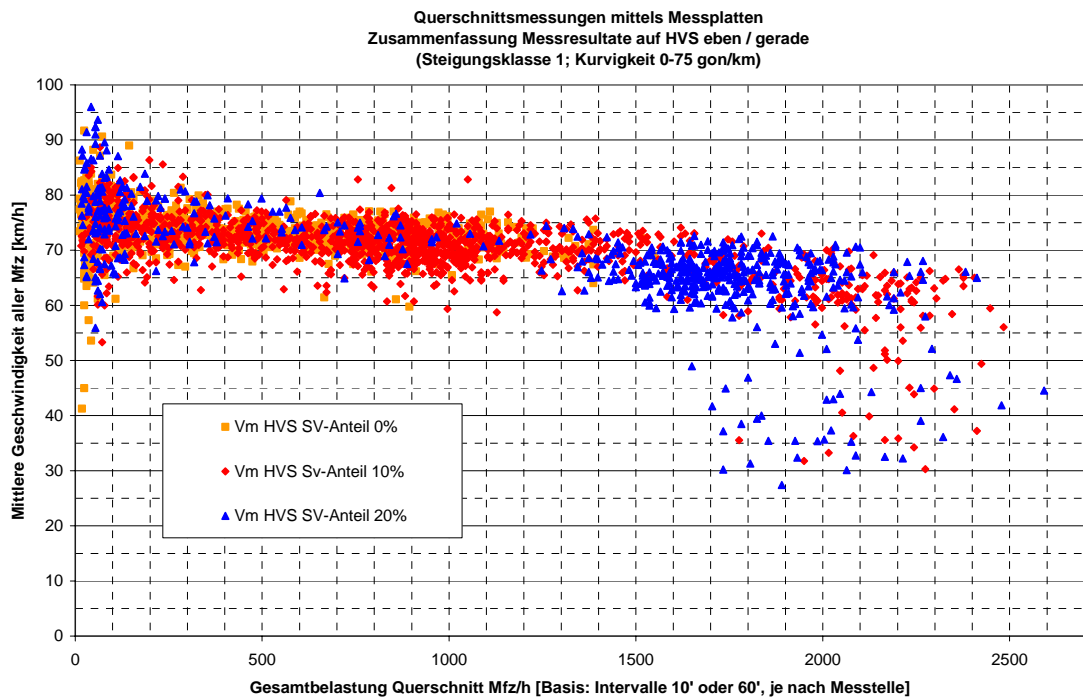


Abbildung 16: Differenzierung der Messwerte im Q-V-Diagramm anhand der Schwerverkehrsanteile (mit Klassen von 0% / 10% / 20%, analog Einteilung im HBS 2001 [6])

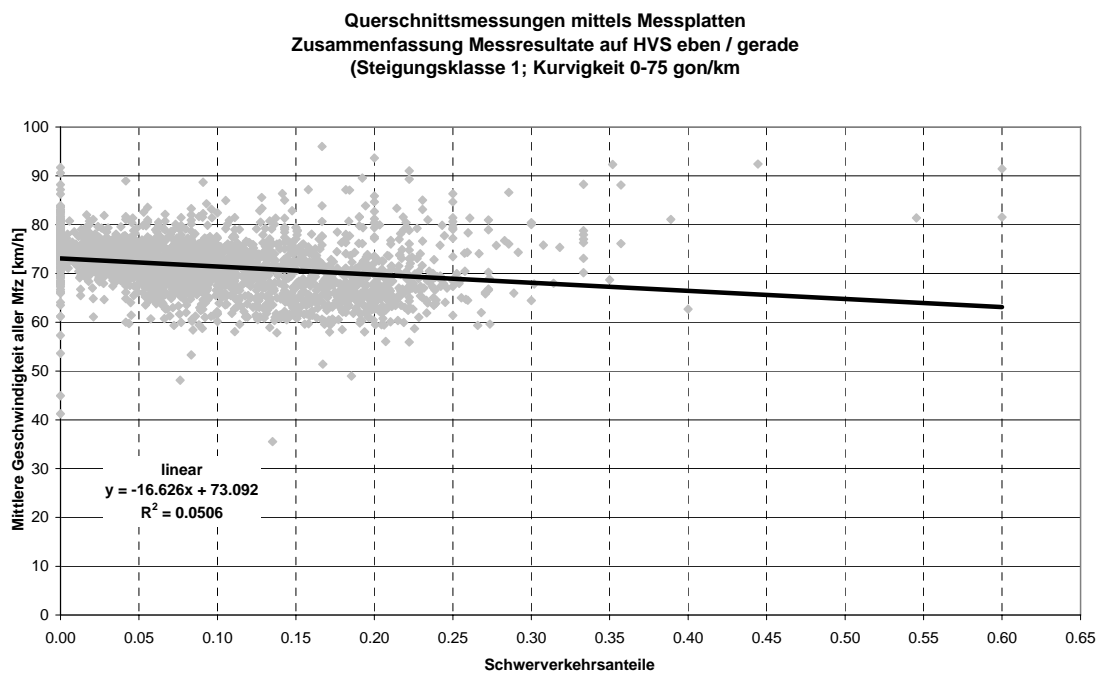


Abbildung 17: Zusammenhänge mittlere Geschwindigkeit V_M (aller Mfz) mit dem Schwerverkehrsanteil (ohne Geschwindigkeitswerte im gebundenen Verkehr)

Einfluss Geschwindigkeitsverteilung (Abbildung 18)

In einigen Grundlagen wird postuliert, dass sich die Geschwindigkeitsverteilung der Fahrzeuge mit zunehmenden Behinderungen durch andere Fahrzeuge ungleichmässig ändert. Wird die Geschwindigkeitsverteilung der Fahrzeuge grob mit den Perzentilen $V_{15\%}$, $V_{50\%}$ (oder V_M) und $V_{85\%}$ der Geschwindigkeitsverteilung charakterisiert, so müsste die Geschwindigkeit $V_{15\%}$ bei zunehmender Verkehrsbelastung weniger stark zurückgehen als diejenige der schnelleren Fahrzeuge (infolge deren stärkerer Behinderung), welche mit dem Wert $V_{85\%}$ charakterisiert werden.

Mit der nebenstehenden Auswertung der Messresultate soll überprüft werden:

- Wie ändert sich die Geschwindigkeitsverteilung mit zunehmender Verkehrsmenge tatsächlich? Betrachtet wird die Differenz zwischen den Kennwerten $V_M - V_{85\%}$ und $V_M - V_{15\%}$.
- Eignen sich diese Kennwerte der Geschwindigkeitsverteilung bzw. deren Differenz allenfalls zur Beschreibung der Verkehrsqualität?

Wie die nebenstehende Abbildung 18 zeigt, ist keine ausgeprägte Zu-/Abnahme der Differenzen $V_M - V_{85\%}$ und $V_M - V_{15\%}$ bei steigender Belastung über das gesamte Wertespektrum erkennbar. Lediglich im Bereich mit freiem Verkehrsfluss und sehr kleinen Verkehrsmengen ist eine grosse Spannbreite der Geschwindigkeitsdifferenzen, insbesondere zwischen den Kennwerten $V_M - V_{85\%}$, erkennbar. Ab ca. 200-300 Mfz/h, Querschnitt liegen diese Geschwindigkeitsdifferenzen in einem konstanten Wertebereich erstaunlich nahe beieinander. Eine Regressionsanalyse ergab eine beinahe horizontal verlaufende Gerade (linearer Ansatz) als beste mathematische Beschreibung der Zusammenhänge.

Eine Beschreibung der Verkehrsqualität auf Basis von Kennwerten der Geschwindigkeitsverteilung der Fahrzeuge erscheint somit nicht praktikabel.

Einfluss Richtungsanteil (Abbildung 19)

Eine weitere Auswertung in Abbildung 19 soll zeigen, ob der Richtungsanteil einer Fahrtrichtung bezogen auf den Querschnitt sich auf die mittleren Geschwindigkeiten (wiederum bezogen auf den Querschnitt) in einem relevanten Masse auswirkt.

Der resultierenden Punktwolke mit einer „horizontalen Ausbreitung“ in Abbildung 19 zu Folge ist der Einfluss des Richtungsanteils auf die mittleren Geschwindigkeiten im Querschnitt nicht genügend signifikant und somit vernachlässigbar.

Der Grossteil der gemessenen Werte für den Richtungsanteil liegt zwischen 40% und 60% des Querschnittswertes.

Querschnittsmessungen mittels Messplatten
Zusammenfassung Messresultate auf HVS eben / gerade
(Steigungsklasse 1; Kurvigkeit 0-75 gon/km)

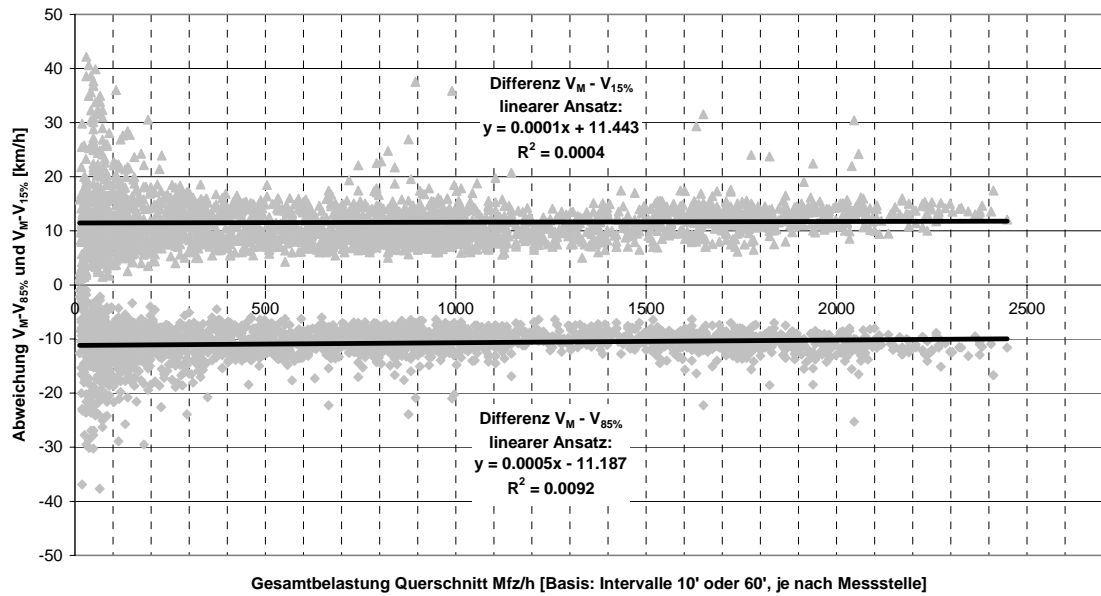


Abbildung 18: Abhängigkeiten zwischen der Gesamtbelastung im Querschnitt und der Differenzen zwischen den Geschwindigkeitskennziffern $V_{15\%} / V_M / V_{85\%}$ (ohne Stauwerte)

Querschnittsmessungen mittels Messplatten
Zusammenfassung Messresultate auf HVS eben / gerade
(Steigungsklasse 1; Kurvigkeit 0-75 gon/km)

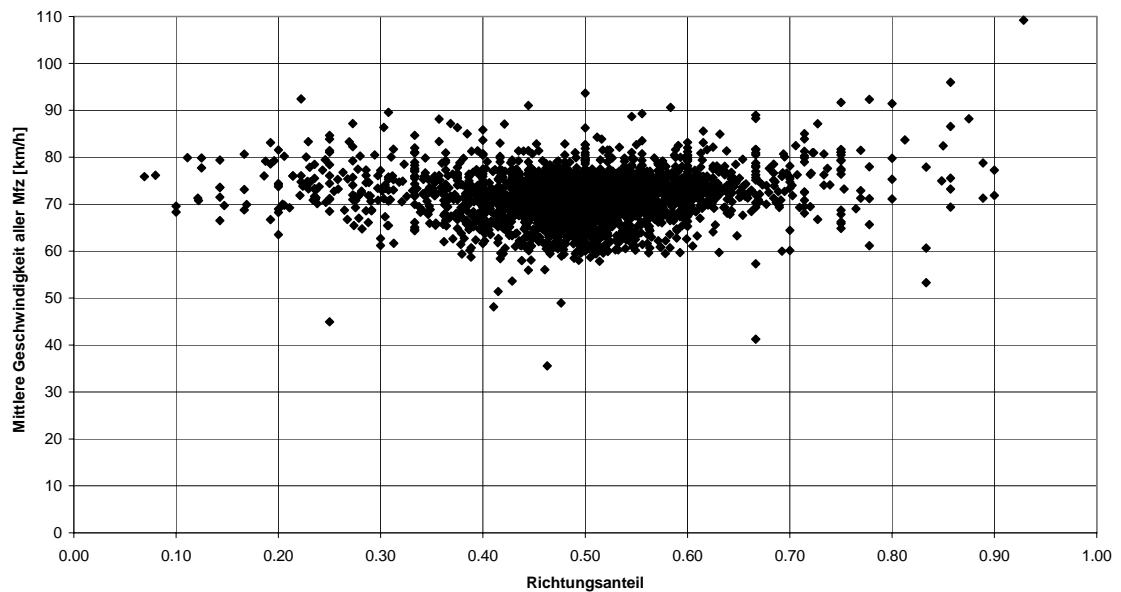


Abbildung 19: Abhängigkeiten zwischen mittlerer Geschwindigkeit (V_M aller Mfz) und dem Richtungsanteil der Verkehrsstärke einer Fahrtrichtung am Messquerschnitt

6.2.2 HLS 2x1 (offene Strecke)

Messstrecke H18 Umfahrung Aesch (Abbildung 21)

Die Abbildung 21 zeigt die Lage der Messstrecke „H18 Umfahrung Aesch“ und die Anordnung des Messquerschnitts. Je nach Fahrtrichtung ergeben sich folgende Gegebenheiten:

Während in Fahrtrichtung Basel im Vorlauf einige vortrittsgeregelte Knoten vorhanden sind (in Abbildung 21 ist nur der anliegende Knoten Angenstein dargestellt), so schliesst an die Messstrecke ein zweistreifiger Verflechtungsbereich der H18 mit einer signalisierten Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h an. Trotz nachfolgender Geschwindigkeitsbegrenzung ist durch die zweistreifige Aufweitung mit einer gegenüber der Messstrecke erhöhten „Abflusskapazität“ zu rechnen. Bezüglich der zu erwartenden Verkehrsmenge werden die Kapazitäten an den Knoten im Zulauf massgebend.

In Fahrtrichtung Delémont liegt im Zulauf eine sehr kurze, auch durch den Anschluss Aesch sehr stark belastete einstreifige Fahrbahn. Die in Richtung Delémont fahrenden Fahrzeuge werden somit durch den am Anschluss Aesch ausfahrenden Verkehr limitiert. Im Nachlauf ist der Übergang auf die signalisierte Höchstgeschwindigkeit von 60 km/h am Knoten Angenstein für den Verkehrsfluss auf der Messstrecke in dieser Richtung massgebend. Der Messquerschnitt wird somit möglichst weit vom Knoten Angenstein und in gebührender Distanz zum Anschluss Aesch angeordnet.

Q-V-Diagramm für Gesamtquerschnitt (Abbildung 20)

Die Auswertung der Messwerte im Q-V-Diagramm in Abbildung 20 zeigt folgendes Bild:

- Das Geschwindigkeitsniveau ist gegenüber den Hauptverkehrsstrassen ausserorts (siehe Abbildung 12) infolge des Geschwindigkeitsregimes „Autostrasse“ deutlich höher und im Bereich der Ausgangs-Geschwindigkeiten in etwa mit den Werten im deutschen HBS 2001 [6] (siehe Kap. 2.2, Abbildung 2) vergleichbar.
- Im Bereich mit hohen Verkehrsmengen sind Werte mit mittleren Geschwindigkeiten unter 60 km/h gemessen worden, welche wiederum auf einen zeitweise stockenden Kolonnenverkehr in einer Fahrtrichtung hinweisen.
- Mit steigender Verkehrsmenge im Querschnitt nimmt die mittlere Geschwindigkeit aller Fahrzeuge im Querschnitt beinahe linear ab. Diese Abnahme ist allerdings weit geringer als im deutschen HBS 2001, was auch auf das Fehlen von langsamen Fahrzeugen im Schweizer Regime „Autostrasse“ (Mindestgeschwindigkeit von 60km/h aller Fahrzeuge, Art. 35 SSV) zurückgeführt werden kann.
- Die höchsten hochgerechneten stündlichen Verkehrsmengen pro Querschnitt konnten bei maximal 2346 Mfz/h (Basis: 10-Minutenintervalle) gemessen werden, wobei auf der Messstrecke deutliche Lastrichtungen und -spitzen auftreten. Der höchste gemessene effektive Stundenwert im Querschnitt liegt somit lediglich bei 2078 Mfz/h.
- Der Q-V-Zusammenhang lässt sich mit einem linearen Regressionsansatz beinahe gleich gut mathematisch beschreiben wie mit einem polynomischen Ansatz.

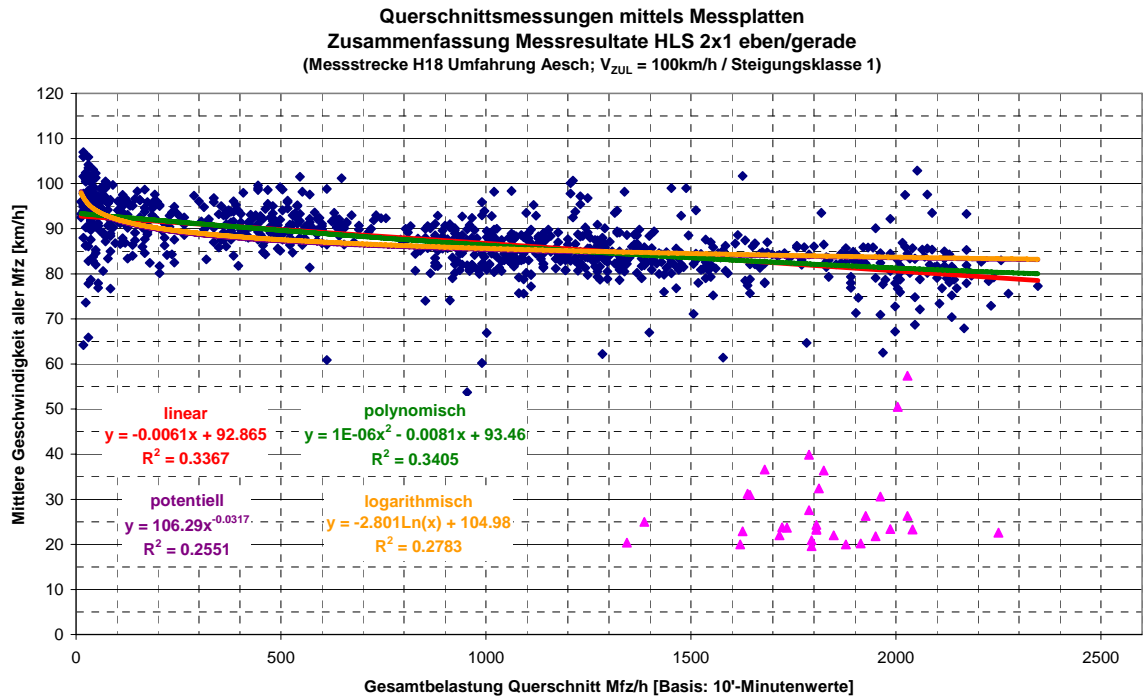


Abbildung 20: Q-V-Diagramm für beide Richtungen zusammen (blau: ohne stockendem Verkehr; rosa: mit stockendem Verkehr); Regressionsanalyse des Bereichs ohne Stockungen

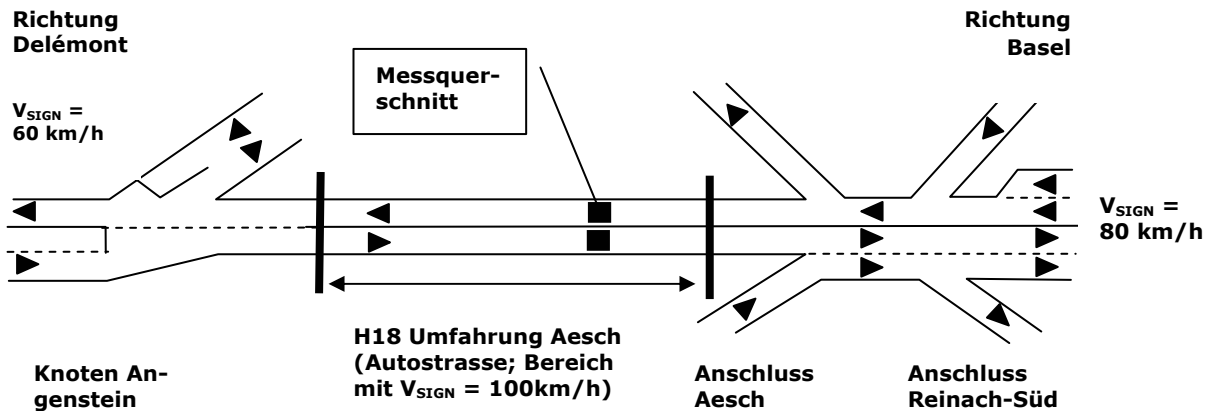


Abbildung 21: Schematische Darstellung der Situation auf der Messstrecke H18 Umfahrung Aesch inklusive dem Vor- und Lachlauf in Richtung Delémont und Basel

Richtungsabhängige Analyse (Abbildung 22 und Abbildung 23)

Das auf die einzelnen Fahrtrichtungen bezogene Q-V-Diagramm ist in Abbildung 22 abgebildet. Es zeigt für beide Fahrtrichtungen:

- einen quasilinearen Verlauf der Messwerte über das Wertespektrums
- einen Bereich von stark streuenden Messwerten bei sehr niedrigen Verkehrsbelastungen (freier Verkehrsfluss)
- die höchsten auf Basis der 10-Minutenwerte hochgerechneten stündlichen Verkehrsbelastungen liegen bei 1656 Mfz/h (Richtung Basel) und bei 1536 Mfz/h (Richtung Delémont). Die höchsten effektiv gemessenen Stundenwerte liegen bei 1475 Mfz/h (Richtung Basel) bzw. bei 1320 Mfz/h (Richtung Delémont).
- in Fahrtrichtung Delémont sind die Messwerte mit sehr niedrigen mittleren Geschwindigkeiten (im Bereich von Staugeschwindigkeiten) gut sichtbar, welche jeweils zur werktäglichen Abendspitze verzeichnet wurden (siehe untenstehende Detailbetrachtung).
- trotz identischen Strassenbedingungen für beide Fahrtrichtungen liegt das Geschwindigkeitsniveau in Fahrtrichtung Basel leicht tiefer als in der Gegenrichtung. Eine schlüssige Erklärung liegt nicht vor. In den GPS-Messfahrten konnten vor allem in Fahrtrichtung Basel Fahrzeuglenker beobachtet werden, welche die auf „Autostrassen“ erlaubten höheren Geschwindigkeiten nicht ausnützten und die nachfolgenden Fahrzeuge bremsen (mit Kolonnenbildung).

Eine Betrachtung der Auswirkungen der beschriebenen niedrigen Geschwindigkeitswerte in Fahrtrichtung Delémont lässt sich mittels zeitlicher Verknüpfung der Messwerte in Abbildung 23 darstellen.

- Ein Abfall auf ein tiefes Geschwindigkeitsniveau tritt nicht erst bei hohen Verkehrsmengen ab 1450 Mfz/h, Richtung auf, sondern teilweise auch bereits früher (bei rund 1000 Mfz/h, Richtung). Teilweise erfolgt der Geschwindigkeitsabfall schrittweise, teilweise aber abrupt.
- Im Bereich mit Staugeschwindigkeiten sind zeitlich anliegende, bezüglich effektiver Durchflussmengen stark streuende Werte im Wertebereich von 800 – 1400 Mfz/h, Richtung zu verzeichnen.
- Dies lässt sich grösstenteils auf zeitweise Kapazitätsprobleme beim Abfluss auf den nachfolgenden Knoten Angenstein oder durch Ereignisse im Knoten selber (z.B. beobachtete Vortrittsgewährung für Abbieger) zurückführen, welche nicht zwingend von der Verkehrsmenge abhängig sind.

Mit der Querschnittsmessung auf der Umfahrung Aesch konnte somit praktisch das gesamte, zu erwartende Wertespektrum mit Messwerten abgedeckt werden. Offen ist lediglich die Frage, in wieweit die ermittelten höchsten Verkehrsmengen pro Fahrtrichtung durch die Vor- oder Nachlaufstrecken limitiert werden oder bei „idealen“ Verhältnissen noch höhere Verkehrsbelastungen möglich wären.

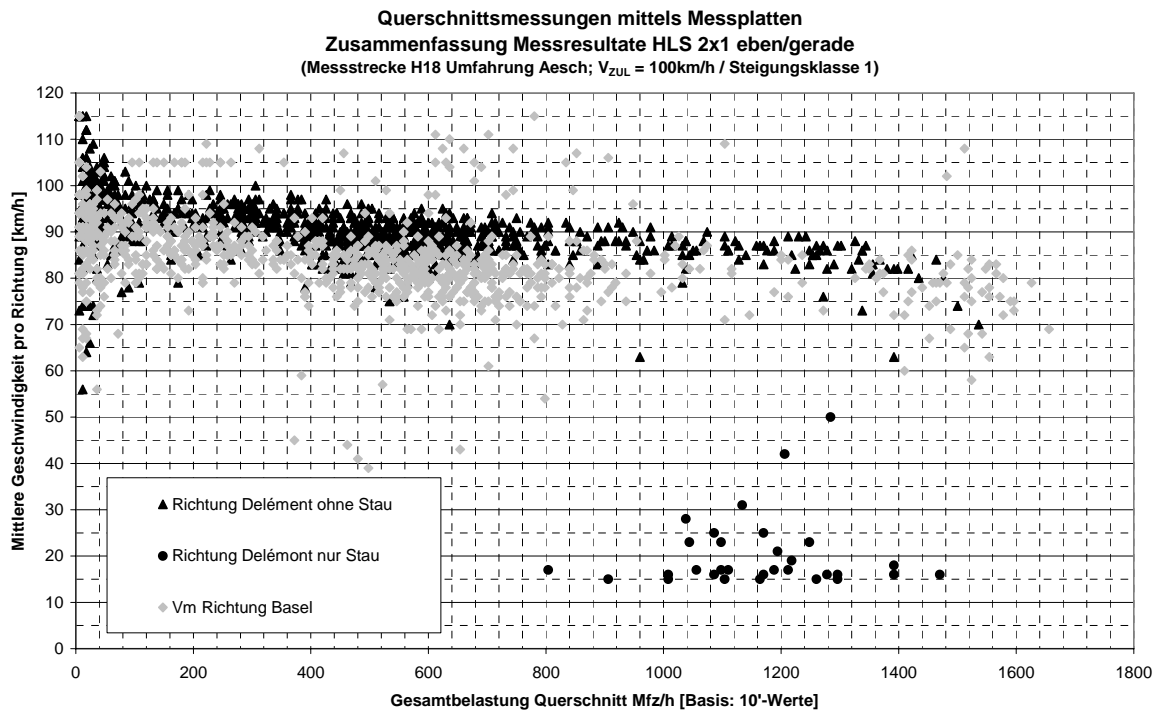


Abbildung 22: Q-V-Diagramme für die beiden Fahrrichtungen Basel und Delémont (mit / ohne stockendem Verkehr)

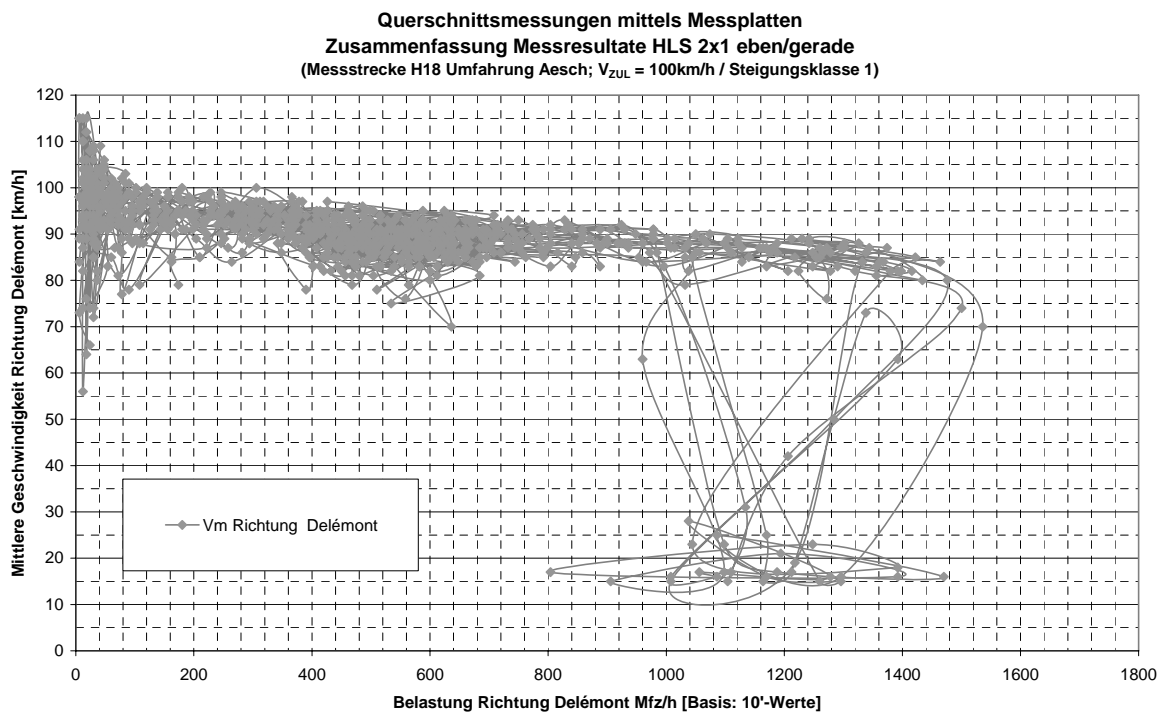


Abbildung 23: Q-V-Diagramm in Fahrrichtung Delémont mit Verlaufflinien der Messwerte; gut sichtbar ist der Bereich mit stockendem Verkehr infolge der Rückwirkungen des Übergangs auf die nachfolgende HVS ausserorts mit à-Niveau-Knoten

Einfluss Schwerverkehrsanteil (Abbildung 24 und Abbildung 25)

Die Messresultate werden analog zu Kap. 6.2.1 auf die drei Klassen Schwerverkehrsanteil 0%, 10% und 20% aufgeteilt. Die nebenstehende Abbildung 24 zeigt diese Aufschlüsselung und lässt folgende Feststellungen zu:

- Gleich wie auf den Hauptverkehrsstrassen ausserorts (Abbildung 16) konnten hohe Schwerverkehrsanteile der Klasse 20% entweder nur bei sehr kleinen Verkehrsmengen (v. a. nachts / frühmorgens) oder in einem mittleren Wertebereich von 900-1600 Mfz/h, Querschnitt gemessen werden.
- Messwerte der Klasse 0% sind ausser dem Bereich mit kleinen Verkehrsmengen bis 600 Mfz/h, Richtung kaum vertreten.
- Im Gegensatz zum HBS 2001 [6] und analog den Ergebnissen in Kap. 6.2.1 ist optisch kein wesentlicher Einfluss des Schwerverkehrsanteils auf die mittlere Geschwindigkeit aller Motorfahrzeuge erkennbar.

Eine Auswertung der Zusammenhänge zwischen mittlerer Geschwindigkeit aller Motorfahrzeuge und des Schwerverkehrsanteils ist in Abbildung 25 aufgeführt. Eine Regressionsanalyse ergibt folgende Resultate:

- Die Messwerte in Abhängigkeit der mittleren Geschwindigkeit und des Schwerverkehrsanteils ergeben eine „kompakte“ Punktwolke (Konzentration im Wertebereich 0% bis 20%).
- Am aussagekräftigsten erweist sich wiederum ein linearer Regressionsansatz, welcher zu einer praktisch horizontal verlaufenden Regressionsgeraden führt. Die Geschwindigkeitsdifferenzen zwischen möglichen Q-V-Kurven für 0% / 10% / 20% Schwerverkehrsanteil sind somit in einem Q-V-Diagramm grafisch nur schwer darstellbar.

Fazit:

Trotz des speziellen Geschwindigkeitsregimes auf „Autostrassen“ mit - für den Schwerverkehr - unterschiedlichen Höchstgeschwindigkeiten ergeben die Messungen auf der Umfahrung Aesch keine wesentlichen Unterschiede bei den mittleren Geschwindigkeiten in Abhängigkeit der drei Schwerverkehrsanteile 0% / 10% / 20%.

Beobachtungen während der GPS-Messfahrten zeigen, dass die Kolonnenbildung häufig durch „langsamer“ fahrende Personenwagen ausgelöst wird und nicht nur durch Fahrzeuge des Schwerverkehrs. Ob diese Feststellungen für andere, bezüglich Betriebsweise und Ausprägung ähnliche Strecken ebenfalls gültig ist, müsste durch weitere Messungen auf geeigneten Strecken verifiziert werden.

Erste Vermutungen der Forschungsstelle für die untersuchte Messstrecke gehen in folgende Richtung: Die untersuchte Messstrecke als baulich nicht richtungstrennte Strasse gleicht bezüglich der Linienführung und Fahrstreifentrennung (d.h. das Erscheinungsbild) sehr einer gewöhnlichen, gut ausgebauten Hauptverkehrsstrasse ausserorts. Der Gewöhnungseffekt führt bei zahlreichen Lenkern von Personenwagen dazu, die erlaubte Geschwindigkeitslimite von $V=100\text{km/h}$ deutlich zu unterschreiten. Somit sind nicht nur Fahrzeuge des Schwerverkehrs, sondern in ähnlicher Masse auch Personenwagen für die Bildung der geschwindigkeitsbestimmenden Fahrzeugpuls verantwortlich.

Die Beschreibung der Verkehrsqualität auf zweistreifigen Hochleistungsstrassen ohne bauliche Richtungstrennung basiert somit auf der linearen Regressionsgleichung aus Abbildung 20.

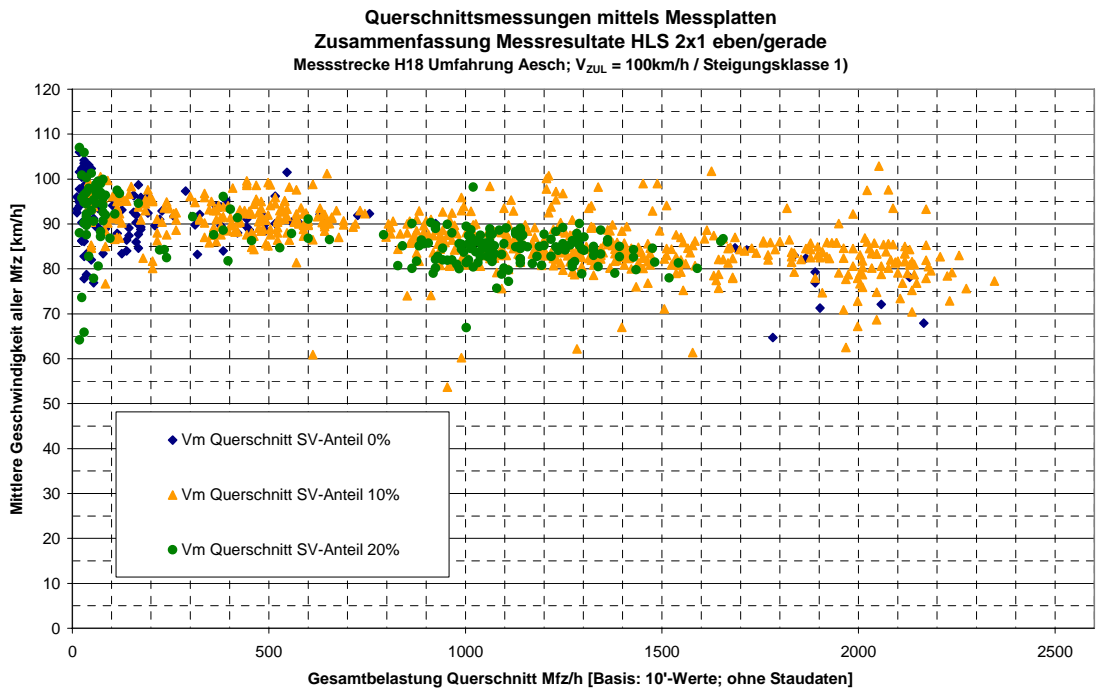


Abbildung 24: Q-V-Diagramm für beide Richtungen zusammen in Abhängigkeit des Schwerververkehrsanteils (grobe Unterteilung in 0%/10%/20% analog HBS 2001 [6])

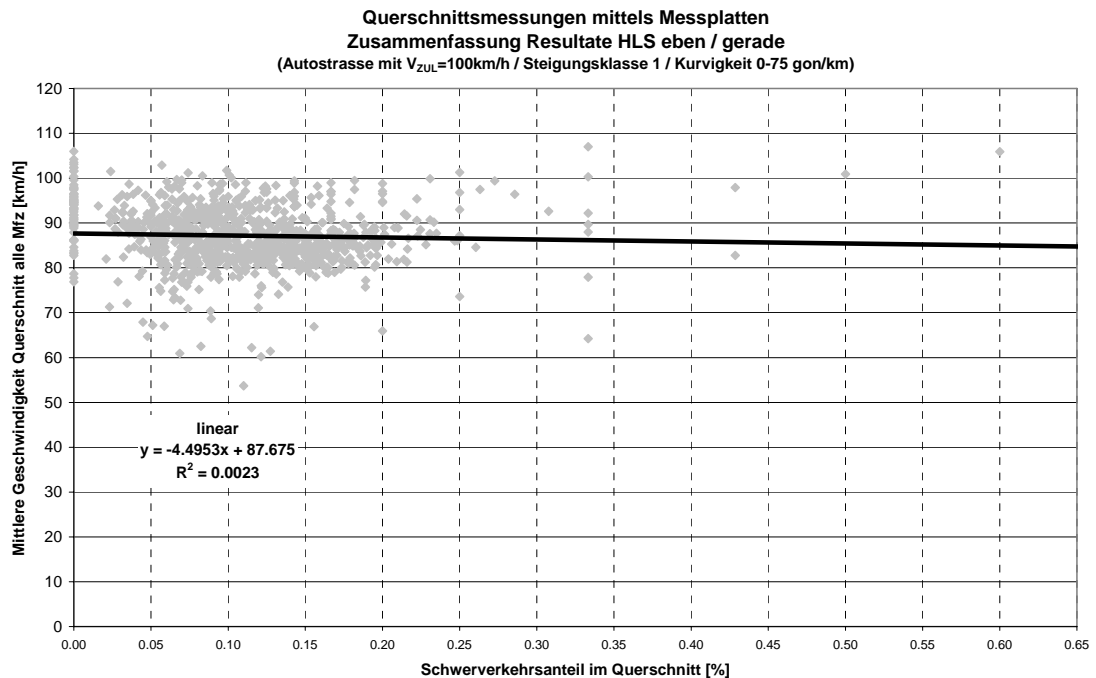


Abbildung 25: Zusammenhang zwischen mittlerer Geschwindigkeit (V_M aller Mfz) und dem Schwerververkehrsanteil (für beide Fahrtrichtungen zusammen)

6.2.3 Tunnel

Gemäss HBS 2001 [6] (Kap. 2.2) stehen für Tunnels ab ca. 200 m Länge gesonderte Q-V-Kurven für den Beschrieb der Verkehrsqualitäten zur Verfügung. Wie im Kap. 3.3 aufgeführt, sind Tunnelstrecken in der Schweiz ein sehr häufiges Strassenelement und müssen somit als „Normfall“ zwingend untersucht werden.

Messungen A2 Arisdorftunnel (Abbildung 27)

Für das Forschungsvorhaben stehen Messungen der Staufachstelle der Kantonspolizei BL im Arisdorftunnel der A2 zur Verfügung. Im Zeitraum der Messungen vom 3.10.2005 bis 7.11.2005 war eine Tunnelröhre wegen Bauarbeiten gesperrt, die zweite wurde jeweils einstreifig im Gegenverkehr betrieben. Jeweils vor und nach dem Tunnel fand der Übergang zum normalen Querschnitt des Typs 2x2 statt. Die signalisierte Höchstgeschwindigkeit im Tunnel betrug 80 km/h. Die Situation ist in der nebenstehenden Abbildung 27 dargestellt.

Situation / Messanordnung (Abbildung 26)

Die Konfiguration stellt somit einen „optimalen Testfall“ dar, da sowohl der Zu- wie auch der Nachlauf der Messtrecke bezüglich Leistungsfähigkeit nicht limitiert ist und die vorhandenen Verkehrsbelastungen auf der A2 genügend gross sind, Verkehrsbelastungen an der Grenze der Leistungsfähigkeit sowie hohe Schwerverkehrsanteile zu generieren.

Entgegen anderen langen zweistreifigen Tunnels wird der Verkehrsfluss auch nicht durch spezielle Verkehrsregelungen (z.B. Tropfenzählersystem am Gotthardtunnel; Tunnelmaut am Tunnel Grand St. Bernhard) beeinflusst.

Die Messanordnung im Tunnel Arisdorf ist ebenfalls nebenstehend in Abbildung 26 schematisch dargestellt. Dabei sind jeweils pro Fahrtrichtung an vier Standorten Messungen mittels Seitenradar vorgenommen worden.

Ausgewertete Daten (Tabelle 7)

Für den Forschungsauftrag wurden pro Fahrtrichtung jeweils die Messwerte eines Standortes ausgewertet. Dabei wurden diejenigen Standorte gewählt, welche am weitesten vom Tunnelportal entfernt liegen und die gleichen Parameter der vertikalen Linienführung aufweisen. Damit kann einerseits die leistungsbestimmende „Abstands-/Pulkbildung“ der Fahrzeuge berücksichtigt, andererseits der Einfluss der Steigung bzw. des Gefälles auf die gemessenen Geschwindigkeiten klar einer bestimmten Steigungsklasse zugeordnet werden.

Der Tunnel selber weist gemäss dem nebenstehenden Längsprofil (Abbildung 26) auf weiten Teilen Steigungen von 2.7% auf. Im Bereich des Nordportals weist das Längsprofil des Tunnels jedoch eine Kuppe mit Gefällewechsel auf. Gemäss Klassierung im HBS 2001 sowie dem Fahrverlauf des Schweizer Bemessungslastwagens (Abbildung 6 oder Abbildung 36, Kap. 7.5) ergeben sich je Fahrtrichtung auch unterschiedliche Klassierungen. Als für den Fahrtverlauf repräsentativ erweisen sich – auch unter Berücksichtigungen der Staus an den vorgelagerten Stellen mit Fahrstreifenabbau – die in Tabelle 7 aufgeführten Messstandorte.

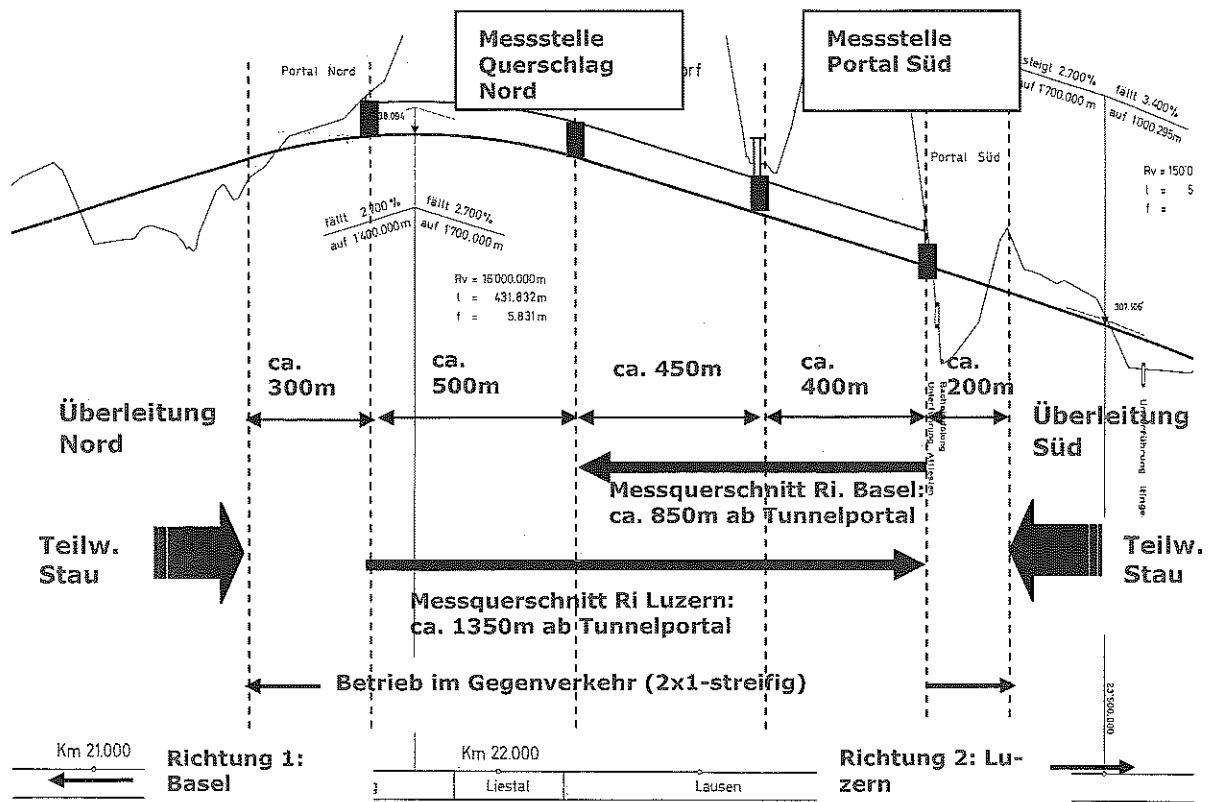


Abbildung 26: Längsprofil und Situation der Messanordnung auf der A2 im Tunnel Arisdorf

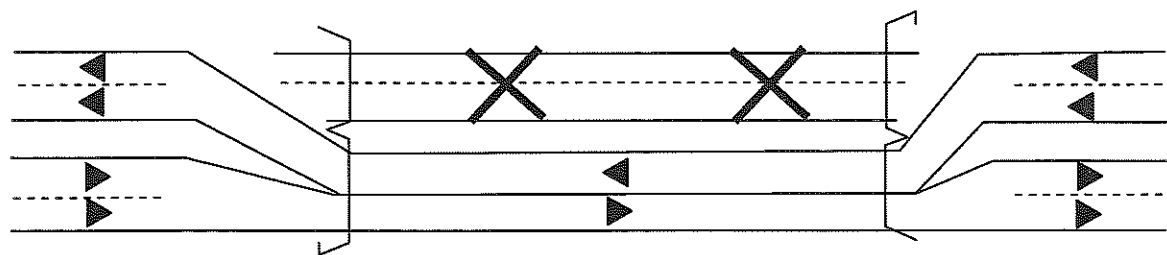


Abbildung 27: Schematische Darstellung der Fahrstreifenanordnung auf der Messstrecke A2 Tunnel Arisdorf (auf Längsentwicklung in Abbildung 26)

Richtung	Messstandort	Klassierung	Bemerkungen
Nord (Basel)	Querschlag Nord	Steigungsklasse 2 (mit/ohne Stau im Vorlauf)	850 m ab Tunnelportal, 1050 m ab Überleitung
Süd (Luzern)	Portal Süd	Steigungsklasse 1 (mit/ohne Stau im Vorlauf)	1350 m ab Tunnelportal, 1650 m ab Überleitung
Quer-schnitt	Querschlag Nord + Portal Süd	Steigungsklasse 2 (massgebend: Richtung Nord)	harmonisches Mittel der beiden Richtungen

Tabelle 7: Zusammenstellung der ausgewerteten Messstandorte sowie ihre Klassierung (nach HBS 2001 [6])

Richtungsbezogene Analyse (Abbildung 28)

Gemäss deutschem HBS 2001 [6] (Kap. 2.2) steht für Strecken in längeren Tunnels die fahrtrichtungsbezogene Analyse im Vordergrund. Die nebenstehende Abbildung 28 zeigt die Auswertung der Messresultate im Q-V-Diagramm jeweils für beide Fahrtrichtungen getrennt auf Basis von 6-Minutenintervallen. Die Auswertung ergab folgende Resultate:

- Das Geschwindigkeitsniveau in Fahrtrichtung Luzern im Gefälle (Steigungsklasse 1) ist über den gesamten Wertebereich um ca. 10 km/h höher als in der Gegenrichtung (Richtung Basel) in der Steigung (Steigungsklasse 2). Die Messwerte beider Fahrtrichtungen verlaufen im gesamten Wertebereich dabei beinahe parallel zueinander.
- Die höchsten hochgerechneten Stundenwerte liegen für die Steigungsklasse 1 (Fahrtrichtung Luzern) bei 1690 Mfz/h, Richtung, diejenigen für die Steigungsklasse 2 (Fahrtrichtung Basel) liegen hingegen mit vereinzelt Spitzenwerten von 1860 Mfz/h, Richtung deutlich höher.
- Die effektiv gemessenen Stundenwerte liegen mit 1448 Mfz/h, Richtung für die Steigungsklasse 1 (Fahrtrichtung Luzern) und 1612 Mfz/h, Richtung für die Steigungsklasse 2 (Fahrtrichtung Basel) deutlich tiefer.
- Diese Maximalwerte liegen für die effektiven Stundenwerte in Etwa im Bereich der im HBS 2001 aufgeführten maximalen Werte von bis zu 1500 Mfz/h, Richtung (rund +/-100Mfz/h gegenüber dem Maximum im HBS 2001).
- Die Geschwindigkeitsdifferenzen streuen im Bereich von kleinen Verkehrsmengen in beiden Fahrtrichtungen nicht so stark wie auf Hauptstrassen ausserorts (Kap. 6.2.1) und auf Hochleistungsstrassen ausserhalb von Tunnels (Kap. 6.2.2). Dies ist möglicherweise auf eine homogenere Fahrweise in den beengten Verhältnissen in Tunnels zurückzuführen.
- In Fahrtrichtung Basel ist im Bereich mit hohen Verkehrsbelastungen (ab ca. 1100 Mfz/h, Richtung) der Wertebereich „dicker“ als in der Gegenrichtung. In diesem Bereich sind auch vergleichsweise verringerte Geschwindigkeiten zu verzeichnen (im Wertebereich von 50-60 km/h), ohne dass jedoch Instabilitäten im Verkehrsfluss mit deutlich absinkenden Geschwindigkeiten zu verzeichnen sind.

Die einleitend beschriebene Verkehrssituation an dieser Messstelle mit einem deutlichen „Nachfrageüberhang“ lässt vermuten, dass auf dieser Messtrecke tatsächlich Messwerte im Bereich der Leistungsfähigkeit vorhanden sind. Dieser Wertebereich wird im Kap. 10.3 noch näher untersucht.

Querschnittsbezogene Analyse (Abbildung 29)

Wird gemäss deutschem HBS 2001 für die Querschnittsbetrachtung das harmonische Mittel beider Fahrtrichtungen gebildet, so entsteht das in Abbildung 29 dargestellte Q-V-Diagramm. Analog der Systematik für Hauptstrassen ausserorts wird für die Klassierung der Messstrecke die Fahrtrichtung Basel mit der Steigungsklasse 2 massgebend. Die wesentlichen Erkenntnisse sind:

- Das Geschwindigkeitsniveau liegt nun – bedingt durch die Bildung des harmonischen Mittels – zwischen den beiden Geschwindigkeitsniveaus in Abbildung 28.
- Die höchsten Verkehrsmengen im Querschnitt sind auf Basis der hochgerechneten 6-Minutenwerte mit 3310 Mfz/h, Querschnitt, als effektive stündliche Werte mit rund 2891 Mfz/h, Querschnitt gemessen worden. Auch diese Werte liegen deutlich tiefer bzw. höher als die im HBS 2001 [6] aufgeführten maximalen Querschnittsbelastungen von rund 3000 Mfz/h, Querschnitt (maximal 2x 1500 Mfz/h, Richtung gemäss HBS 2001)

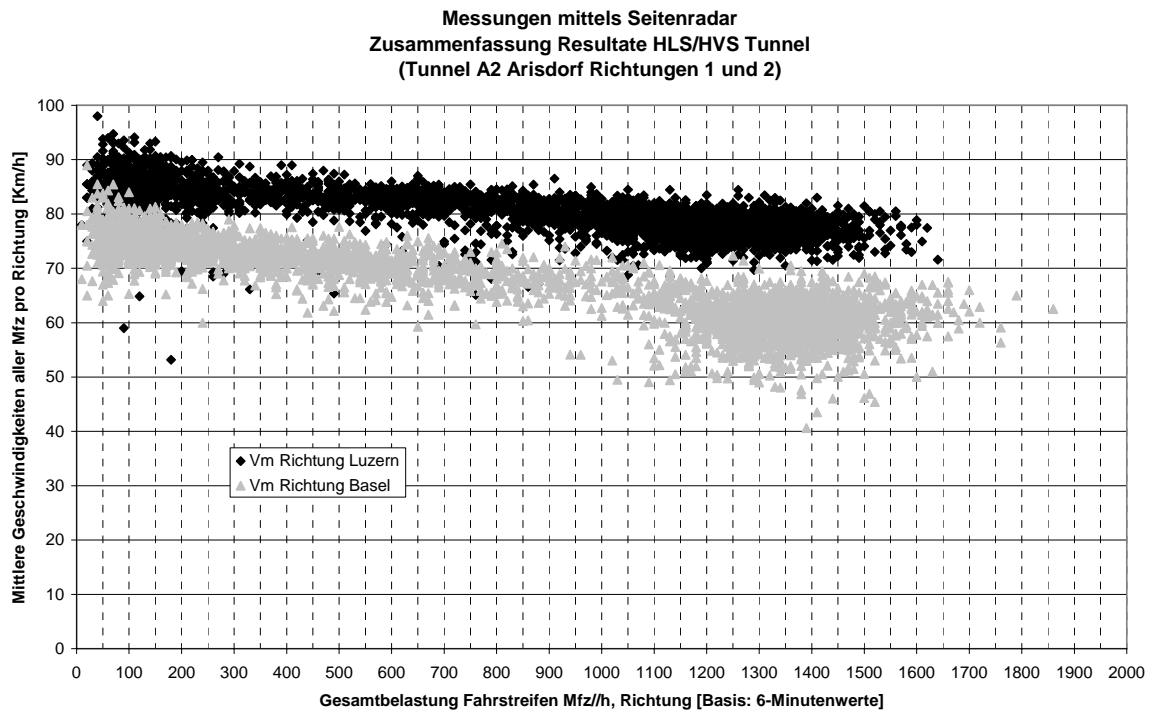


Abbildung 28: Q-V-Diagramme für die jeweilige Fahrtrichtung (schwarz: Fahrtrichtung Luzern im leichten Gefälle; grau: Fahrtrichtung Basel in leichter Steigung)

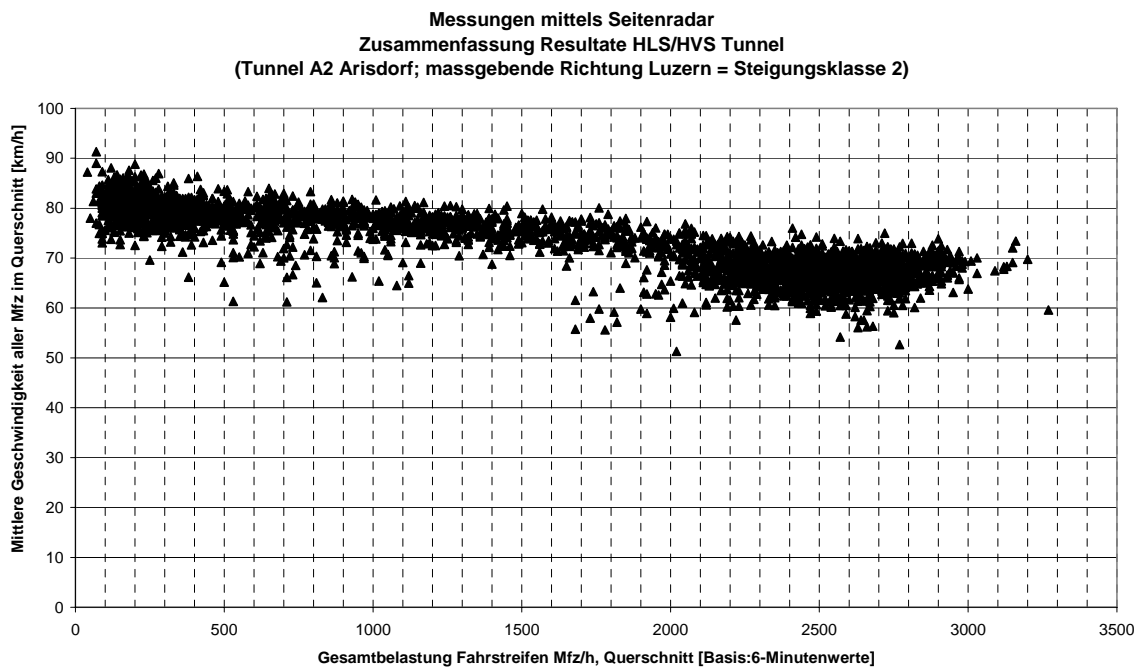


Abbildung 29: Q-V-Diagramm für den Gesamtquerschnitt (nach HBS 2001 [6] mittels harmonischem Mittel beider Richtungen errechnete mittlere Geschwindigkeiten im Querschnitt)

Regressionsgleichungen (Abbildung 30 und Abbildung 31)

Im HBS 2001 [6] werden die Gleichungen im Q-V-Diagramm für Tunnelstrecken jeweils pro Fahrtrichtung angegeben. Die in Abbildung 28 abgebildeten richtungsbezogenen Q-V-Diagramme werden einer Regressionsanalyse mit folgenden Resultaten unterzogen:

- In beiden Fahrtrichtungen bilden mathematische Funktionen mit einem polynomischen Ansatz die beste Beschreibung der Zusammenhänge. Die ermittelte Funktion hat aber über den gesamten Wertebereich jeweils einen „quasilinearen“ Verlauf (siehe Abbildung 30 und Abbildung 31).
- Die Beschreibung mit einem linearen Ansatz liefert jeweils ein ähnlich hohes Bestimmtheitsmass.

Analog zu den zweistreifigen Hochleistungsstrassen (Kap. 6.2.2) ist eine Beschreibung der Q-V-Zusammenhänge in langen Tunnels mittels linearem Ansatz (siehe Abbildung 30 und Abbildung 31) am praktikabelsten.

Diese Feststellungen gelten jedoch nur für die beschriebenen Querschnittsmessungen auf Strecken mit Steigungsklassen 1 und 2 und einem wenig kurvigen, geraden Verlauf. Für diese Ausprägungen dürften gemäss Kap. 2.2 die Resultate der Querschnittsmessungen in etwa ähnlich sein wie streckenbezogene Messungen der (Reise-) Geschwindigkeiten.

Messungen mittels Seitenradar
Zusammenfassung Resultate HLS/HVS Tunnel
(Tunnel A2 Arisdorf Richtung Luzern = Steigungsklasse 1)

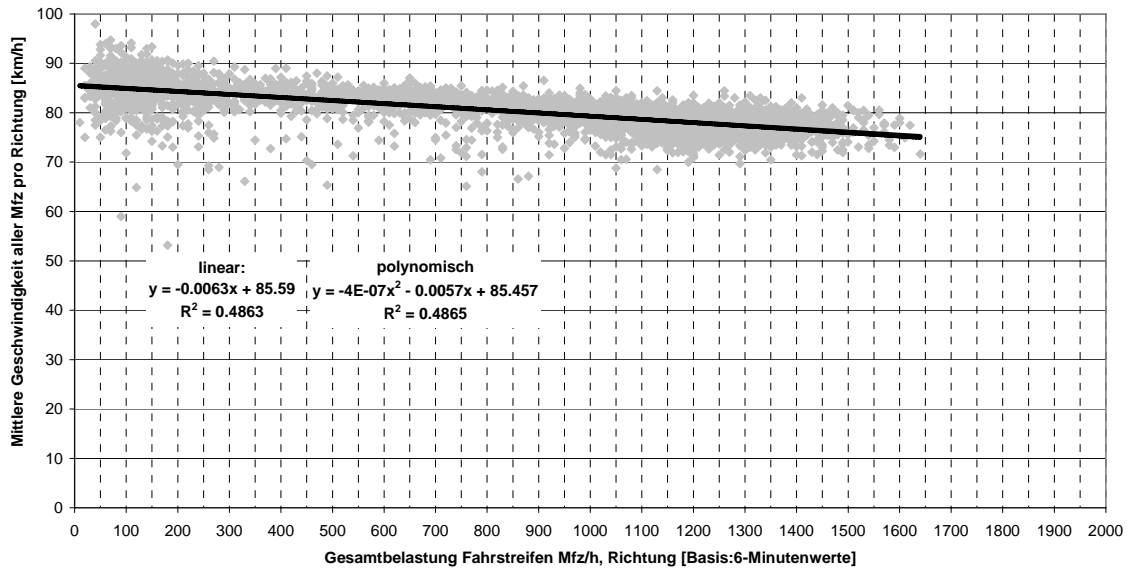


Abbildung 30: Q-V-Diagramm für die Fahrtrichtung Süd (Richtung Luzern) in leichtem Gefälle von 2,7% (Klassierung als Steigungsklasse 1)

Messungen mittels Seitenradar
Zusammenfassung Resultate HLS/HVS Tunnel
(Tunnel A2 Arisdorf Richtung Basel = Steigungsklasse 2)

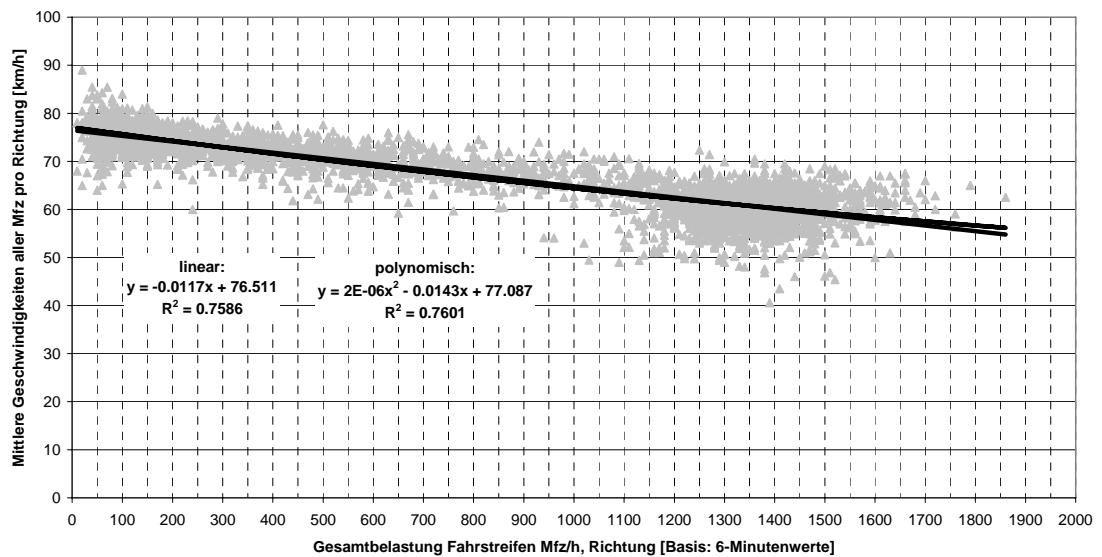


Abbildung 31: Q-V-Diagramm für die Fahrtrichtung Nord (Richtung Basel) mit leichter Steigung von 2,7% (Klassierung als Steigungsklasse 2)

Einfluss Schwerververkehrsanteile (Abbildung 32 bis Abbildung 34)

Eine grobe Klassierung der Messwerte in die Klassen der Schwerververkehrsanteile 0% / 10% und 20% (gemäss HBS 2001 [6]) ergibt folgende Erkenntnisse:

- In beiden Fahrtrichtungen sind in Abbildung 33 und Abbildung 34 optisch kaum Einflüsse des Schwerververkehrsanteils auf die gemessenen Geschwindigkeiten zu erkennen. Lediglich in Fahrtrichtung Basel (mit Steigung der Steigungsklasse 2) sind bei sehr hohen Verkehrsmengen (ab ca. 1100 Mfz/h, Richtung) und einem Schwerververkehrsanteil von 20% leicht niedrigere Geschwindigkeiten wahrnehmbar. Diese resultierenden sehr kleinen Geschwindigkeitsdifferenzen sind jedoch im Rahmen des vorliegenden Forschungsauftrages vernachlässigbar.
- Eine Regressionsanalyse der Messresultate in Abhängigkeit der mittleren Geschwindigkeit aller Mfz pro Richtung und dem Schwerververkehrsanteil (in Abbildung 32, links) ergibt erwartungsgemäss für die Steigungsklasse 1 keinen Einfluss des Schwerververkehrsanteils.
- Für die Steigungsklasse 2 zeichnen die Regressionskurven (in Abbildung 32, rechts) zwar einen Zusammenhang nach, infolge der „Punktwolke“ im Diagramm ist das entsprechende Bestimmtheitsmass sehr klein und die entsprechende Funktion insgesamt zu wenig aussagekräftig.

Die Auswertungen zeigen eine deutliche Übereinstimmung der Messresultate mit den Angaben im deutschen HBS 2001 [6] in Bezug auf den nicht massgebenden Einfluss des Schwerververkehrs auf Tunnelstrecken. Auf Basis der Messungen kann für Tunneln von keinem signifikanten Einfluss des Schwerververkehrs auf die Verkehrsqualität ausgegangen werden.

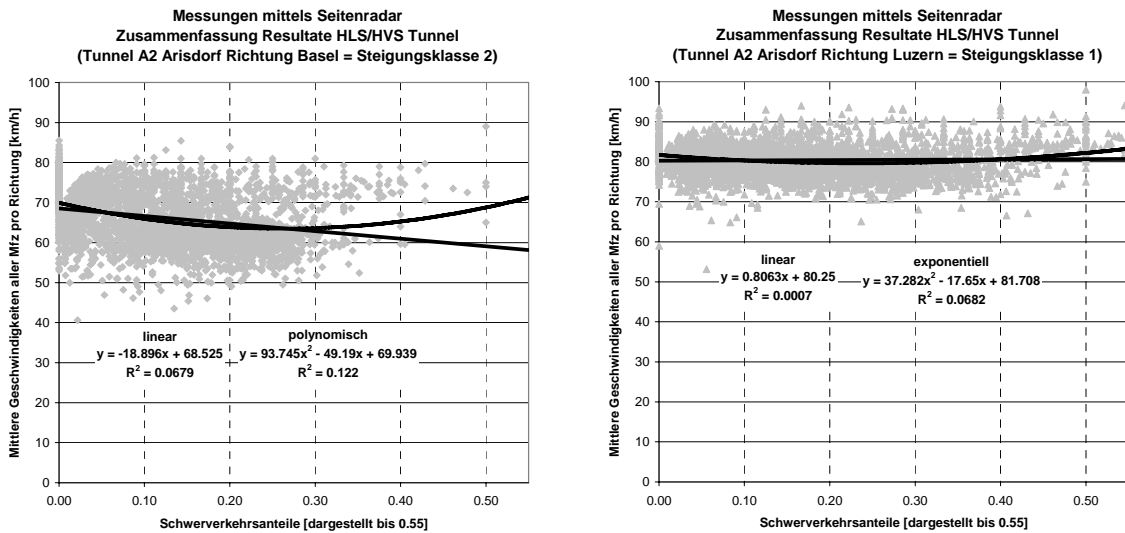


Abbildung 32: Zusammenhang zwischen mittlerer Geschwindigkeit und dem Schwerververkehrsanteil für die Fahrtrichtung Basel (rechts; Steigungsklasse2) und die Fahrtrichtung Luzern (links; Steigungsklasse 1)

Messungen mittels Seitenradar
Zusammenfassung Resultate HLS/HVS Tunnel
(Tunnel A2 Arisdorf Richtung Basel = Steigungsklasse 2)

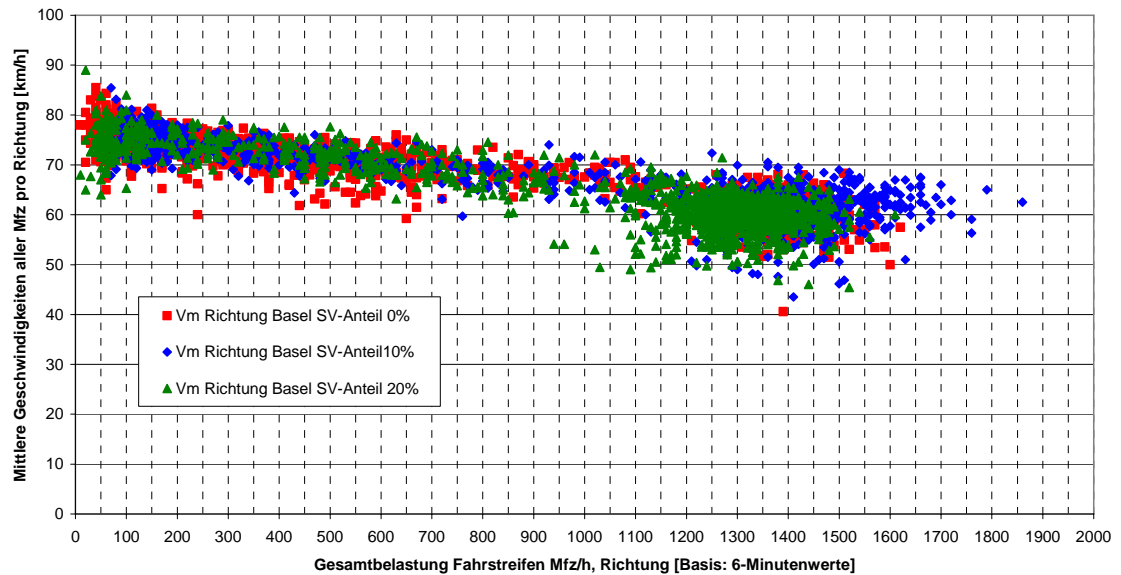


Abbildung 33: Q-V-Diagramm für die Fahrtrichtung Basel (Steigungsklasse 2) in Abhängigkeit des Schwerverkehrsanteils (grobe Unterteilung in 0%/10%/20% analog HBS 2001 [6])

Messungen mittels Seitenradar
Zusammenfassung Resultate HLS/HVS Tunnel
(Tunnel A2 Arisdorf Richtung Luzern = Steigungsklasse 1)

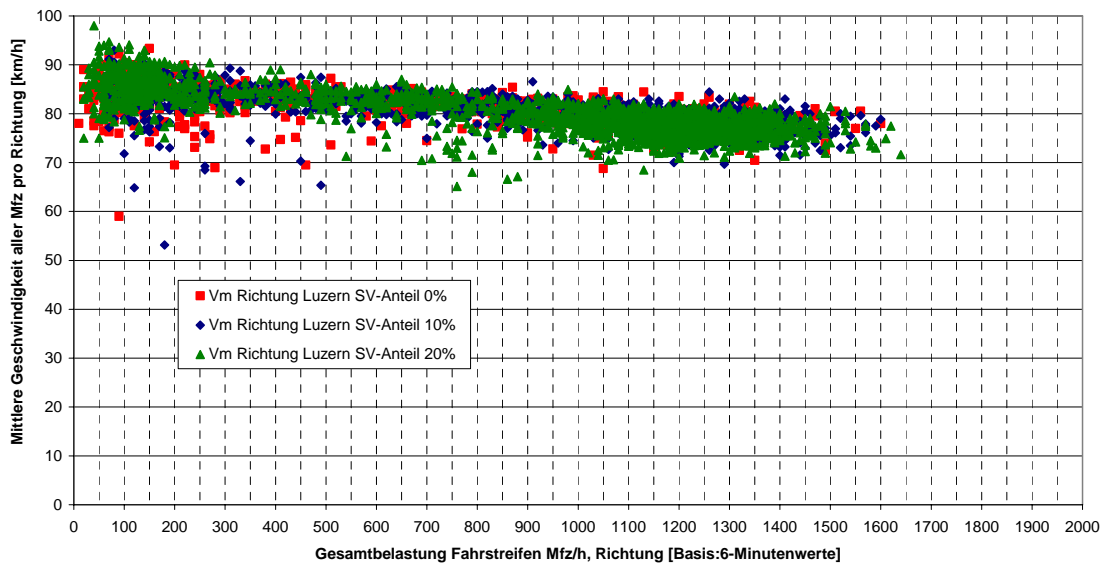


Abbildung 34: Q-V-Diagramm für die Fahrtrichtung Luzern (Steigungsklasse 1) in Abhängigkeit des Schwerverkehrsanteils (grobe Unterteilung in 0%/10%/20% analog HBS 2001 [6])

Einfluss Richtungsanteile (Abbildung 35 und Abbildung 36)

Beim Betrieb des langen Autobahntunnels der A2 im Gegenverkehr

- ohne eine bauliche Trennung der beiden Fahrrichtungen
- in den beengten Verhältnissen in der Tunnelröhre (kein seitlicher Manövrierraum)
- bei teilweise recht hohen Schwerverkehrsanteilen (insbesondere von Sattelschleppern im Transitverkehr)
- dem überdurchschnittlichen Anteil an ortsunkundigen Fahrern (A2 als internationale Transitachse)
- bei den häufigen hohen Verkehrsbelastungen in beiden Fahrrichtungen

stellt sich die Frage, ob die gemessenen Geschwindigkeiten eventuell von der Fahrzeugmenge in der Gegenrichtung abhängig sind. Diese mögliche Abhängigkeit wird in den Diagrammen in Abhängigkeit der mittleren Geschwindigkeit und dem Richtungsanteil der Gegenrichtung wie folgt veranschaulicht:

- Abbildung 35: Mittlere Geschwindigkeit in Fahrtrichtung Basel (Steigungsklasse 2) in Abhängigkeit der Fahrzeugmenge der Gegenrichtung (Fahrtrichtung Luzern, Steigungsklasse 1)
- Abbildung 36: Mittlere Geschwindigkeit in Fahrtrichtung Luzern (Steigungsklasse 1) in Abhängigkeit der Fahrzeugmenge der Gegenrichtung (Fahrtrichtung Basel, Steigungsklasse 2)

Aus den dargestellten Diagrammen können folgende Schlüsse gezogen werden:

- Beide Diagramme zeigen eine „Punktewolke“ mit einem Schwerpunkt bei einem beinahe ausgeglichenen Richtungsanteil
- In Richtung Basel ist kein aussagekräftiger Zusammenhang erkennbar. In Fahrtrichtung Luzern hat die „Punktewolke“ eine beinahe horizontale Ausdehnung, so dass auch hier kein statistisch aussagekräftiger Zusammenhang erkennbar ist.

Offenbar hat die Verkehrsmenge der Gegenrichtung selbst in den beengten Verhältnissen in einem langen Tunnel keinen wesentlichen Einfluss auf die gemessenen Geschwindigkeiten. Diese Feststellung deckt sich mit dem Verfahren nach deutschem HBS 2001 [6].

Schlussfolgerungen

Für lange zweistreifige Tunnels mit geringer Kurvigkeit lassen sich auf Grundlage der vorliegenden Messungen jeweils für die Steigungsklassen 1 und 2 Kennwerte in den Q-V-Diagrammen angeben. Selbst Aussagen zur Leistungsfähigkeit lassen sich mit den vorliegenden Messresultaten herleiten (siehe Kap. 10.3). Bei der Interpretation der Daten muss allerdings beachtet werden, dass die vorliegende Messtrecke

- bezüglich seiner Fahrzeugzusammensetzung (Zugelassene Fahrzeuge auf Autobahnen/Autostrassen mit Mindestgeschwindigkeit $V = 60$ km/h)
- bezüglich den sehr hohen Verkehrsbelastungen an Werktagen

in Hinblick auf Tunnels an „gewöhnlichen“ Hauptstrassen ausserorts eher einen „Extremfall“ darstellt.

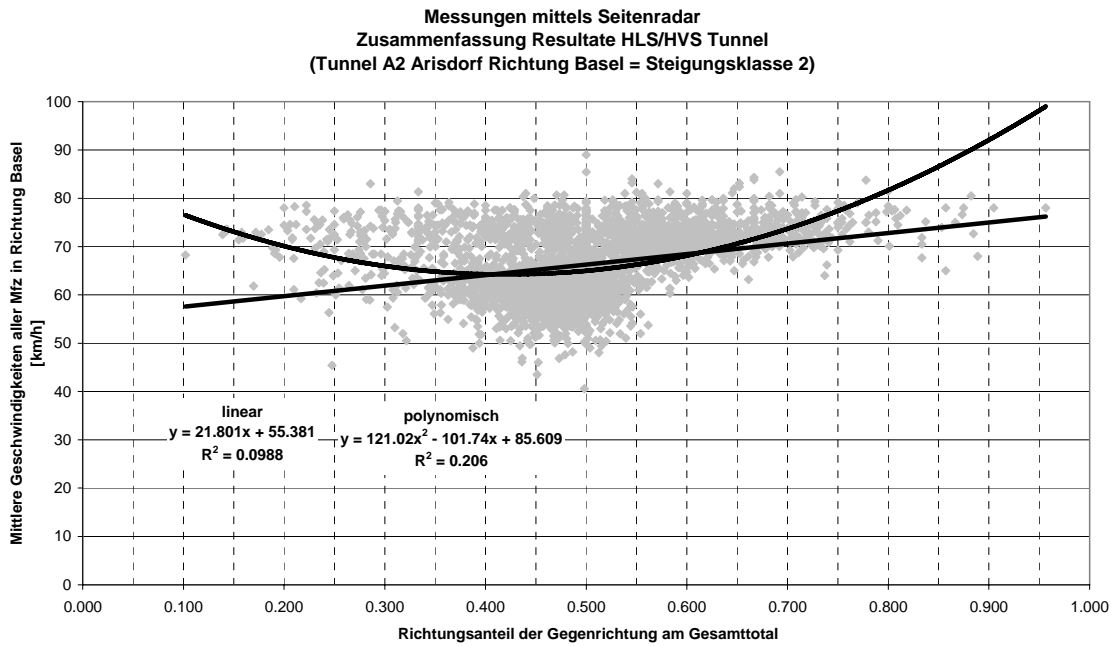


Abbildung 35: Zusammenhang zwischen der mittleren Geschwindigkeit in Fahrtrichtung Basel und dem Anteil der Gegenrichtung an der Gesamtbelastung im Tunnel

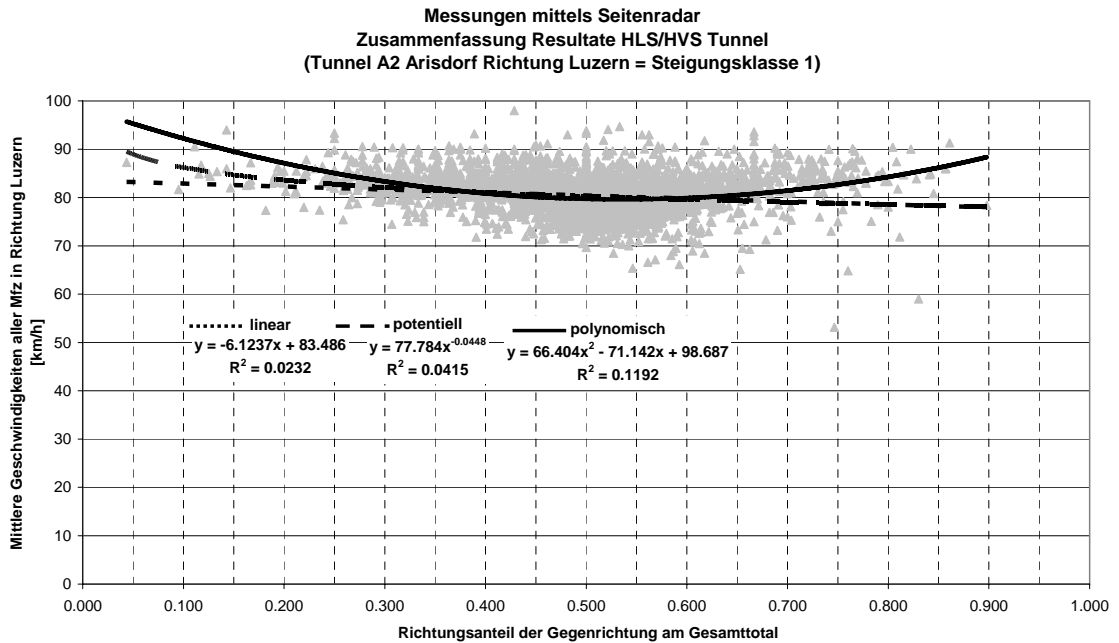


Abbildung 36: Zusammenhang zwischen der mittleren Geschwindigkeit in Fahrtrichtung Luzern und dem Anteil der Gegenrichtung an der Gesamtbelastung im Tunnel

7 AUFBAU / KALIBRATION SIMULATIONSMODELL

7.1 Einleitung

Gemäss Kap. 1.3 ist im vorliegenden Forschungsauftrag ein pragmatisches Vorgehen notwendig, dass sich stark auf die Anwendung von Simulationsmodellen abstützen soll. Gemäss dem Arbeitspaket 2 (Kap. 1.4) wird das Simulationsmodell mit dem Simulationsprogramm VISSIM™ der Firma PTV in Karlsruhe erstellt und die Steuerungsgrössen – sofern diese nicht durch aktuelle Schweizer Forschungsergebnisse (siehe Kap. 2) ersetzt werden können – durch im Programm VISSIM empfohlene Default-Werte übernommen.

Das Simulationsmodell muss in den gegebenen Modellgrenzen kalibriert und validiert werden (siehe Arbeitspaket 2.2, Kap. 1.4), d.h. die empirischen Daten müssen durch das Simulationsmodell in statistisch äquivalenter Weise erzeugt werden können. Anschliessend kann das Simulationsmodell für weitere „Strasstypen“ verwendet werden (Arbeitspaket 2.3, Kap. 1.4).

7.2 Prinzipieller Aufbau Simulationsmodell

Vor- und Nachlaufstrecken

Die Abbildung 37 zeigt schematisch den Aufbau der Simulationsstrecke Wehntalerstrasse. Die eigentliche GPS-Messstrecke wird in ihrem Streckenverlauf und den Steigungsverhältnissen nachgebildet und pro Fahrtrichtung mit einer Vorlauf- und Nachlaufstrecke ergänzt. Die Kapazitäten sind in den Vorlauf- und Nachlaufstrecken nicht begrenzt, damit sich keine Rückwirkungen auf die Messstrecke selber ergeben.

Nachbildung der Strecken

Die Nachbildung der Strecke muss dabei nicht minutiös erfolgen. Wichtig ist die Einhaltung der Kennwerte der wesentlichen Einflussgrössen Steigungsklasse und Kurvigkeit. Einzelne für die Simulation über die Gesamtstrecke nicht wesentliche Elemente wie beispielsweise Fussgängerquerungen, untergeordnete Knoten mit Erschliessungswegen oder Grundstückszufahrten werden weggelassen.

Um die für den Verkehrsfluss bei mittleren bis hohen Verkehrsmengen massgebende Pulkbildung sowie die sich daraus ergebenden Dehnungs- und Stauchungseffekte des Fahrzeugpulk (vor allem bei Geschwindigkeitswechsel) abbilden zu können, sind gemäss Kap. 6.1 längere Simulationsstrecken abgebildet worden.

Verkehrsverhältnisse

Die Verkehrsverhältnisse werden wie folgt im Modell berücksichtigt:

- Kap. 7.4: Gleiche Geschwindigkeitsverteilung und Fahrzeugmischung der PW und LW für ebene und gerade Strecken auf Grundlage der Messung Wehntalerstrasse
- Kap. 7.5: Nachbildung der steigungsabhängigen Fahrgeschwindigkeiten der Lastwagen (soweit dies notwendig wird)
- Kap. 7.6: Einbau der Geschwindigkeitswahl der Fahrzeugklassen in den Kurven und in Gefällstrecken mittels so genannter „Langsamfahrtbereiche“ anhand der „typisierten“ Fahrtverläufe der GPS-Messfahrten

Im Simulationsmodell nicht abgebildet werden **Überholvorgänge**. Diese spielen in den untersuchten Hochleistungsstrassen ohne bauliche Richtungstrennung (HLS 2x1) sowie in langen Tunnels wegen des üblichen Überholverbots keine Rolle. Für die Hauptverkehrsstrassen (HVS) ausserorts gilt:

- Gemäss [10] sind Überholmöglichkeiten ab ca. 300-400 Mfz/h im Gegenverkehr bereits stark eingeschränkt.
- Der Anteil des Schwerverkehrs hat auf ebenen und geraden Strecken keinen signifikanten Einfluss auf die mittleren Geschwindigkeiten (Abbildung 16, Abbildung 17).
- Massgebend für die Überholmöglichkeiten sind vorhandene Überholsichtweiten, welche wiederum stark von den räumlichen Gegebenheiten abhängen und in Abhängigkeit der Kurvigkeit und der Steigungsklasse schwierig zu normieren sind.
- Die einzelnen Streckenabschnitte ausserorts sind vor allem im dicht besiedelten Mittelland meist nicht sehr lang, so dass das Überholbedürfnis auch bei gegebenen Überholbedingungen nur teilweise so gross ist, dass daraus auch tatsächlich Überholvorgänge resultieren (siehe Verkehrsbeobachtungen in Kap. 6.1).
- Die Nachbildung der Überholvorgänge mit dem Simulationsprogramm VISSIM ist theoretisch möglich, aber sehr zeitaufwendig.

Die Auswirkungen von möglichen Überholvorgängen auf die mittlere Reisegeschwindigkeit aller Motorfahrzeuge sind somit vor allem auf geraden Strecken bei geringen Verkehrsmengen (unter 600 – 1000 Mfz/h, Querschnitt), d.h. im Bereich des freien Verkehrsflusses zu erwarten. Der mögliche Erkenntnisgewinn bei einer entsprechenden Berücksichtigung in der Simulation steht aber in einem schlechten Verhältnis zum grossen Simulationsaufwand, welcher im Rahmen des vorliegenden Forschungsprojekts nicht zu leisten ist.

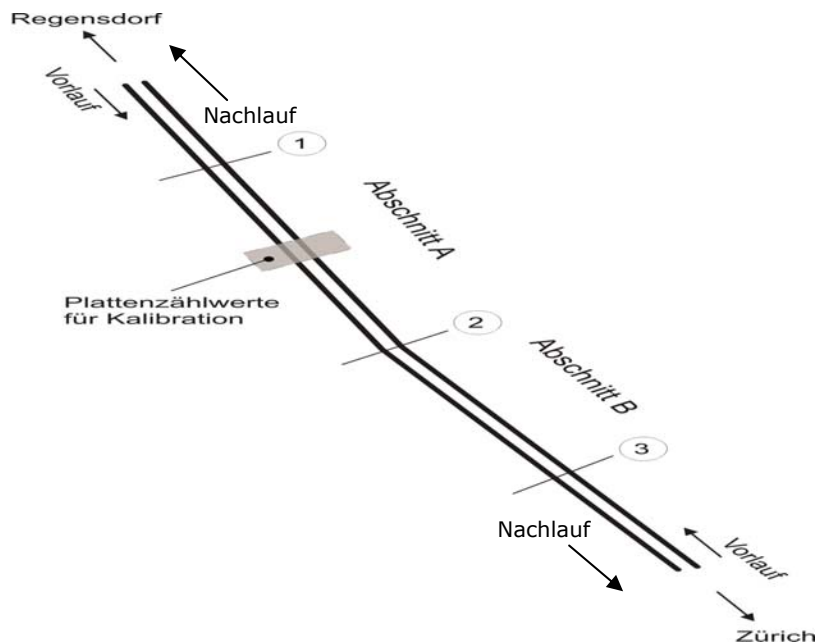


Abbildung 37: Schematische Ansicht des Aufbaus einer Simulationsstrecke (Beispiel: Wehntalerstrasse mit Lage der Querschnittsmessung), mit Vorlauf- und Nachlaufstrecken sowie mit optionaler Unterteilung in beliebige Abschnitte

7.3 Auswertung der GPS-Messfahrten

Mit den vier ausgewerteten GPS-Messstrecken (Kap. 6.1, Tabelle 4) können alle vier im deutschen HBS 2001 [6] definierten Kurvigkeitsklassen abgedeckt werden. Mit der GPS-Messstrecke H18 Umfahrung Aesch kann zudem der Typ HLS 1x1 ohne bauliche Richtungstrennung berücksichtigt werden.

Für den vorliegenden Forschungsauftrag werden die jeweiligen Messwerte in Weg-Geschwindigkeitsdiagrammen pro Fahrtrichtung separat ausgewertet (siehe Abbildung 38 und Abbildung 39). Die Messfahrten mit jeweils „ähnlichen“ Fahrtverläufen sind dabei jeweils für die in Kap. 6.1 beschriebenen typisierten Fahrtverläufe zusammengefasst worden. Die entsprechenden resultierenden Fahrtverläufe sind für die ausgewerteten Messstrecken – nach Fahrtrichtung getrennt – in den ANHÄNGEN 6 bis 10 aufgeführt.

Wie die Abbildung 38 für die typisierten Fahrtverläufe auf geraden und ebenen Strecken (Messstrecke Wehntalerstrasse) zeigt, ist der Geschwindigkeitsverlauf kaum durch Einflüsse der horizontalen Linienführung (Kurven, Kurvenkombinationen) beeinflusst, dafür stark von der vorherrschenden Verkehrssituation (Kolonnenbildung) oder der Anzahl vergleichsweise „langsam fahrender“ Fahrzeuge.

Auf Strecken mit deutlichem Einfluss der horizontalen Linienführung wie im Beispiel der Messstrecke Staffelegg (siehe Abbildung 39) resultieren erwartungsgemäss bezüglich Geschwindigkeitswahl bzw. möglichen Geschwindigkeiten deutliche Unterschiede zwischen den Fahrzeugklassen. Die Geschwindigkeiten aller Fahrzeuge werden dabei massgeblich durch die Kurven bzw. der Kurvenfolge bestimmt.

Die auftretenden Geschwindigkeitsdifferenzen zwischen den geraden Strecken und den Kurvenbereichen sind für die Fahrtverläufe der PW allerdings vergleichsweise deutlich grösser als diejenigen des Schwerverkehrs. Deren Geschwindigkeiten differieren auf den Steigungen (Nordrampe, links der Passmarkierung in Abbildung 39) bzw. den Gefällstrecken (Südrampe, rechts der Passmarkierung in Abbildung 39) weniger stark.

Streckenabschnitte mit Tunnels bzw. ungenügendem GPS-Empfang sind in den Weg-Geschwindigkeitsdiagrammen gut sichtbar, können somit klar begrenzt und separat ausgewertet werden. Auf diesen Strecken wird jeweils die mittlere Reisegeschwindigkeit zwischen den letzten Messpunkt vor und dem ersten Messpunkt nach der „Datenlücke“ ermittelt und diese so als Kalibrationsgrösse im Simulationsmodell für diesen Abschnitt hinterlegt.

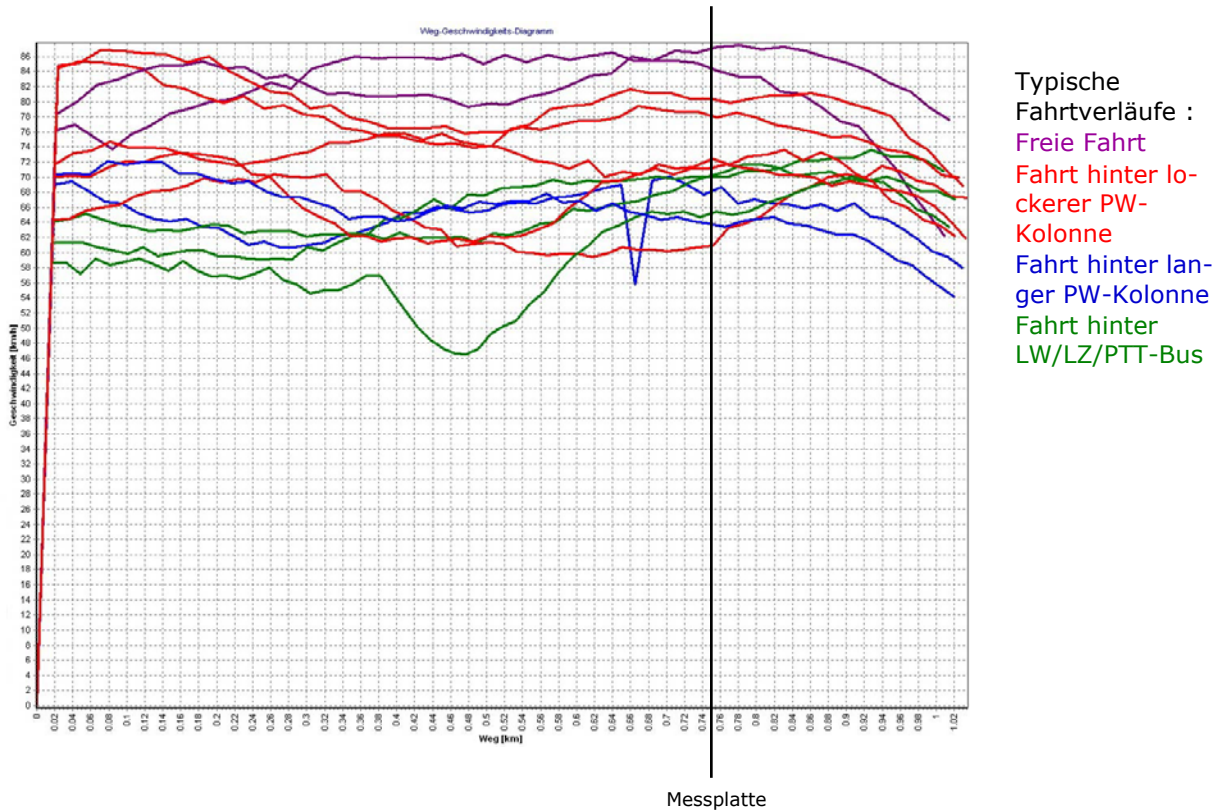


Abbildung 38: Auswertung der GPS-Messungen mit typischen Fahrtriläufen auf der Messstrecke Wehntalerstrasse in Fahrtrichtung Regensdorf; bezeichnet ist zudem der Standort der Querschnittsmessungen mittels Messplatten

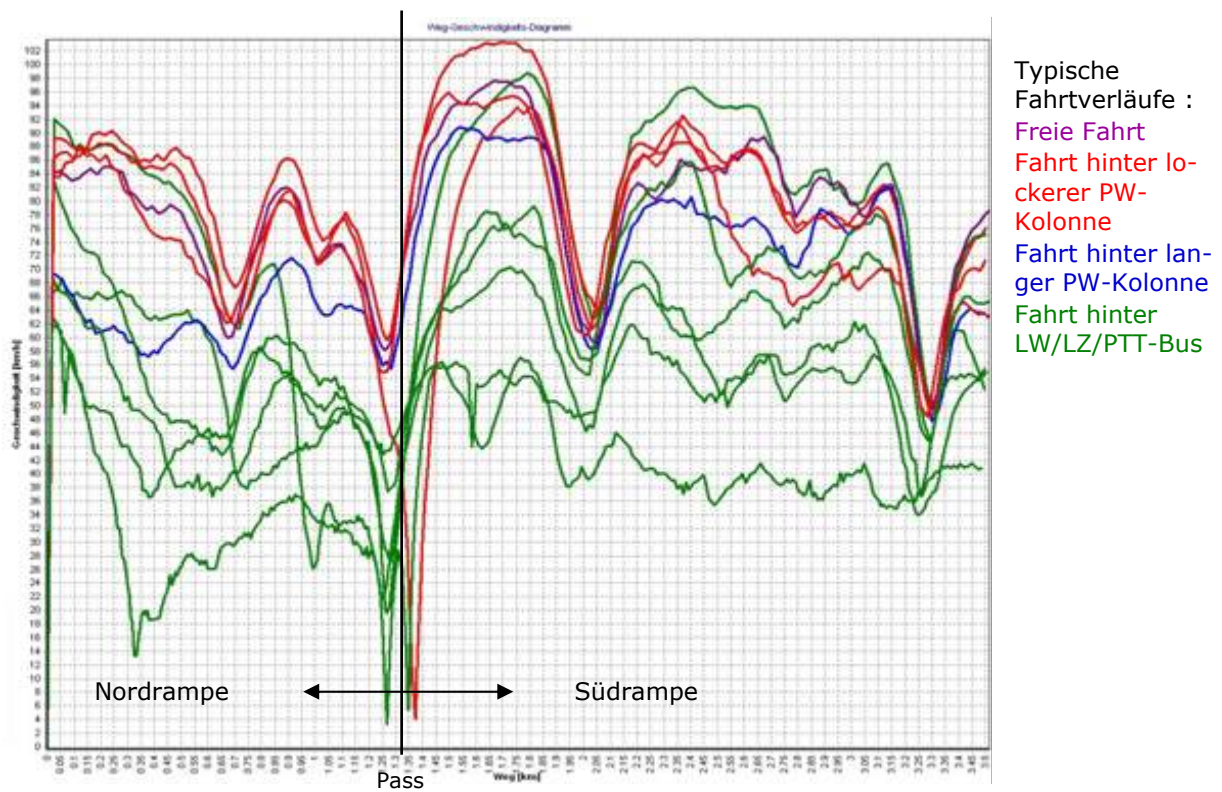


Abbildung 39: Auswertung der GPS-Messungen mit typischen Fahrtriläufen auf der Messstrecke Staffelegg in Fahrtrichtung Aarau; bezeichnet ist zudem die Lage des Passes

7.4 Kalibration auf ebenen/geraden Strecken

Wie die GPS-Auswertungen in Kap. 7.3 zeigen, sind die Fahrgeschwindigkeiten auf ebenen und geraden Strecken nur wenig von der horizontalen und vertikalen Linienführung der Strecke sowie den fahrzeugseitigen Begrenzungen (z.B. Motorisierung), sondern im hohen Masse von der „individuellen Geschwindigkeitswahl“ der Fahrzeuglenker abhängig.

Um diese „ Mischung“ an Verhaltensweisen der Fahrzeuglenker im Simulationsmodell abbilden zu können, werden verschiedene „Modell-PW“ und „Modell-LW“ definiert und jeweils einzelnen Klassen der Geschwindigkeitsverteilung für PW oder LW zugeordnet (siehe Abbildung 40). Da die für die Personenwagen gemessenen Fahrtverläufe deutlicher voneinander abweichen (siehe Kap. 7.3) als beim Schwerverkehr, ist für die PW eine feinere Unterteilung der „Modellfahrzeuge“ vorgesehen als für den Schwerverkehr.

Die Geschwindigkeitsverteilungen der Personenwagen und des Schwerverkehrs werden mit den Messwerten der Querschnittsmessung auf der Wehntalerstrasse beschrieben. Hierzu werden diejenigen Messwerte herausgefiltert, welche bei einer Verkehrsmenge von bis zu 200 Mfz/h, und Richtung gemessen worden sind. Innerhalb dieser sehr schwachen Verkehrsbelastungen kann von einem weitgehend „freien Verkehrsfluss“, d.h. von in der Mehrzahl nicht durch andere Fahrzeuge verfälschten Fahrtverläufe entlang der Messtrecke ausgegangen werden.

Die Auswertungen der entsprechenden Messwerte auf der Wehntalerstrasse für PW ist im ANHANG 11 und in der Abbildung 40 dargestellt. Zur Beschreibung der individuellen Geschwindigkeitswahl der PW-Lenker („Wunschgeschwindigkeit“ im Simulationsmodell) werden diese anhand der Klassierung in Abbildung 40 in 10 unterschiedliche „Modell-PW“ unterteilt.

Der Fahrtverlauf des Schwerverkehrs ist diejenige „Fahrzeugmischung“ massgebend, welche die auf den Steigungsstrecken ermittelten Geschwindigkeitswerte am besten abzubilden vermag. Diese „Modell-LW“ werden in drei Klassen mittels ihrer „spezifischen Leistung“ [kW/t] im Simulationsmodell definiert (siehe Kap. 7.5).

Die „Modellfahrzeuge“ werden nun in der Modellkalibration den in den GPS-Messungen ermittelten Fahrtverläufen zugeordnet, so dass

- die aus der Simulation auf der Simulationstrecke Wehntalerstrasse gewonnenen Messwerte sowohl bezogen auf die gesamte Messtrecke als auch im Bereich der Querschnittsmessung im Bereich der effektiven Messwerte liegen (siehe Abbildung 41 für die mittleren Geschwindigkeiten).
- diese Übereinstimmung bezüglich der relevanten Kennwerte der Geschwindigkeitsverteilung V_M (siehe Abbildung 41), $V_{85\%}$ und $V_{15\%}$ (siehe ANHANG 11) hergestellt werden kann

Mit der (im ANHANG 11 dargestellten) optimalen Fahrzeugmischung aus „Modell-PW“ und „Modell-LW“ ergibt sich die in Abbildung 41 (und im ANHANG 11) dargestellte gute Übereinstimmung der Messwerte aus der Simulation mit den effektiven Messwerten.

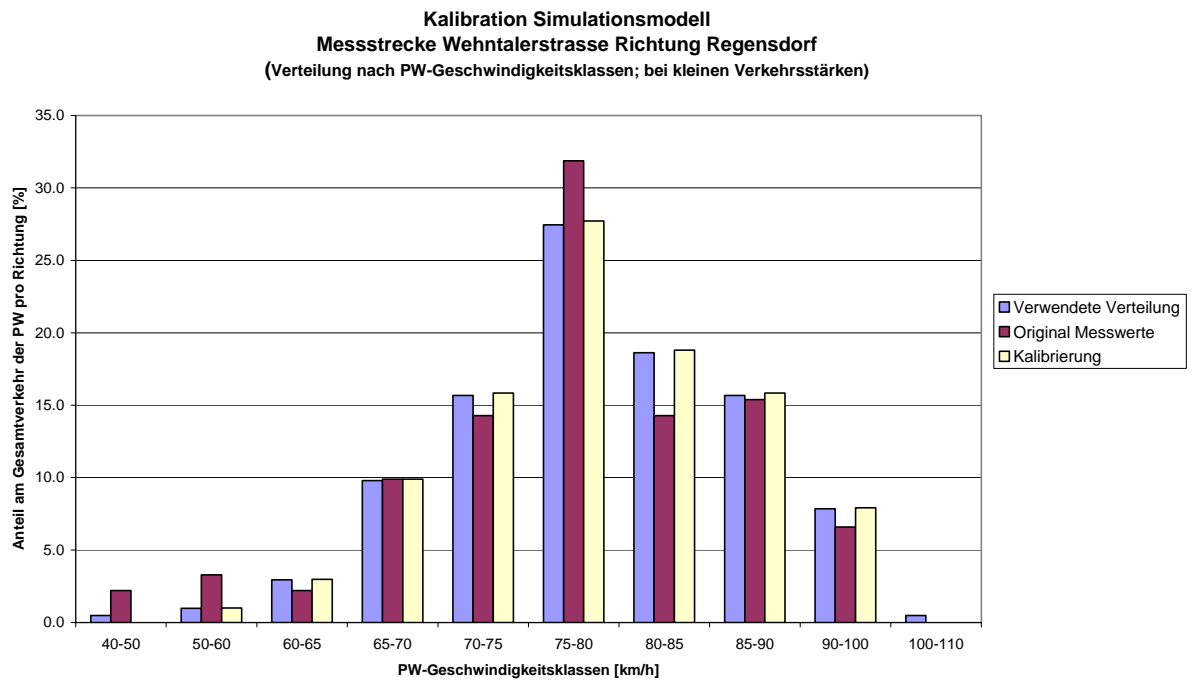


Abbildung 40: Verteilung der PW-Geschwindigkeiten auf der Messstrecke Wehntalerstrasse in Richtung Regensdorf (rot), in der Kalibrierung Wehntalerstrasse (gelb) sowie auf den übrigen simulierten Strecken (blau)

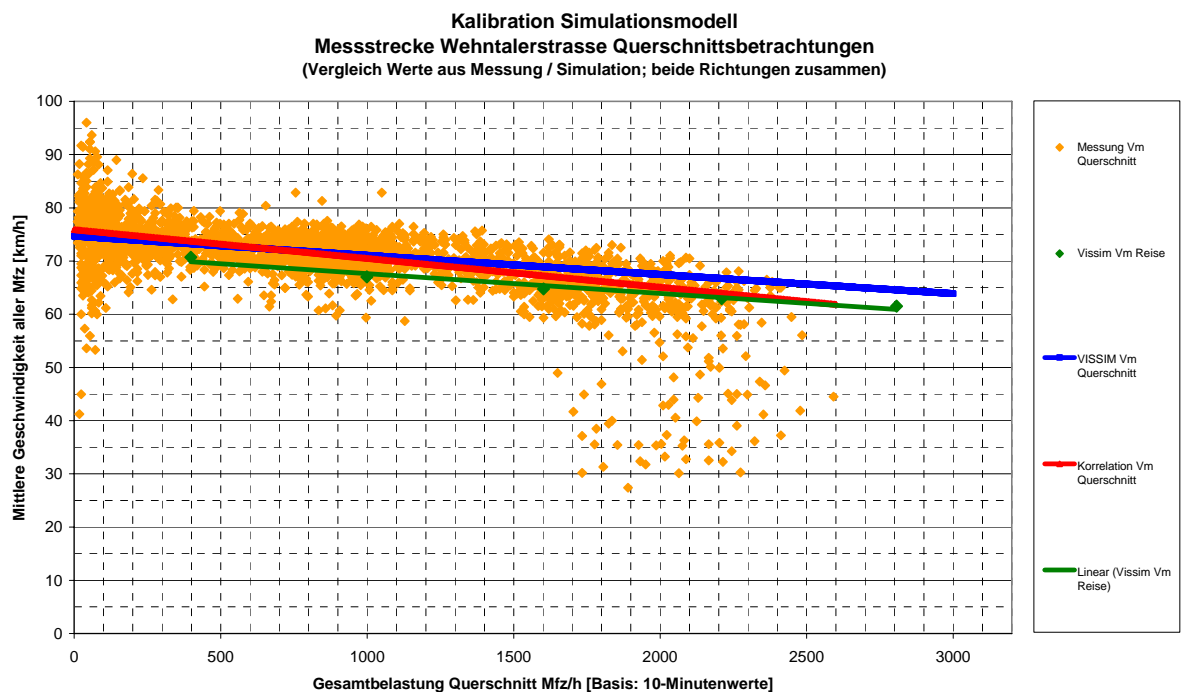


Abbildung 41: Kalibration der Simulationsstrecke Wehntalerstrasse für die mittleren Geschwindigkeiten aller Motorfahrzeuge (gelb/rot = gemessene Werte am Querschnitt; blau: querschnittsbezogene Werte aus Simulation; grün = streckenbezogene Werte aus Simulation)

7.5 Kalibration auf Steigungsstrecken

Wie die Auswertungen der GPS-Messfahrten in Kap. 7.3 zeigen, haben Steigungen / Gefälle einen sehr grossen Einfluss auf die Fahrtverläufe des Schwerverkehrs, aber in weit geringerem Masse auf die Personenwagen. Für das zu etablierende Simulationsmodell ist somit eine möglichst realitätsnahe Abbildung der Fahrtverläufe der Fahrzeugkategorie „Lastwagen“ in Funktion der Steigungsklasse sehr wichtig. Zudem lassen auch die im FA 20/98 [10] dargestellten Differenzen zu deutschen Angaben eine Anpassung der Default-Einstellungen im Simulationsmodell ratsam erscheinen. Dabei sind nicht nur die langsam fahrenden Lastwagen (entsprechen ungefähr dem Bemessungslastwagen gemäss den VSS-Normen/HBS 2001), sondern auch schneller fahrende „Modell-LW“ wie z.B. Reisecars oder Lastwagen auf Leerfahrt mit zu berücksichtigen.

Für die Modellierung des PW-Fahrverhaltens in Steigungen stehen im Simulationsprogramm VISSIM nur wenige Modellparameter zur Verfügung, so dass das PW-Fahrverhalten auf Steigungsstrecken allein mittels streckenspezifischen Parametern (z.B. Wunschgeschwindigkeiten, Langsamfahrtbereiche) modelliert werden muss (siehe Kap. 7.5). Dies gilt generell auch für das Fahrverhalten von PW und LW auf Gefällestrecken.

Bei Fahrzeugen des Schwerverkehrs können mehr fahrzeugspezifische Eigenheiten eingegeben werden. Im FA 20/98 (siehe Kap. 2.3.2) stehen für HVS ausserorts hierzu Resultate von Querschnittsmessungen an unterschiedlich geneigten Strecken (Kennwerte $V_{5\%}$, $V_{15\%}$, $V_{50\%}$, $V_{85\%}$, $V_{95\%}$, V_M) sowie das Steigungsverhalten eines Schweizer Bemessungslastwagens zur Verfügung.

Um auf der 1,225km langen Simulationsstrecke Wehntalerstrasse das richtige Steigungsverhalten des Schwerverkehrs simulieren zu können, werden

- in Funktion des Schweizer Bemessungslastwagens (siehe Abbildung 42) die massgebenden Längsneigungen der Simulationsstrecke Wehntalerstrasse pro Steigungsklasse bestimmt (mit den Steigungsklassen zugeordneten Geschwindigkeitsbereichen gemäss HBS 2001 [6]).
- die gemessene Geschwindigkeitsverteilung der Fahrzeuge mit einer Länge $\geq 6.5\text{m}$ auf der Messstrecke Wehntalerstrasse ausgewertet (analog Abbildung 40 für PW).
- dabei drei Klassen für „Modell-LW“ zur Abdeckung der obigen drei massgebenden Kennwerte der Geschwindigkeitsverteilung $V_{15\%}$, $V_{50\%}$, $V_{85\%}$ gebildet (LW-Modelle „LW15“, „LW50“ und „LW85“, siehe ANHANG 11). Auf eine weitere Verfeinerung wird verzichtet.
- die Resultate aus dem FA 20/98 [10] (siehe Kap. 2.3.2) für die jeweils korrespondierende massgebende Längsneigung als Vergleichswert für die Kalibration übernommen (Vergleichswerte $V_{15\%}$, $V_{50\%}$, $V_{85\%}$, siehe Tabelle 8)
- in mehreren Iterationsschritten die massgebenden Inputgrössen für das Simulationsmodell VISSIM (Leistung, Gewicht und Wunschgeschwindigkeiten) der Lastwagen soweit verändert, bis die jeweiligen drei „Modell-LW“ die pro Längsneigung vorgegebenen Geschwindigkeitsbereiche aus dem FA 20/98 in etwa erreichen.

Mit der optimalen LW-Mischung von 15% der Klasse LW15, von 55% der Klasse LW50 und 30% der Klasse LW85 können die auf der Messstrecke Wehntalerstrasse erhobene Geschwindigkeitsverteilung der LW am Besten abgebildet werden.

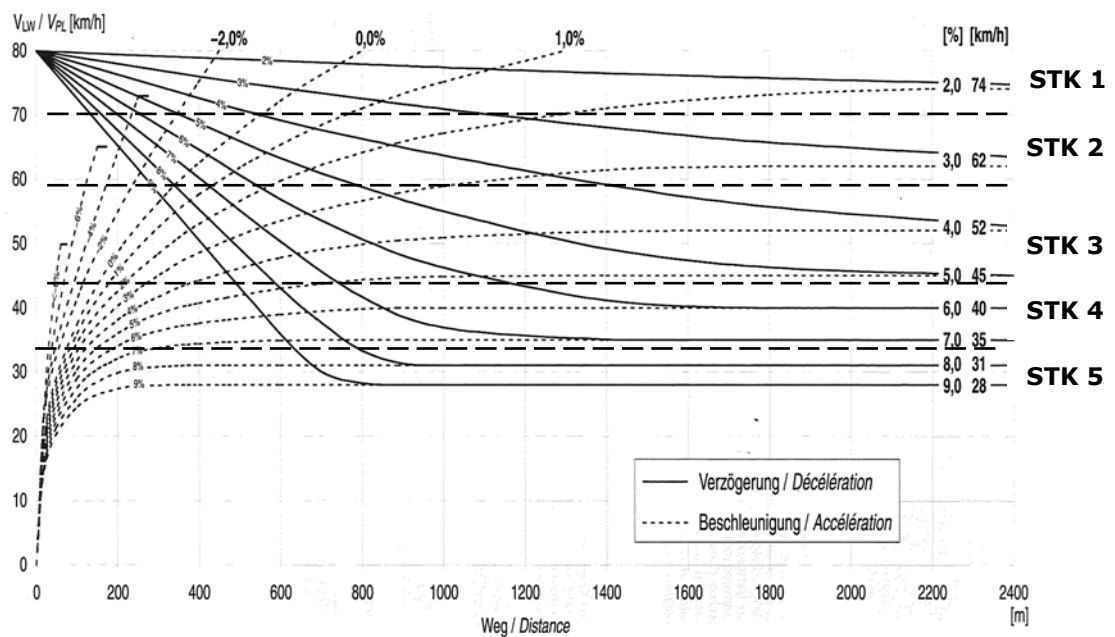


Abbildung 42: Geschwindigkeiten von langsamen Lastwagen in Längsneigungen aus der VSS-Norm 640 138b [7] (in etwa durch „Modell-LW“ der Klasse LW15 repräsentiert) mit der Zuordnung zu den Steigungsklassen (STK) 1-5 gemäss deutschem HBS 2001 [6]

	Steigungs- klasse 2	Steigungs- klasse 3	Steigungs- klasse 4	Steigungs- klasse 5
Massgebende Steigung bez. auf Messstrecke Wehntalerstrasse	5%	7%	8%	9%
Massgebender Messquerschnitt auf Messstrecken FA 20/98 [10]	Trimbach – Hauenstein nach 440m	Pfäffikon- Schindeleggi nach 980m	Umiken - Unterbözberg nach 457m	Densbüren- Staffelegg nach 876m
$V_{15\%}$	46	41	43	29.5 - 30.5
$V_{50\%}$	55	55	59	41 - 44.5
V_M	56	53.3	58.2	42.6 - 44.3
$V_{85\%}$	64	65	72	55 - 57

Tabelle 8: Messresultate zur Dauergeschwindigkeit V_D in Funktion der massgebenden Perzentile $V_{15\%}$, $V_{50\%}$ und $V_{85\%}$ bzw. dem Mittelwert der Geschwindigkeitsverteilung V_M von Lastwagen auf HVS ausserorts aus dem VSS-FA 20/98 [10]

7.6 Kalibration auf kurvigen / steigungsreichen Strecken

Neben der Definition und Kalibration von „Modell-PW“ und „Modell-LW“ für ebene/gerade Strecken (Kap. 7.4) sowie für Steigungsstrecken (Kap. 7.5) ist eine Kalibration der Fahrtverläufe in Kurven und Kurvenkombinationen notwendig.

Wie Abbildung 43 und Abbildung 44 aufzeigen, stehen für jedes Fahrzeugmodell typisierte „Fahrtverläufe“ aus den GPS-Analysen für die jeweiligen Simulationsstrecken zur Verfügung. Hierzu können die jeweiligen Mittelwerte aus den GPS-Fahrten (GPS-Mittelwert) oder zur Beurteilung des „Streubereichs“ die einzelnen zugeordneten Messfahrten (siehe Abbildung 43) zugeschaltet werden.

Die im Simulationsmodell berechneten Fahrtverläufe werden als Einzelfahrten (VISSIM-Fahrten in Abbildung 44) oder als Mittelwert mehrerer Simulationsdurchläufe (VISSIM-Mittelwert in Abbildung 44) mit dem VS-GPS Analyser™ den GPS-Messungen überlagert.

Mittels optischem Vergleich der gemessenen und simulierten Fahrverläufe werden für jede Fahrzeugmodell-Klasse Teilstrecken mit bestimmten Geschwindigkeitsbereichen (so genannte Langsamfahrtbereiche) definiert. Mittels mehrerer Iterationsschritte werden die Ausdehnung und der Geschwindigkeitsbereich je Langsamfahrtbereich ermittelt.

Mit dieser Vorgehensweise werden die Fahrtverläufe in grossen Kurven (z.B. in Abbildung 44 bei Distanz 2000m), in Kurvenkombinationen (z.B. in Abbildung 43 im Distanzbereich 2000-3000m) sowie in Gefällstrecken in etwa den Messungen entsprechend abgebildet.

Als zusätzliches Qualitätsmass werden die Durchfahrtszeiten auf der Simulationsstrecke (Reisezeiten VISSIM) mit der gemessenen Reisezeiten aus der GPS-Analyse (siehe Tabelle 5 in Kap. 6.1) verglichen.

Zur optischen Überprüfung des Simulationsmodells bei unterschiedlichen Verkehrsverhältnissen werden nun

- unterschiedliche Verkehrsmengen an PW und LW pro Fahrtrichtung
- unterschiedliche Schwerverkehrsanteile (Anteil „Modell-LW“ am Gesamtverkehr)

ins Simulationsmodell eingegeben. Einzig die ermittelte optimale „PW-Mischung“ (d.h. die anteile langsam fahrender PW) sowie die optimale „LW-Mischung“ (d.h. die Anzahl langsam fahrender LW) werden als feste Grössen beibehalten.

Die Simulationsdurchläufe unter grösseren Verkehrsmengen zeigen nun beispielsweise den typischen „Harmonikaeffekt“ einer fahrenden Kolonne, in welcher die Geschwindigkeitswechsel der einzelnen Fahrzeuge in Abhängigkeit ihrer jeweiligen Modellparameter entsprechend vorgenommen werden.

Wie die Abbildung 43 und die Abbildung 44 zeigen, kann mit dieser im Forschungsauftrag postulierten „pragmatischen Vorgehensweise auf Basis vorhandener Forschungs- und Messresultate“ eine möglichst realitätsnahe Abbildung des Verkehrsablaufs auf den Hauptverkehrsstrassen ausserorts modelliert werden.

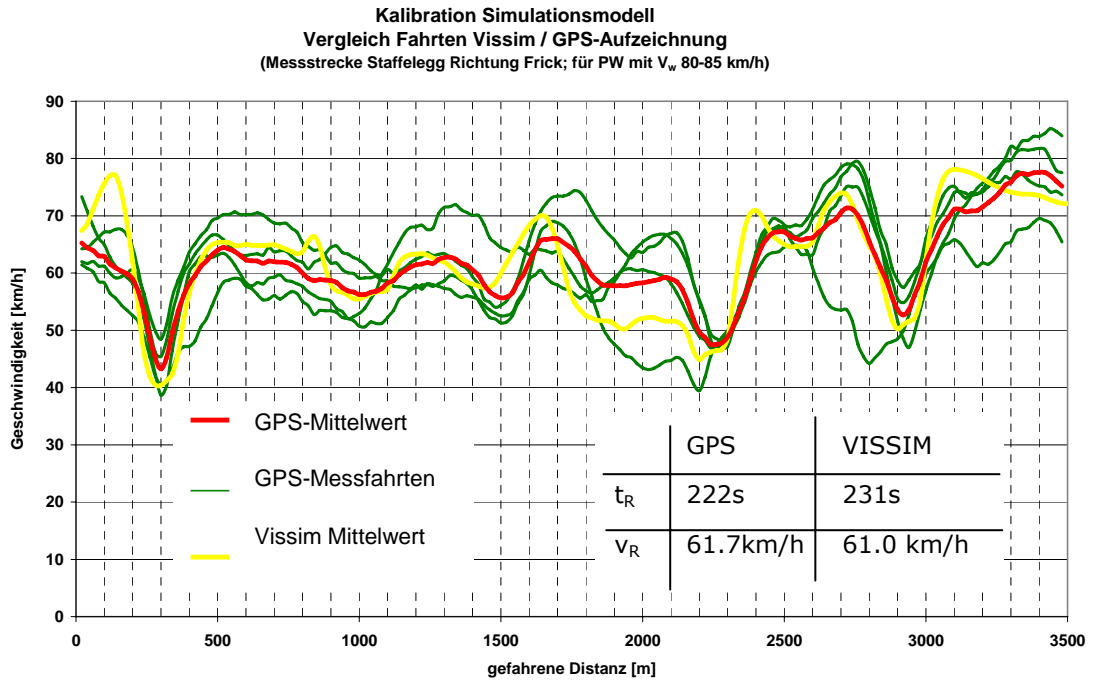


Abbildung 43: Beispiel für die Kalibration des Simulationsmodells für die Messstrecke Staffelegg in Fahrtrichtung Frick für einen schnell fahrenden Personenwagen (Wunschgeschwindigkeit auf HVS eben/gerade gemäss Abbildung 40 von 80-85 km/h) sowie Vergleich seiner Reisezeiten (t_R) bzw. Reisegeschwindigkeiten (V_R) über die Gesamtstrecke aus der GPS-Analyse (GPS) und der Simulation (VISSIM)

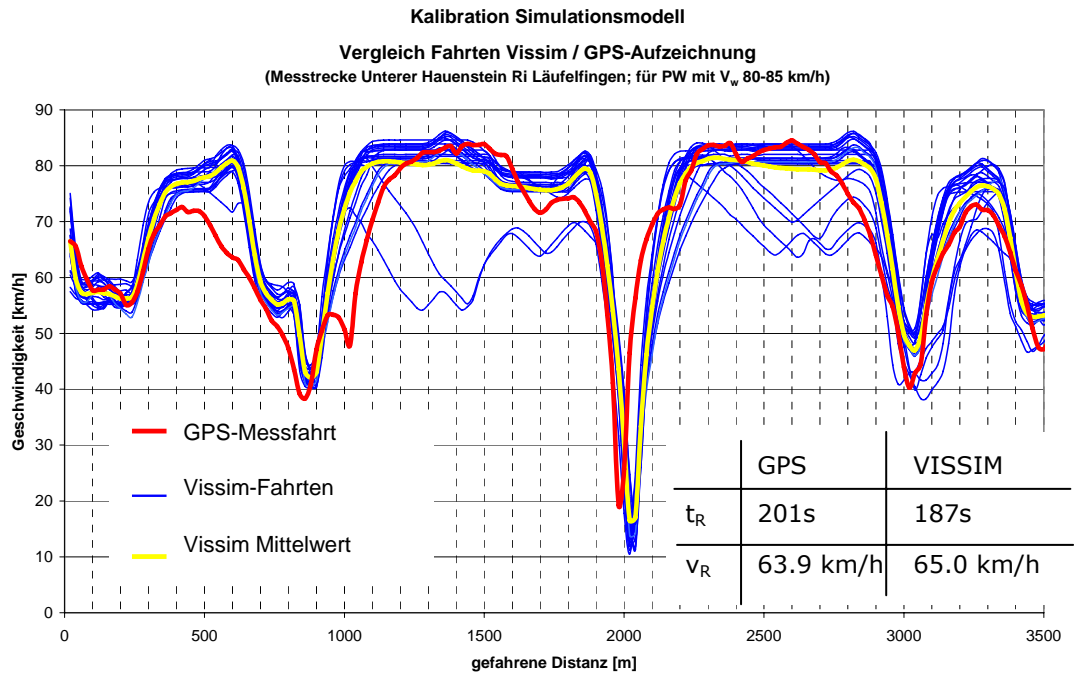


Abbildung 44: Beispiel für die Kalibration des Simulationsmodells für die Messstrecke Unterer Hauenstein in Fahrtrichtung Läuelfingen für einen schnell fahrenden Personenwagen (Wunschgeschwindigkeit auf HVS eben/gerade gemäss Abbildung 40 von 80-85km/h) sowie Vergleich seiner Reisezeiten (t_R) bzw. Reisegeschwindigkeiten (V_R) über die Gesamtstrecke aus der GPS-Analyse (GPS) und der Simulation (VISSIM)

8 ERGEBNISSE SIMULATIONEN

8.1 Hauptverkehrsstrassen ausserorts

8.1.1 Simulationen der Verkehrsabläufe

Auf Grundlage der vier kalibrierten Simulationsstrecken werden in den Arbeitspaketen AP 2.3 und 2.4 (Kap. 1.4) mittels Simulation des Verkehrsablaufs die Kennwerte für das Q-V-Diagramm für die jeweils fünf Steigungsklassen ermittelt.

Die möglichen Ausprägungen von Strecken einer Kurvigkeitsklasse in Funktion der entsprechenden Steigungsverhältnisse werden im Modell mittels „steil stellen“ oder „flach stellen“ der Simulationsstrecken nachgebildet. Die nachfolgende Übersicht verdeutlicht dieses Vorgehen:

Kurvigkeit [gon/km]	Steigungs- klasse 1	Steigungs- klasse 2	Steigungs- klasse 3	Steigungs- klasse 4	Steigungs- klasse 5
0 – 75	Wehntaler- strasse		„steil stellen“		→
75 – 150	Axenstrasse (Teilstr. Nord)		„steil stellen“		→
150 – 250	← „flach stellen“			Staffelegg „steil stellen“ (Südrampe)	→
≥ 250	← „flach stellen“		Hauenstein Südrampe	„steil stellen“	→

Tabelle 9: Adaptierung der vier kalibrierten Simulationsstrecken zur Anpassung an die unterschiedlichen Merkmale „Steigungsklasse“

Die Verkehrsbedingungen werden wie folgt berücksichtigt:

- Die Anzahl Motorfahrzeuge pro Fahrtrichtung wird nach einem Simulationsdurchgang um jeweils 100 Mfz erhöht.
- Der Richtungsanteil bleibt mit 50% immer konstant, der Schwerverkehrsanteil wird anhand der drei Klassen (0%, 10% und 20%) für die simulierte Stunde fix vorgegeben.

Die Simulation wird pro definierte Verkehrsmenge jeweils für eine Stunde durchgeführt. Zur Erzielung einer grösseren Ausbeute von Messwerten in der Simulation werden die Kennwerte pro 10-Minuten-Intervallen aufgezeichnet und auf Stundenwerte hochgerechnet. Aufzeichnungen in kleineren Intervallen (z.B. 5-Minuten-Intervalle) scheiden aus, da die Durchfahrten von langsamen Fahrzeugen (z.B. auf Strecken mit hoher Steigungsklasse) über die gesamten Simulationsstrecken grössere Zeitintervalle bei der Auswertung erfordern.

8.1.2 Ergebnisse der Simulationen

Die Auswertung der Simulationen erfolgt mit den Kennwerten des Q-V-Diagramms:

- Reisegeschwindigkeit V_R aller Mfz in km/h über die Simulationsstrecke
- Verkehrsbelastung aller Mfz im Querschnitt (d.h. in beiden Fahrtrichtungen) als hochgerechneter Stundenwert

In den Simulationen konnten folgende generellen Erkenntnisse gewonnen werden:

Hohe Verkehrsbelastungen

Die Verkehrsmengen auf den Simulationsstrecken konnten – mit Ausnahme der Simulationsstrecke mit einer sehr hohen Kurvigkeit – über die in den Querschnittsmessungen ermittelten höchsten Verkehrsbelastungen von rund 1400 – 1600 Mfz/h, Richtung erhöht werden, ohne dass der Verkehrsfluss instabil wird und die entsprechenden Geschwindigkeits-Messwerte erkennbar abfallen (instabile Bereiche des Verkehrsflusses).

Die Simulationen werden somit bei einer Verkehrsbelastung im Querschnitt von 3200 Mfz/h abgebrochen. Diese Verkehrsmenge entspricht dem doppelten Wert der im Arisdorftunnel A2 gemessenen höchsten effektiven stündlichen Verkehrsbelastung von rund 1600 Mfz/h und Richtung (siehe Kap. 6.2.3).

Bei einer abgestuften Erhöhung der Verkehrsmengen zu Beginn einer Simulationsstrecke ab ca. 1200 Mfz/h, Richtung kommen nicht mehr alle der zusätzlichen Fahrzeuge innerhalb der Auswertungs-Intervalls von 10 Minuten durch. Ein entsprechender „Rückstau“ im Zulaufbereich der Simulationsstrecken ist die Folge. Die Verkehrsmengen auf den Simulationsstrecken erhöhen sich gegenüber der Inputgrösse im Zulaufbereich unterproportional. Rückstaus auf den Simulationsstrecken selber treten nicht auf.

Das Simulationsmodell bildet somit die auf zweistreifigen Strassen – insbesondere bei sehr hohen Verkehrsbelastungen mit Kolonnenverkehren – für die Leistungsfähigkeit massgebende „Abstandseinstellung“ der Fahrzeugführer oder die Einwirkungen der in Kap. 6.1 beschriebenen „modellexternen“ Einwirkungen ungenügend ab. Entsprechende Erkenntnisse zum Abstandsverhalten aus Schweizer Untersuchungen zum Einbau in das Simulationsmodell fehlen hierzu.

Im Forschungsbericht zur Erarbeitung der Q-V-Diagramme für deutsche Hauptverkehrsstrassen ausserorts [8] (Grundlage für Verfahren im HBS 2001) sind exakt dieselben Erkenntnisse aufgeführt. Auch dort konnten Übergänge zu instabilen Verkehrsflüssen in den Simulationen nicht, bzw. nur mittels „künstlicher Engpässe“ erzeugt werden.

Die Werte der Leistungsfähigkeiten können somit nicht direkt aus den Simulationsergebnissen bestimmt werden (siehe Kap. 10.3).

Schwankungen der Schwerverkehrsanteile

Im Bereich dieser hohen Verkehrsmengen (ab ca. 1200 Mfz/h) treten Situationen auf, in welchen der Schwerverkehrsanteil infolge der zufallsabhängigen Verteilung der Lastwagenfahrten innerhalb einer simulierten Stunde stark variiert. Einzelne 10-Minuten-Intervalle werden – bei einer Inputgrösse des Lastwagenanteils von 20% (pro Stunde) dabei von wenigen Lastwagen befahren. Die entsprechenden Messwerte der Reisegeschwindigkeiten gleichen für diese Intervalle den Messwerten bei einer Inputgrösse 0% Schwerverkehrsanteil. Bei der Auswertung der Q-V-Diagramme in Funktion des Schwerverkehrsanteils ergibt dieses Phänomen einen entsprechend „nach oben“ gebogenen Verlauf der Regressionsgeraden.

Dieser Effekt muss bei der Erstellung der Regressionen für Schwerverkehrsanteile von 20% im Q-V-Diagramm berücksichtigt werden und die entsprechenden Funktionen korrigiert werden.

Kurvigkeit 0-75 gon / km Steigungsklassen 1-5

Zur Beschreibung der Zusammenhänge zwischen Verkehrsstärke und Reisegeschwindigkeiten in den Q-V-Diagrammen erweisen sich in den Regressionen polynomische Funktionen mit einem konvexen Verlauf als geeignet. Dabei nehmen diese insbesondere auf Strecken der Steigungsklassen 1 und 2 quasilineare Formen an.

Diese „flachen“ Verläufe entsprechen den Erkenntnissen aus den Querschnittsmessungen (Kap. 6.2). Der leicht konvexe Verlauf resultiert durch die innerhalb der Messtrecke auftretenden kleinen Geschwindigkeitsänderungen der Fahrzeuge (siehe Abbildung 32).

Während für die Steigungsklassen 1 und 2 kaum Unterschiede im Kurvenverlauf durch die Schwerverkehrsanteile von 0-20% auftreten, so kommt diese Einflussgrösse auf Strecken ab der Steigungsklasse 3 zum Tragen. In Anbetracht der sehr grossen Vielfalt an Ausprägungen von Hauptverkehrsstrassen ausserorts ist für Strecken in den Steigungsklassen 1 und 2 eine Unterscheidung der Funktionen nach Schwerverkehrsanteilen nicht sinnvoll.

Die Kurven bei einem Schwerverkehrsanteil von 20% ist in den Diagrammen der Steigungsklassen 3, 4 und 5 der einleitend beschriebene Effekt der Schwankungen der effektiv simulierten Schwerverkehrsanteile / 10 Minuten zu berücksichtigen und diese entsprechend zu korrigieren.

Die simulierten Messpunkte im Bereich ab 2500 Mfz/h, Querschnitt oder ab 1400 Mfz/h, Richtung sind durch die Querschnittsmessungen (Kap. 6.2) und die ausgewertete Fachliteratur (Kap. 2) nicht gesichert. Dieser Wertebereich ist vermutlich unplausibel.

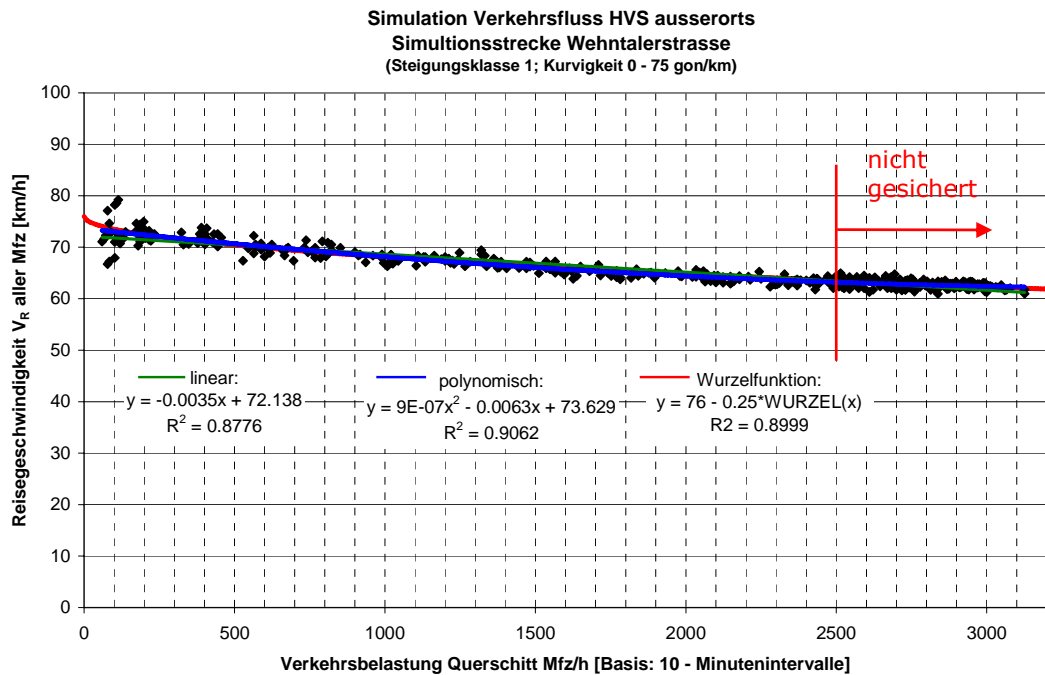


Abbildung 45: Regressionen für das Q-V-Diagramm für HVS ausserorts mit Steigungsklasse 1 und Kurvigkeit 0 - 75 gon/km

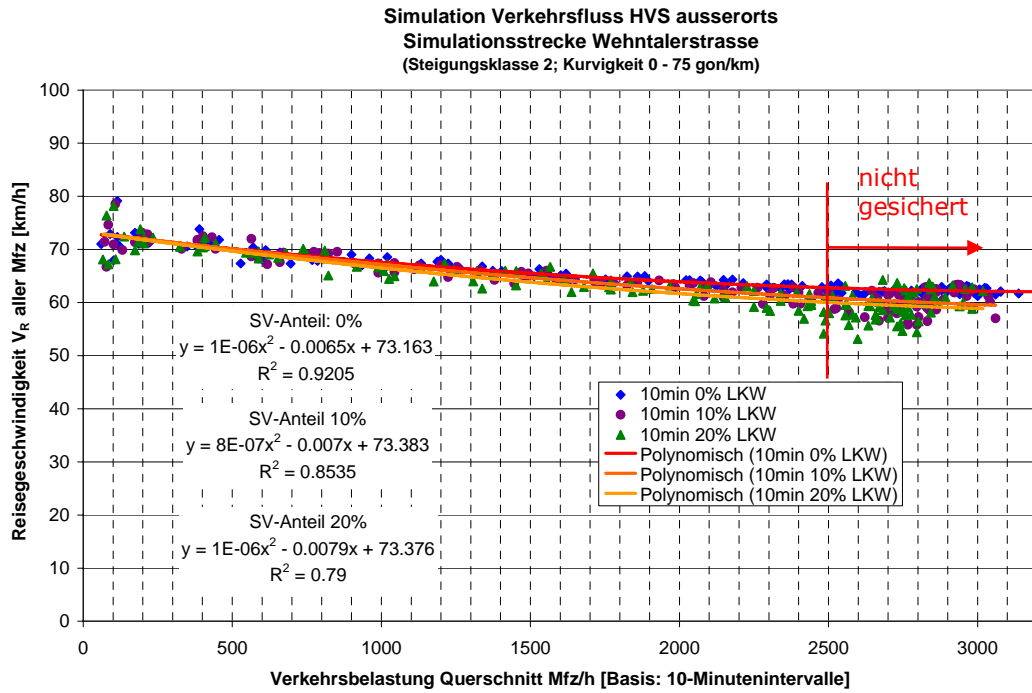


Abbildung 46: Regressionen für das Q-V-Diagramm für HVS ausserorts mit Steigungsklasse 2 und Kurvigkeit 0 - 75 gon/km

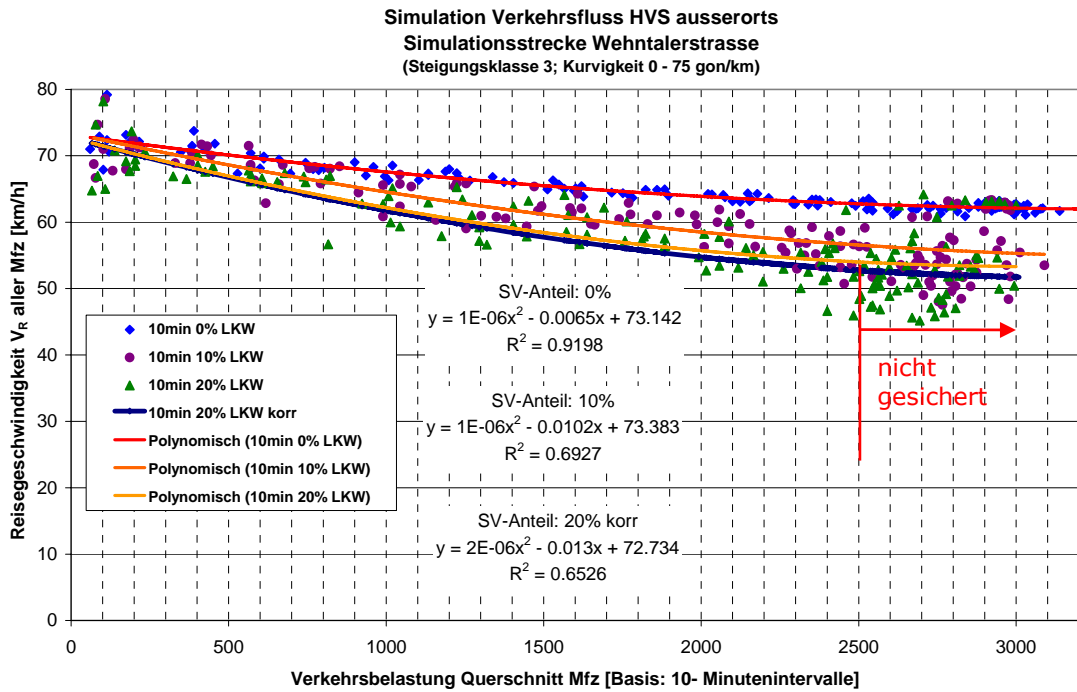


Abbildung 47: Regressionen für das Q-V-Diagramm für HVS ausserorts mit Steigungsklasse 3 und Kurvigkeit 0 -75 gon/km

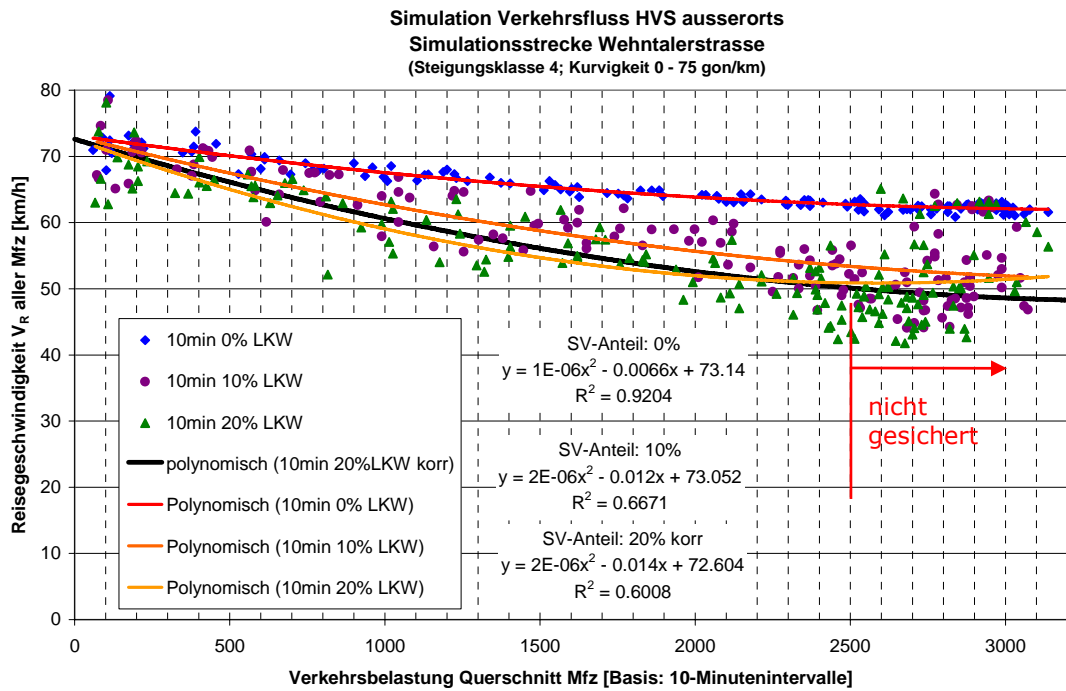


Abbildung 48: Regressionen für das Q-V-Diagramm für HVS ausserorts mit Steigungsklasse 4 und Kurvigkeit 0 - 75 gon/km

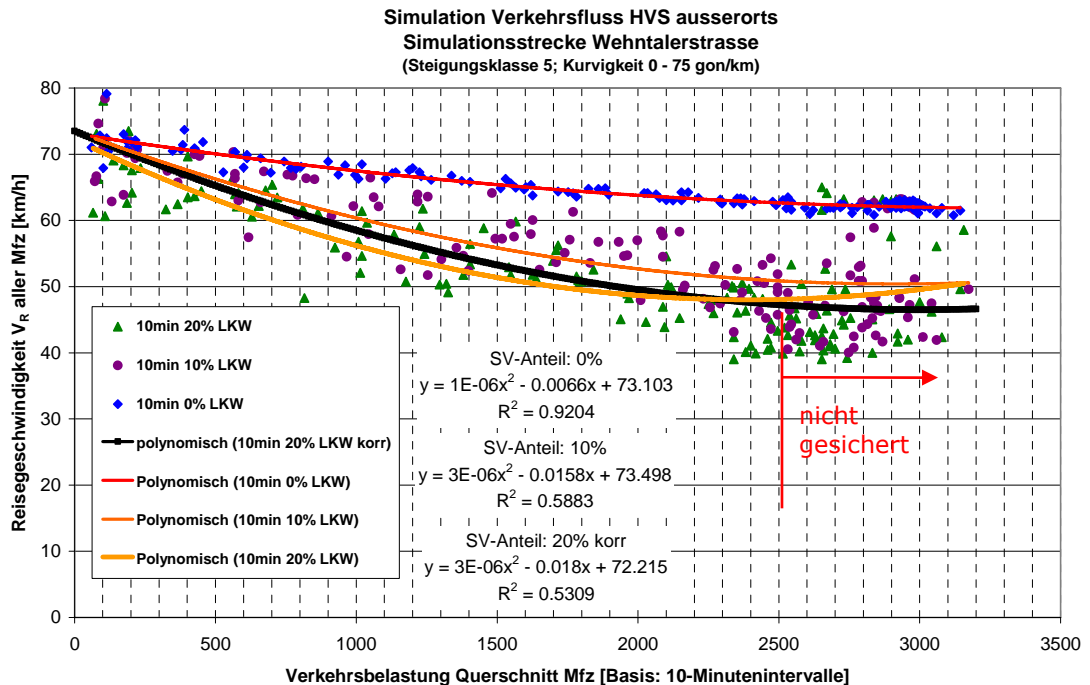


Abbildung 49: Regressionen für das Q-V-Diagramm für HVS ausserorts mit Steigungsklasse 5 und Kurvigkeit 0 - 75 gon/km

Kurvigkeit 75-150 gon/km Steigungsklassen 1-5

Basis für die Simulation von „leicht kurvigen“ Strecken mit einer Kurvigkeit von 75-150 gon/km bildet die Kalibration der Simulationsstrecke Axenstrasse.

Zur Beschreibung der Zusammenhänge zwischen Verkehrsstärken und Reisegeschwindigkeit in den Q-V-Diagrammen erweisen sich wiederum Regressionen mit polynomischen Funktionen und konvexem Verlauf als geeignet. Alternativ geprüfte lineare Funktionen in den Steigungsklassen 1 und 2 ergaben keine wesentlich besseren mathematischen Beschreibungen der Zusammenhänge.

Die Kurven der Steigungsklassen 1 und 2 sind wiederum sehr flach („quasilinear“) und zeigen keine wesentlichen Abhängigkeiten vom Schwerververkehrsanteil auf. Hier ist eine Unterscheidung nach Schwerverkehrsanteilen wiederum nicht sinnvoll.

Der Schwerverkehrsanteil macht sich erst ab der Steigungsklasse 3 durch die spezifischen Beschleunigungs- und Verzögerungsvorgänge der Lastwagen bei den Kurvendurchfahrten in Steigungen bemerkbar. In den Steigungsklassen 4 und 5 tritt dieser Einfluss sehr deutlich zu Tage. Der Verlauf der Kurven mit 20% Schwerverkehrsanteil muss in der Steigungsklasse 4 wiederum korrigiert werden.

Der Einfluss der Kurvigkeit auf die Reisegeschwindigkeiten der Personenwagen gegenüber den „geraden“ Strecken ist minimal und im Bereich hoher Verkehrsbelastungen unerheblich.

Analog den „geraden“ Strecken ist der Wertebereich über 2500 Mfz/h, Querschnitt oder 1400 Mfz/h, Richtung als nicht gesichert zu betrachten.

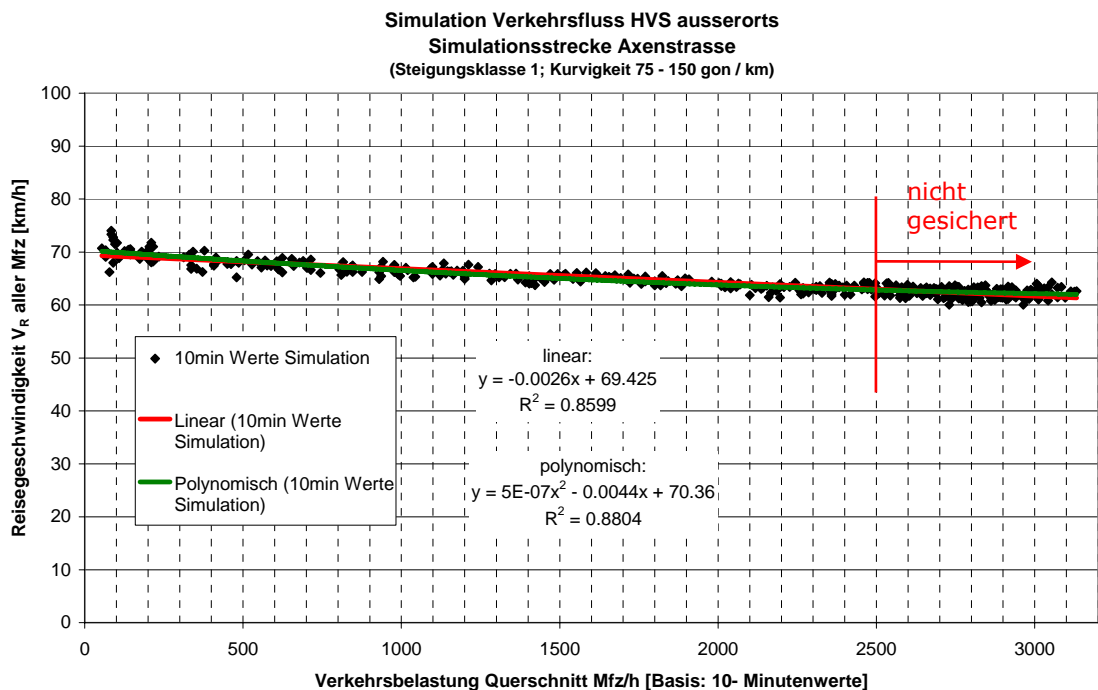


Abbildung 50: Regressionen für das Q-V-Diagramm für HVS ausserorts mit Steigungsklasse 1 und Kurvigkeit 75 – 150 gon/km

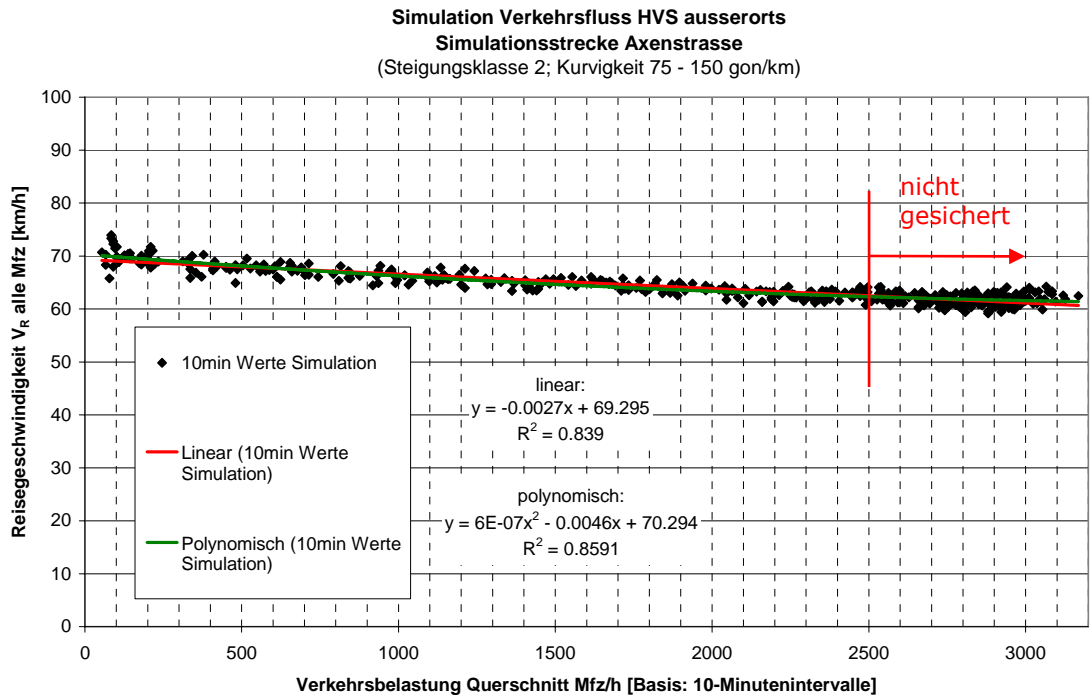


Abbildung 51: Regressionen für das Q-V-Diagramm für HVS ausserorts mit Steigungsklasse 2 und Kurvigkeit 75 – 150 gon/km

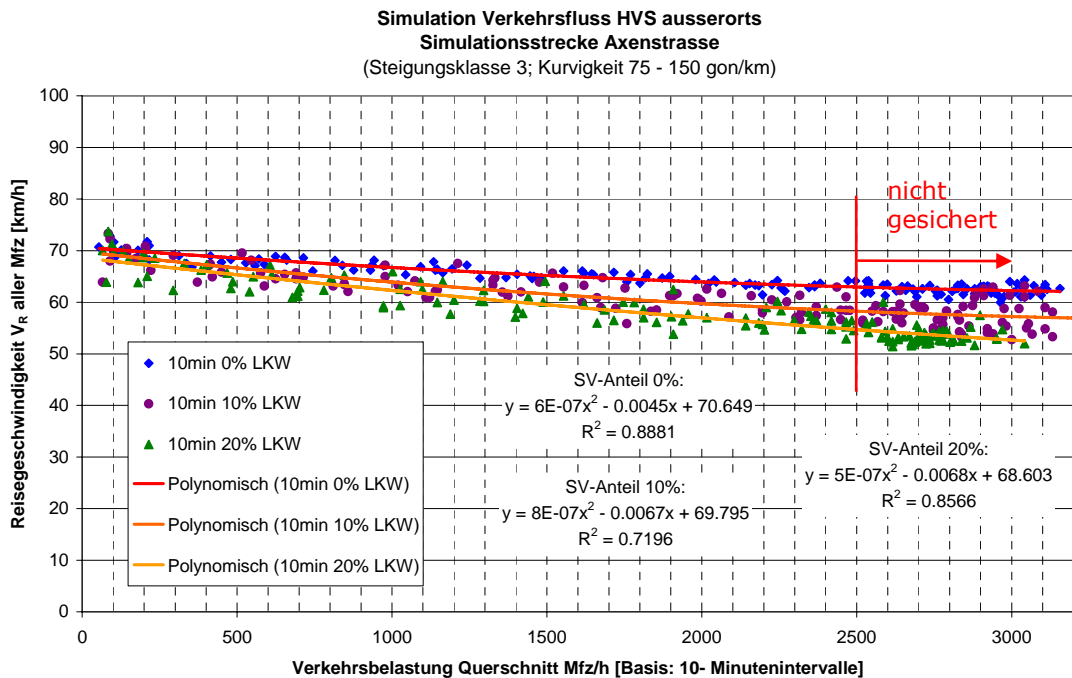


Abbildung 52: Regressionen für das Q-V-Diagramm für HVS ausserorts mit Steigungsklasse 3 und Kurvigkeit 75 – 150 gon/km

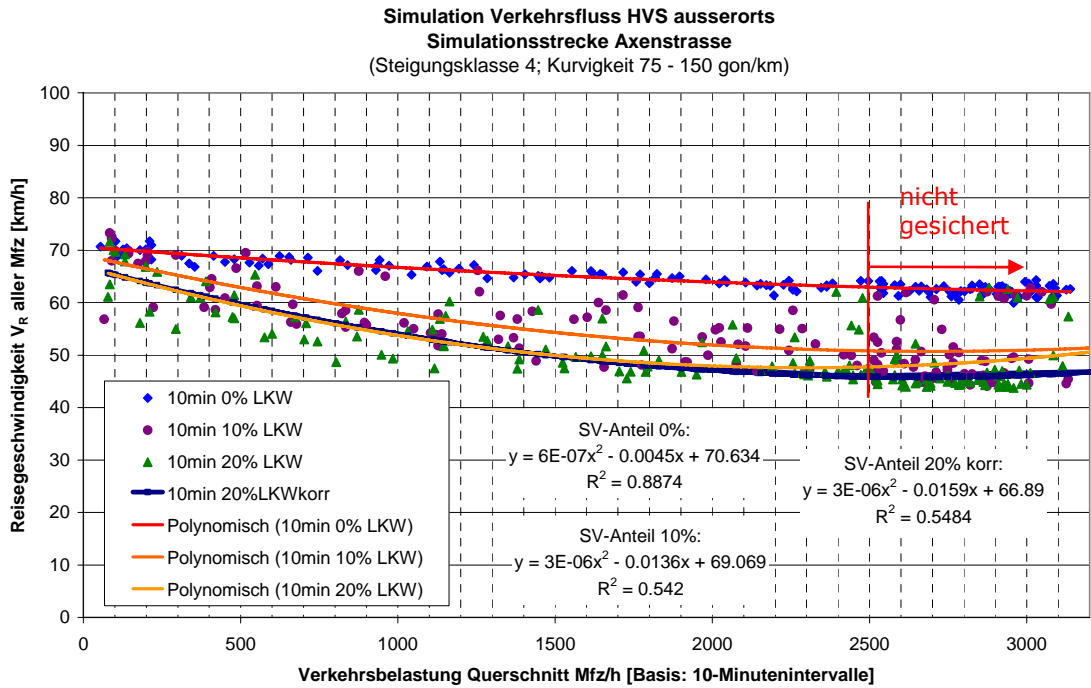


Abbildung 53: Regressionen für das Q-V-Diagramm für HVS ausserorts mit Steigungsklasse 4 und Kurvigkeit 75 – 150 gon/km

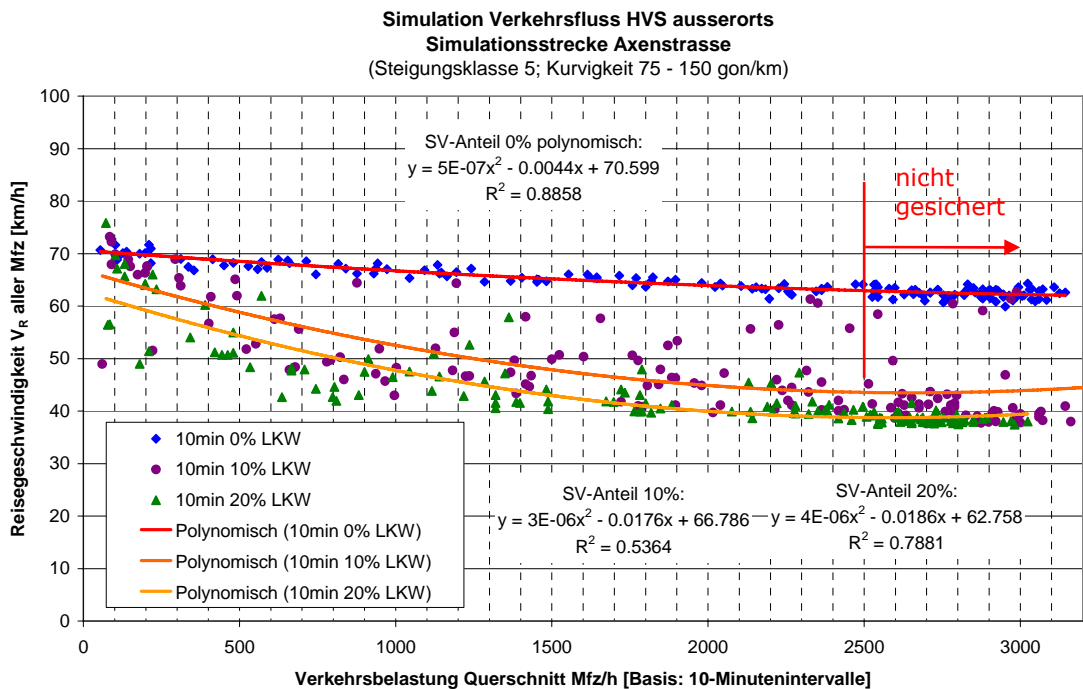


Abbildung 54: Regressionen für das Q-V-Diagramm für HVS ausserorts mit Steigungsklasse 5 und Kurvigkeit 75 – 150 gon/km

Kurvigkeit 150-250 gon/km Steigungsklassen 1-5

Basis für die „kurvigen“ Strecken mit einer Kurvigkeit von 150-250 gon/km bildet die Simulationsstrecke Staffelegg. Zur Beschreibung der Q-V-Zusammenhänge ergeben Regressionen mit polynomischem Ansatz und konvexem Verlauf geeignete Funktionen.

Gegenüber den vorangegangenen Strecken mit kleineren Kurvigkeiten ist bei allen nachfolgenden Darstellungen die nun deutlich erkennbare tiefer liegende Ausgangs-Reisegeschwindigkeiten bei kleinen Verkehrsmengen erkennbar. Diese resultieren eindeutig aus dem Einfluss der Kurvigkeit und ergeben auf steileren Strecken (Steigungsklassen 4 und 5) sogar nach Schwerverkehrsanteil abgestufte Ausgangs-Reisegeschwindigkeiten.

Auf Strecken mit kleinen Steigungen (Steigungsklassen 1 und 2) ist eine Unterscheidung nach Schwerverkehrsanteilen zur Beschreibung der Q-V-Zusammenhänge nicht notwendig und somit in Abbildung 55 und Abbildung 56 nicht separat ausgewertet.

Auf den steilen Strecken (Kurvigkeit 150-250 gon/km, Steigungsklassen 4 und 5) ergibt sich somit bereits bei geringen Verkehrsmengen ein deutlicher Einfluss der lastwagen-spezifischen Beschleunigungs- und Verzögerungsvorgänge in der Fahrtrichtung bergwärts. Diese Einflüsse sind gegenüber dem deutschen HBS 2001 [6] aber deutlich weniger stark ausgeprägt und resultieren aus den vergleichsweise günstigeren Geschwindigkeitsverläufen von Schweizer Lastwagen in Steigungen (Abbildung 6, Kap. 3.3). Der Verlauf der Kurven mit einem Schwerverkehrsanteil von 20% muss im Bereich mit hohen Verkehrsbelastungen wiederum teilweise korrigiert werden.

Die Bereiche mit hohen Verkehrsmengen ab 2500 Mfz/h sind wiederum als nicht gesichert zu betrachten.

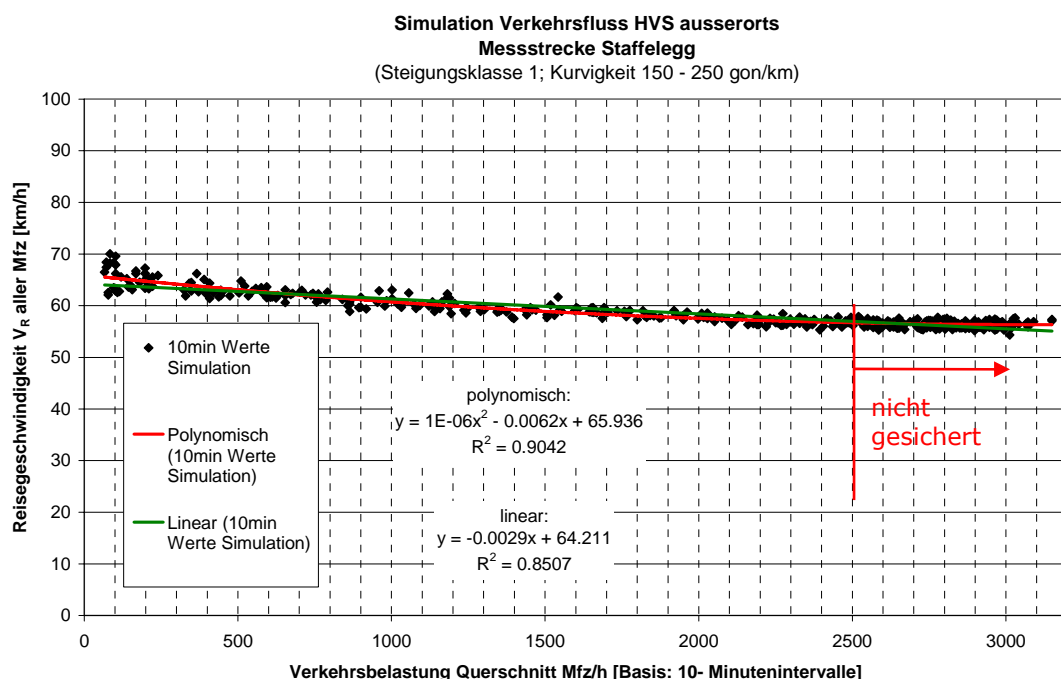


Abbildung 55: Regressionen für das Q-V-Diagramm für HVS ausserorts mit Steigungsklasse 1 und Kurvigkeit 150 - 250 gon/km

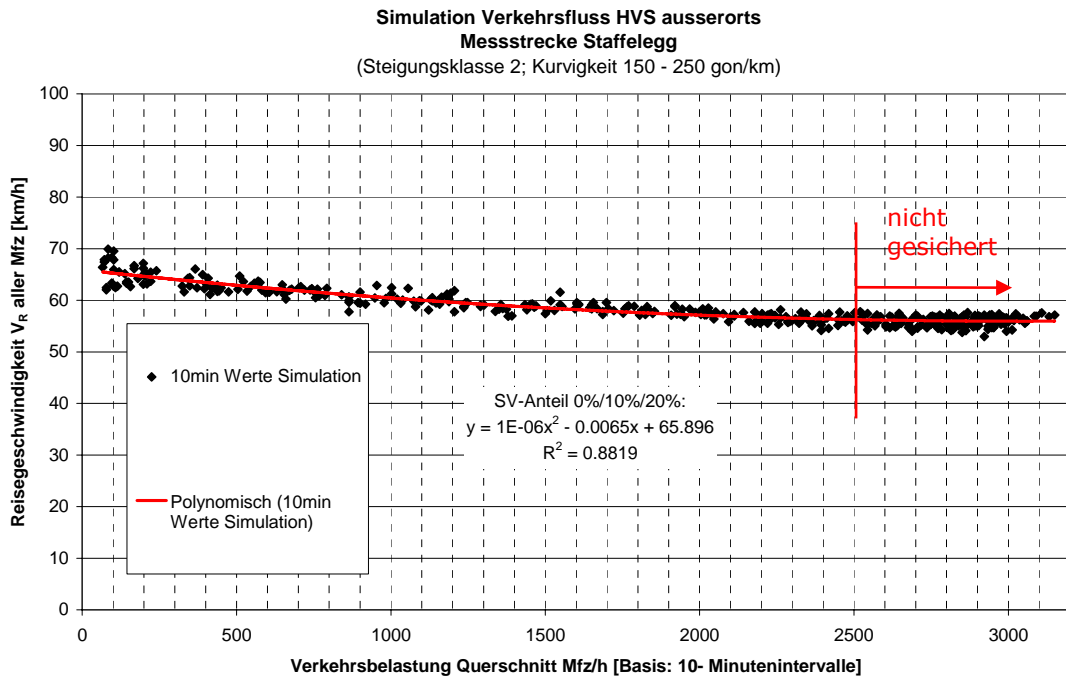


Abbildung 56: Regressionen für das Q-V-Diagramm für HVS ausserorts mit Steigungsklasse 2 und Kurvigkeit 150 - 250 gon/km

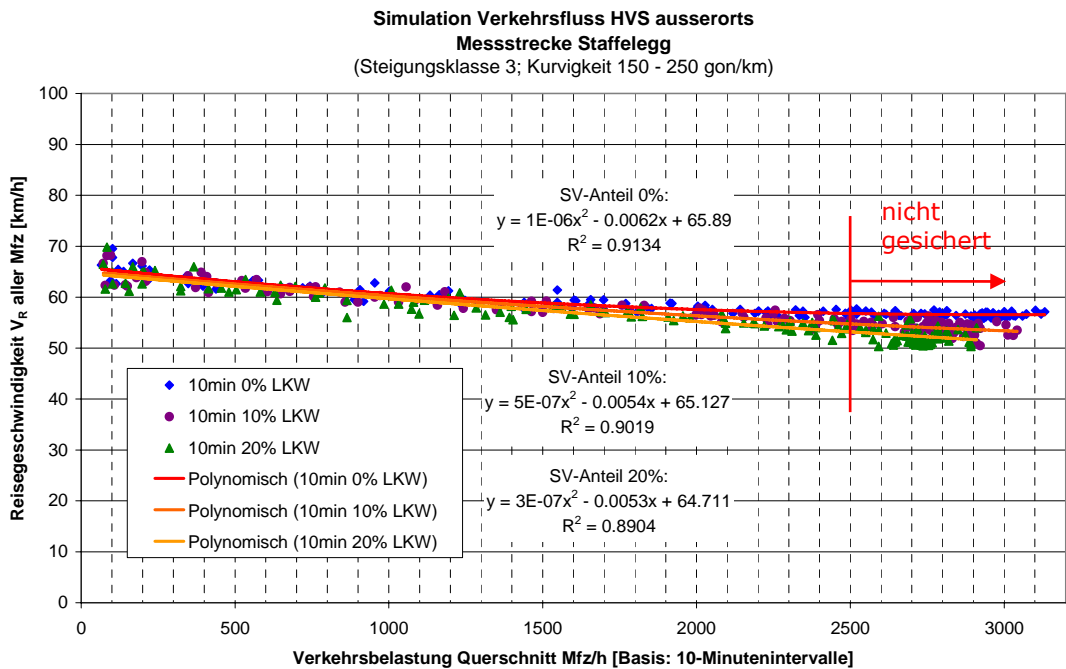


Abbildung 57: Regressionen für das Q-V-Diagramm für HVS ausserorts mit Steigungsklasse 3 und Kurvigkeit 150 - 250 gon/km

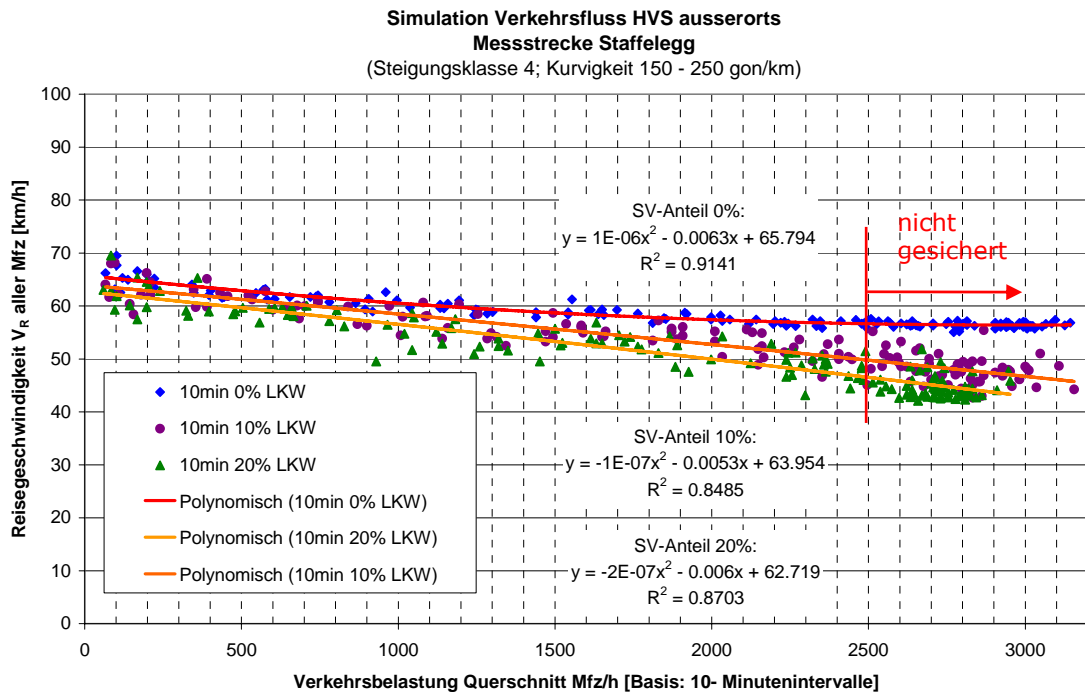


Abbildung 58: Regressionen für das Q-V-Diagramm für HVS ausserorts mit Steigungsklasse 4 und Kurvigkeit 150 - 250 gon/km

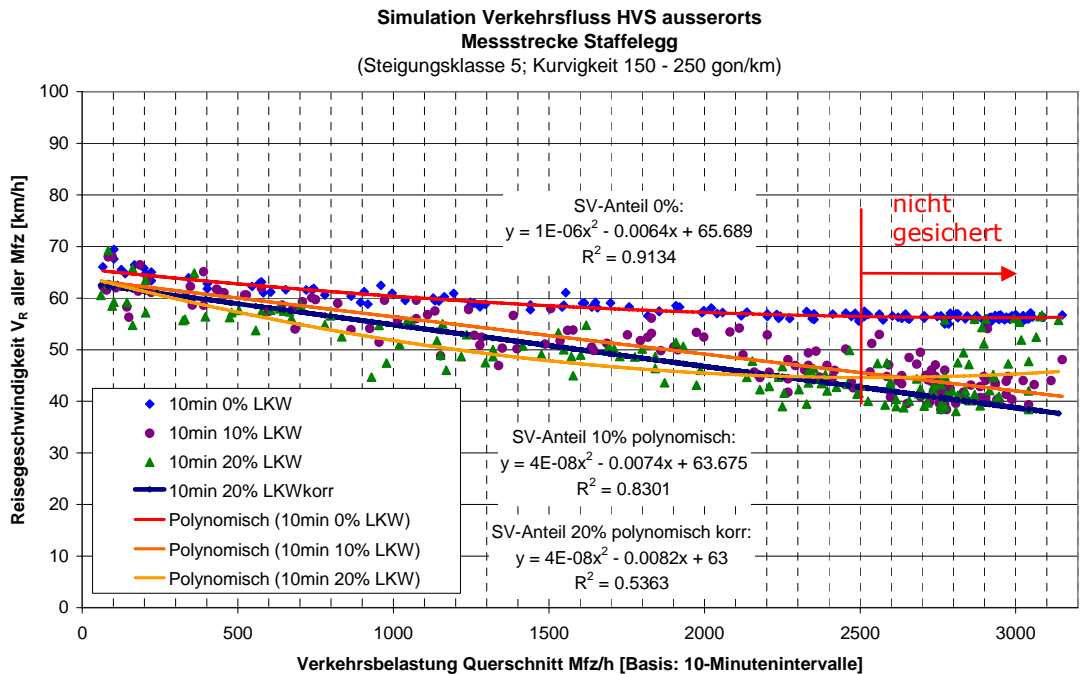


Abbildung 59: Regressionen für das Q-V-Diagramm für HVS ausserorts mit Steigungsklasse 5 und Kurvigkeit 150 - 250 gon/km

Kurvigkeit > 250 gon/km Steigungsklassen 1-5

Basis für die „sehr kurvigen“ Strecken mit einer Kurvigkeit von über 250 gon/km bildet die Simulationsstrecke Unterer Hauenstein.

Gegenüber den vorangegangenen Ergebnissen der Simulationen treten bei hohen Verkehrsmengen kurzzeitige Zusammenbrüche des Verkehrsflusses bergwärts bzw. in der Richtung mit einer Durchfahrt auf der Kurveninnenseite auf. Diese werden ausschliesslich durch die enge 180°-Kurve im Verlauf der Simulationsstrecke ausgelöst. Dort wurden mittels GPS-Analysen besonders markante Verzögerungs- und Beschleunigungsvorgänge aller Fahrzeugtypen erhoben (Abbildung 44, Kap. 7.6), welche bei hohen Verkehrsmengen einen kurzfristigen Zusammenbruch des Verkehrsflusses bewirkt.

Der Verlauf der Q-V-Kurven kann in drei Teilbereiche untergliedert werden. Der erste Teil bei kleinen bis hohen Verkehrsmengen weist wiederum einen quasilinearen, leicht konvexen Verlauf auf und kann mit einem polynomischen Ansatz mathematisch gut beschrieben werden. Der zweite Teil der Kurvenverläufe bei hohen bis sehr hohen Verkehrsstärken zeigt einen raschen Abfall der Reisegeschwindigkeiten auf. Der Übergang zu diesem Kurvenbereich mit instabilem Verkehrsfluss ist dabei vom Schwerverkehrsanteil abhängig. Der dritte Kurvenbereich zeichnet sich durch einen linearen Verlauf aus. Hier nimmt die von der Simulationsstrecke verarbeitete Verkehrsmenge bei gleichzeitiger Staubildung im Streckenvorlauf nur noch leicht zu. Der Verkehrsfluss kann als „stockender Kolonnenverkehr“ mit Staubildung im Zulauf gut umschrieben werden.

Die Werte und der Kurvenverlauf im beschriebenen zweiten und dritten Teil der Q-V-Beziehung kann nicht als durch Messresultate gesichert betrachtet werden. Hier ist der Einfluss der im Fahrzeugpulk (in dieser Verkehrssituation) vorherrschenden effektiven Fahrzeugabstände massgebend.

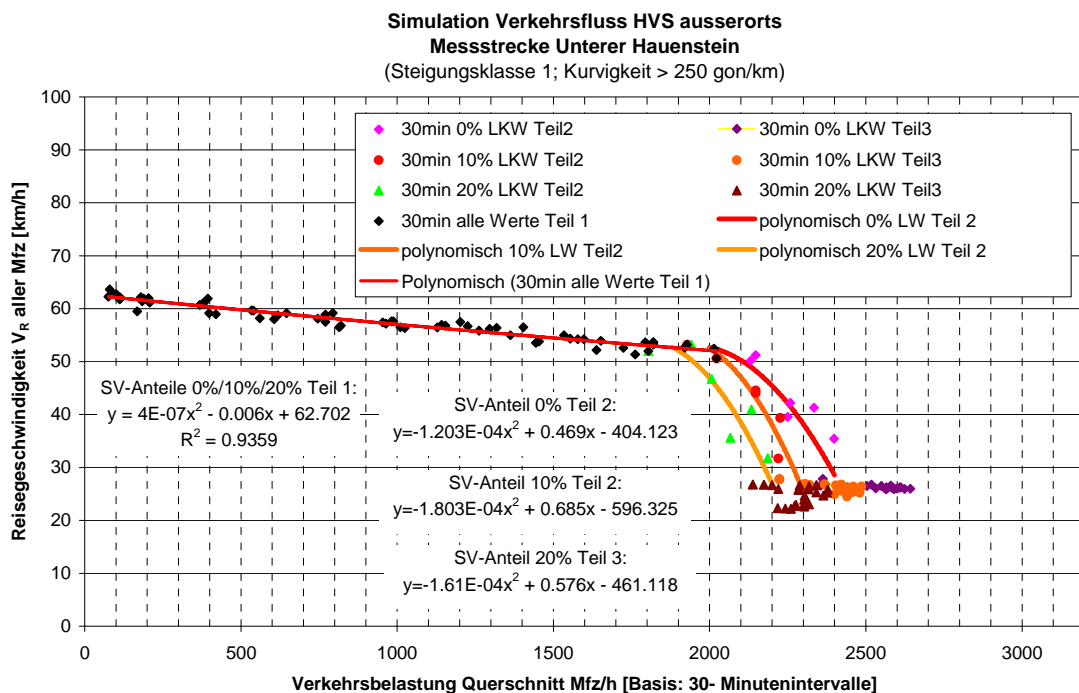


Abbildung 60: Regressionen für das Q-V-Diagramm für HVS ausserorts mit Steigungsklasse 1 und Kurvigkeit > 250 gon/km

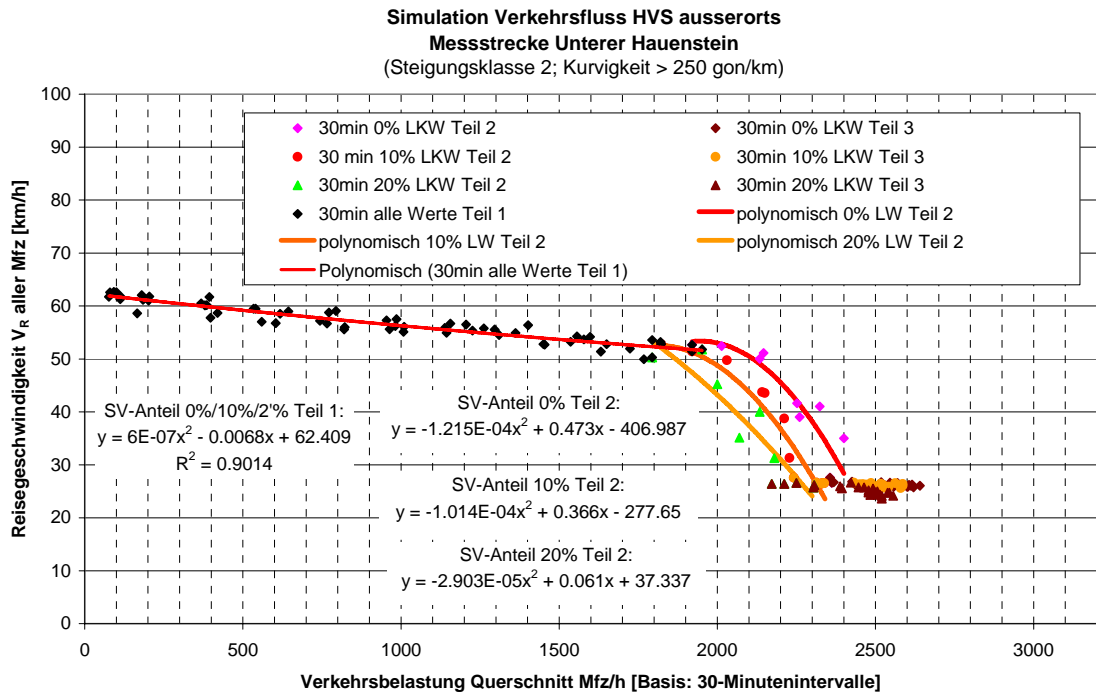


Abbildung 61: Regressionen für das Q-V-Diagramm für HVS ausserorts mit Steigungsklasse 2 und Kurvigkeit > 250 gon/km

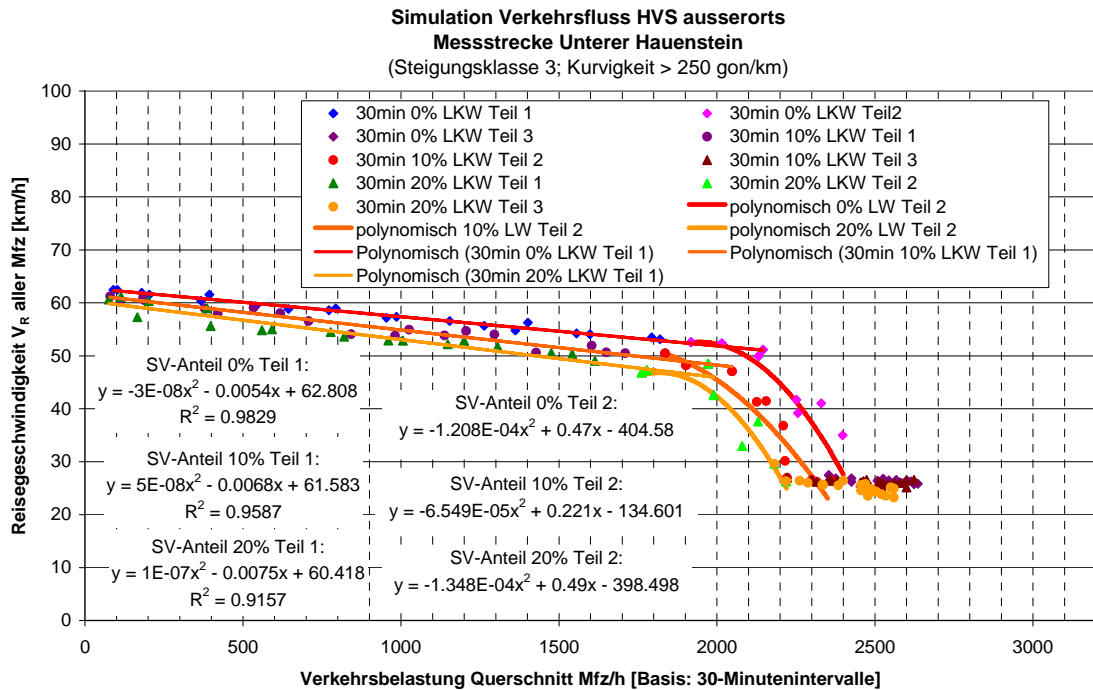


Abbildung 62: Regressionen für das Q-V-Diagramm für HVS ausserorts mit Steigungsklasse 3 und Kurvigkeit > 250 gon/km

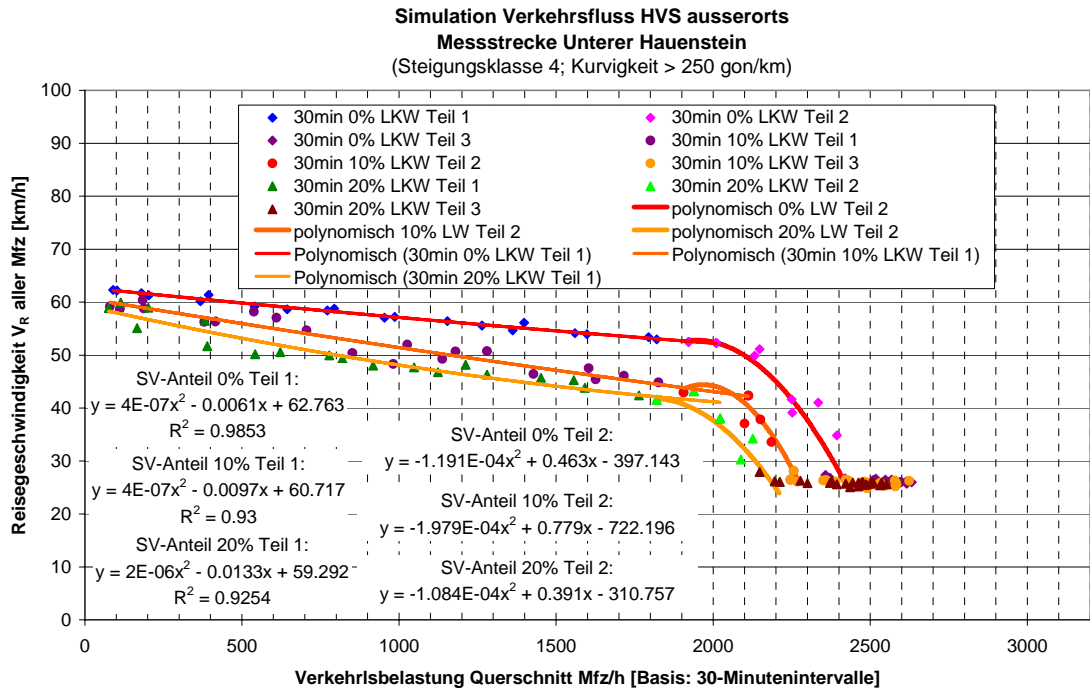


Abbildung 63: Regressionen für das Q-V-Diagramm für HVS ausserorts mit Steigungsklasse 4 und Kurvigkeit > 250 gon/km

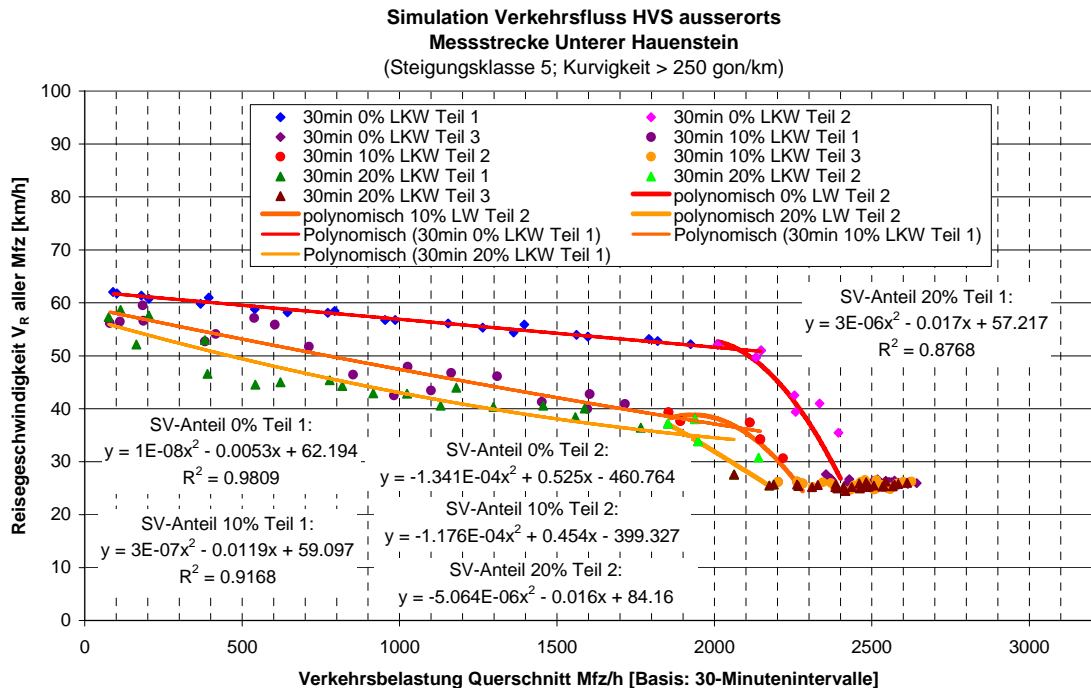


Abbildung 64: Regressionen für das Q-V-Diagramm für HVS ausserorts mit Steigungsklasse 5 und Kurvigkeit > 250 gon/km

9 PLAUSIBILITÄTSPRÜFUNG

9.1 Einfluss Zeitintervalle

Der Einfluss der den Messungen bzw. den Auswertungen zu Grunde liegenden Zeitintervalle zur Aggregation von Einzelfahrzeugmessungen wird bei der Beurteilung der Verkehrsqualität bei sehr hohen Verkehrsmengen bzw. der Leistungsfähigkeit massgebend. Es liegen hierzu folgende Grundlagen vor:

- Für die Autobahnstrecken werden gemäss FA 2000/37 [11] (Kap. 2.3.4) 5-Minutenintervalle als geeignet bezeichnet, den Verkehrsfluss auf diesem, von aussen abgegrenzten Strassen möglichst gut wiederzugeben.
- In einer deutschen Grundlage zum HBS 2001 [1] (siehe Kap. 2.3.1) werden der Auswertungen für zweistreifige Landstrassen ebenfalls 5-Minutenintervalle zu Grund gelegt.
- Aus den Querschnittsmessungen liegen Daten in 60- und 10-Minutenintervallen vor (siehe Kap. 4 und 5.2).
- Für die Messstelle Tunnel Arisdorf der A2 liegen Einzelfahrzeugmessungen vor.

Mit der Auswertung der Messresultate A2 Arisdorftunnel soll der Einfluss der Zeitintervalle auf die Aussagen zu den maximalen Verkehrsmengen (im Bereich der Leistungsfähigkeit) analysiert werden. Die Datensätze liegen so vor, dass die an Hand verschiedener Zeitintervalle hochgerechneten Stundenwerte miteinander verglichen werden können. Zudem wurde dieses Strassenstück im Gegenverkehrsregime über mehrerer Stunden hinweg konstant im Bereich der Leistungsfähigkeit betrieben, so dass in diesem Wertebereich des Q-V-Diagramms gut gesicherte „effektive maximale Stundenwerte“ vorliegen dürften.

Ausgewertet wurden die gemessenen Werte in denjenigen Tagesstunden, in denen im Minimum ein 3-Minutenintervall mit mehr als 140 Mfz/3' gemessen wurden. Dies entspricht einer hochgerechneten stündlichen Verkehrsbelastung von über 2800 Mfz/h.

Abbildung 65 zeigt im Q-V-Diagramm die Differenz zwischen den höchsten gemessenen effektiven und den hochgerechneten Stundenwerten. Dabei liegen die aus kleinen Intervallen (3' und 6') hochgerechneten Stunden-Spitzenwerte mehr als 300 Mfz/h, Querschnitt (ca. 150 Mfz/h, Richtung) oder über 10% über dem höchsten effektiven stündlichen Messwert.

Auch die Häufigkeitsverteilung der gleichen Werte in Abbildung 66 zeigt

- dass die Häufigkeitsverteilung der Werte auf Basis von 9', 15' und 60'-Intervallen für die ausgewerteten Daten nahe beieinander liegen.
- dass sich die Häufigkeitsverteilung der Werte auf Basis der 3'-Intervalle deutlich im gesamten Wertebereich von den übrigen Häufigkeitsverteilungen unterscheidet.

Mit der Wahl von 10'-Intervallen dürfte die Aussagekraft der Simulationsresultate – bezogen auf die effektiv möglichen maximalen stündlichen Verkehrsmengen verbessert sowie der auf HVS ausserorts zahlreichen „externen Störungen des Verkehrsflusses“ mit zeitlich begrenztem Einfluss genügend Rechnung getragen werden.

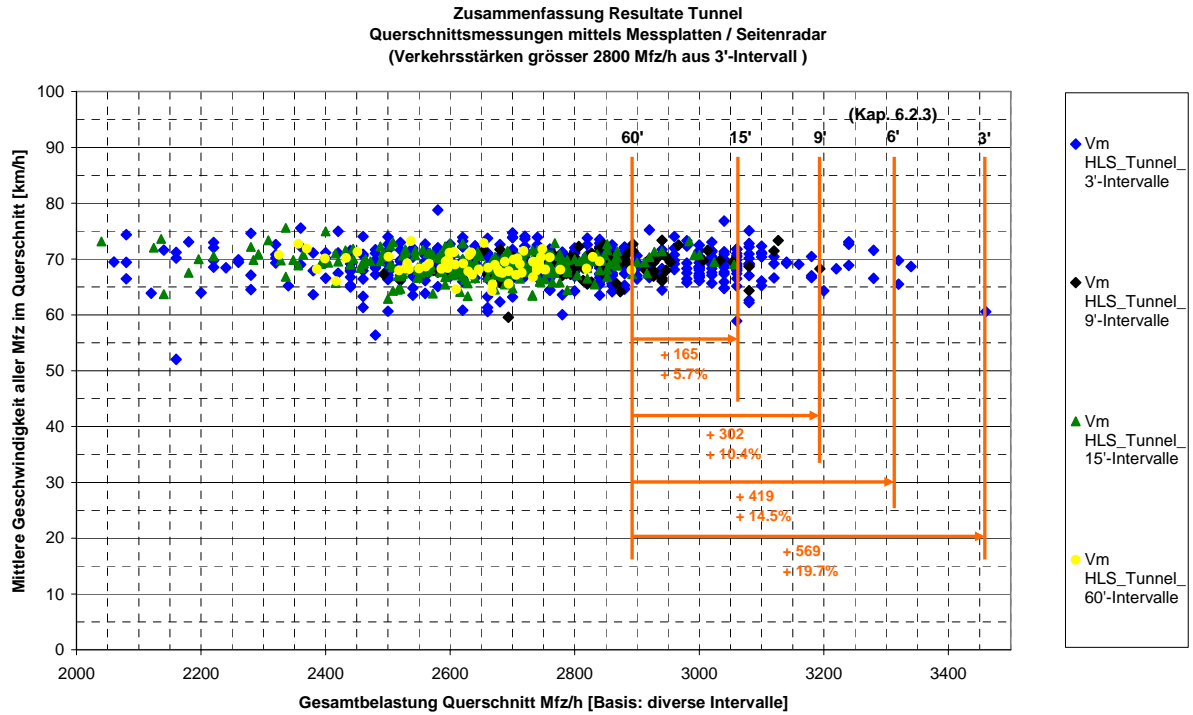


Abbildung 65: Auswertung der effektiven und hochgerechneten Stundenwerte innerhalb derjenigen Tagesstunden, an welchen im Querschnitt Verkehrsmengen im Bereich der Leistungsfähigkeit (über 140 Mfz/3' bzw. über 2800 Mfz/h, Querschnitt) auftreten

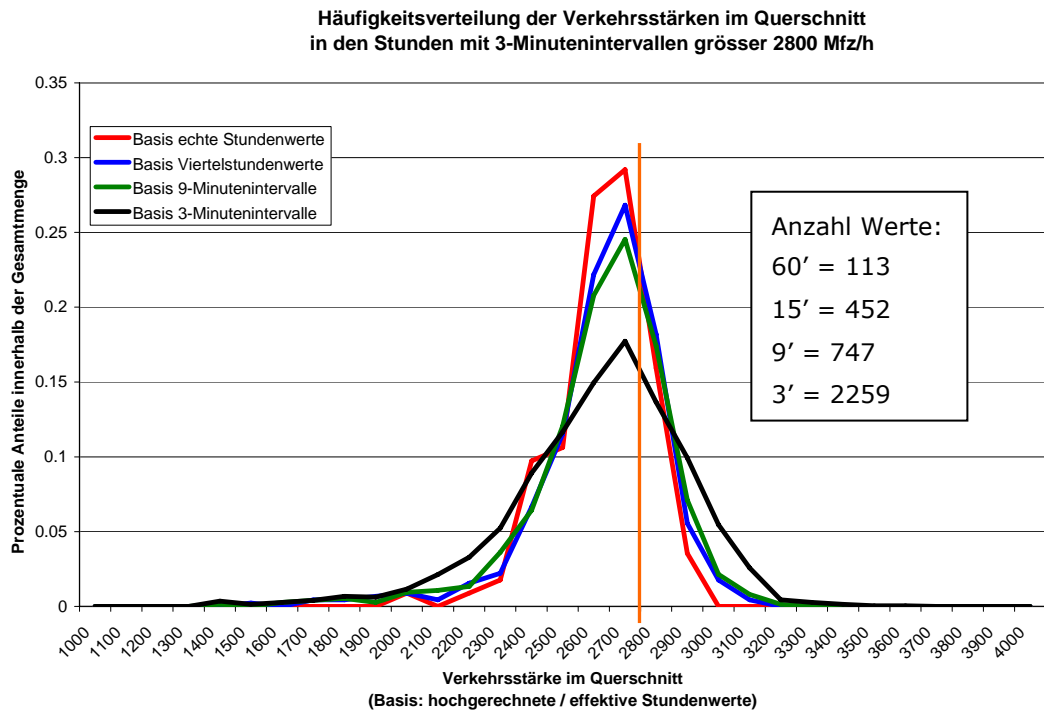


Abbildung 66: Darstellung der Häufigkeitsverteilung der effektiven und hochgerechneten Stundenwerte auf Basis verschiedener Messintervalle aus den Tageszeiten mit Betrieb im Bereich der Leistungsfähigkeit (siehe Abbildung 65)

9.2 Einfluss Schwerverkehrsanteil

9.2.1 Hauptverkehrsstrassen ausserorts

Der Einfluss des Schwerverkehrs ist in den Q-V-Diagrammen im HBS 2001 [6] direkt ablesbar. Dabei sind zwei wesentliche Auswirkungen zu benennen:

- Je grösser der Anteil des Schwerverkehrs an der Gesamtverkehrsmenge ist, desto mehr sinkt die resultierende PW-Reisegeschwindigkeit im Verlauf des Wertebereichs der Verkehrsbelastung.
- Mit zunehmender Kurvigkeit einer Strecke und zunehmendem Schwerverkehrsanteil sinken die PW-Reisegeschwindigkeiten bereits bei kleinen Verkehrsbelastungen. Der Abfall der Q-V-Kurven mit zunehmender Verkehrsbelastung wird kleiner.

Mit der Berücksichtigung der neuesten Schweizer Forschungsergebnisse zum Fahrverhalten von Lastwagen in Steigungen (siehe Kap. 2.3.3) dürften die Auswirkungen des Schwerverkehrsanteils nicht so gross ausfallen wie im deutschen HBS 2001 [6] dargestellt. Die oben genannten Auswirkungen treten aber auch auf Schweizer Strassen auf und müssen in den Q-V-Diagrammen aus Kap. 8. (Beispiel in Abbildung 67, siehe auch ANHANG 17) ersichtlich sein.

Kurvigkeit 0 – 75 gon/km: Für die „geraden“ Strecken kann der Einfluss des Schwerverkehrsanteils im gesicherten Wertebereich 0 bis 2500 Mfz/h, Querschnitt unter Berücksichtigung der im Kap. 8.1 erläuterten Korrekturen in der Abbildung 45–Abbildung 49 plausibel wiedergegeben werden.

Kurvigkeit 75 – 150 gon/km: Auch für die „leicht kurvigen“ Strecken wird der Einfluss des Schwerverkehrsanteils in der Abbildung 50–Abbildung 54 plausibel wiedergegeben. Bei diesem Streckentyp ist die Auswirkung des Schwerverkehrsanteils aufgrund der hohen Ausgangs-Reisegeschwindigkeiten der PW (Kurve mit 0% Schwerverkehrsanteils) sowie des deutlichen Einflusses der Kurvigkeit auf die Fahrweise der Lastwagen gross.

Kurvigkeit 150 – 250 gon/km: Infolge des nun zunehmenden Einflusses der Kurvigkeit auf das Fahrverhalten der PW und der somit niedrigeren Ausgangs-Reisegeschwindigkeiten nimmt der Einfluss des Schwerverkehrsanteils gegenüber den vorherigen Streckentypen deutlich ab. Der in der Abbildung 55–Abbildung 59 ermittelte Verlauf der Q-V-Kurven im gesicherten Wertebereich gibt diese Auswirkungen plausibel wieder.

Kurvigkeit > 250 gon/km: Auf den „sehr kurvigen“ Strassen nimmt der Einfluss des Schwerverkehrs bei den Kombination „kurvig/steil“ wieder zu, während er in der Kombination „kurvig/eben“ kaum zu Tage tritt. In der Simulation tritt dieser Einfluss des Schwerverkehrs beim Befahren von 180°-Kurven (Wendeplatten) auf. Dieser Einfluss konnte auch während der GPS-Aufnahmen auf solchen Strassen gut beobachtet werden. Die in der Abbildung 60–Abbildung 64 dargestellten Resultate der Simulationen geben die genannten Zusammenhänge plausibel wieder.

9.2.2 Hochleistungsstrassen 2x1

Gemäss Kap. 6.2.2 ist auf ebenen Hochleistungsstrassen des Typs 2x1 ohne bauliche Richtungstrennung kein Einfluss des Schwerverkehrsanteils auf die mittleren Geschwindigkeiten aller Fahrzeuge erkennbar.

Diese Feststellung widerspricht zwar den Angaben im HBS 2001, ist aber durch die Messungen auf der H18 Umfahrung Aesch gesichert.

Die GPS-Messungen zeigen zahlreiche Personenwagenfahrten auf, welche die Messstrecke trotz dem Signal „Autostrasse“ und dem an sich nicht notwendigen Signal „Höchstgeschwindigkeit 100 km/h“ die Strecke mit einem deutlich niedrigeren Geschwindigkeitsniveau befahren haben (siehe auch ANHANG 8).

Dieser Effekt lässt sich vermutlich durch den „Gewöhnungseffekt“ der Fahrzeuglenker an niedrigere Fahrgeschwindigkeiten infolge der generellen Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h ausserorts und auf einigen Hochleistungsstrassen 2x1 (in Tunnels, bei hoher Kurvigkeit,...) erklären. Die rechtlich möglichen Höchstgeschwindigkeiten der PW werden dabei offenbar nicht so stark ausgeschöpft wie auf deutschen Strassen ausserorts.

Die Forschungsstelle plädiert für eine vorläufige Übernahme der ermittelten Zusammenhänge und schlägt weitere Messungen auf diesem Strassentyp an anderen Strecken vor.

9.2.3 Lange Tunnels

In langen Tunnels (mit einer Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h) konnte gemäss Kapitel 6.2.3 kein signifikanter Einfluss des Schwerververkehrsanteils in den untersuchten Steigungsklassen 1 und 2 ermittelt werden. Diese Erkenntnis deckt sich mit den entsprechenden Angaben zu Tunnels im deutschen HBS 2001. Da ein solcher Einfluss auf gewöhnliche Hauptverkehrsstrassen ausserorts (mit gleichem Geschwindigkeitsregime) für die Steigungsklassen 1 und 2 ebenfalls kaum auftritt, sind die Auswertungsergebnisse plausibel.

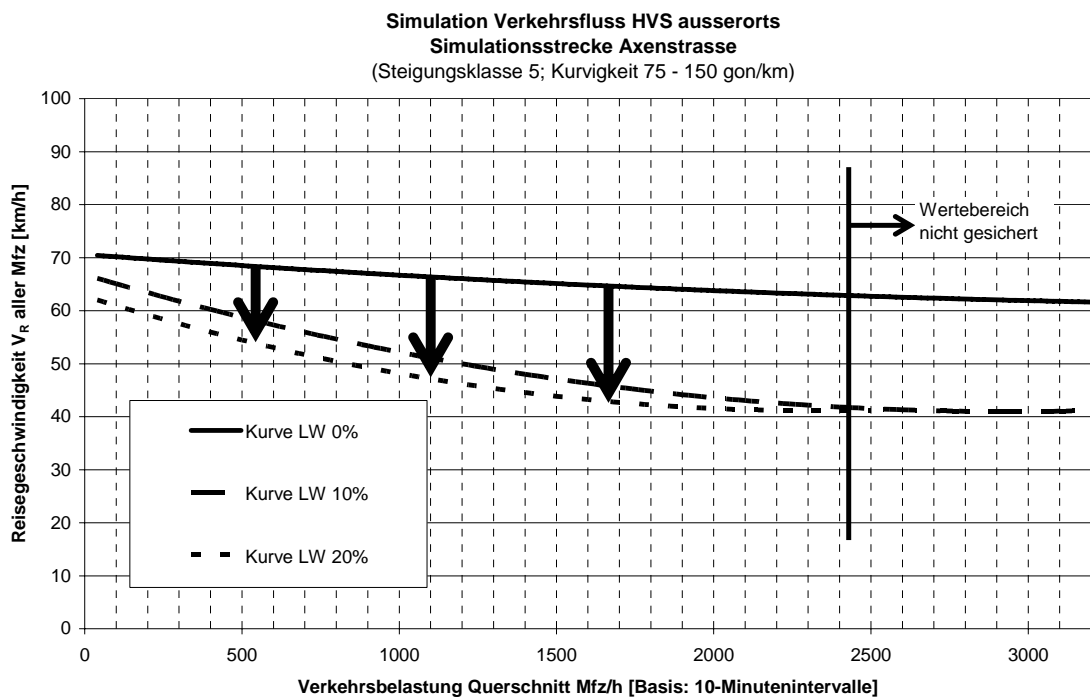


Abbildung 67: Beispiel des Einflusses des Schwerverkehrsanteils auf Hauptverkehrsstrassen ausserorts mit Steigungsklasse 5 und Kurvigkeit 75 – 150 gon/km (maximaler Einfluss des Schwerverkehrsanteils)

9.3 Einfluss Steigungsklasse

Einfluss im HBS 2001

Ein Vergleich der Q-V-Diagramme im HBS 2001 [6] (siehe ANHANG 1) zeigt, dass unter dem Einfluss des Schwerverkehrs die resultierenden mittleren PW-Reisegeschwindigkeiten mit zunehmender Steigungsklasse abnehmen. Diese gilt insbesondere für Schwerverkehrsanteile von 10% und 20%.

Die Geschwindigkeitsunterschiede (bezogen auf die Steigungsklassen) sind dabei im Bereich von sehr kleinen Verkehrsbelastungen kleiner (ca. 19 km/h) als im Bereich von mittleren bis hohen Verkehrsbelastungen. Bei reinem PW-Verkehr (Schwerverkehrsanteil 0%) ist die Abnahme der Geschwindigkeiten kaum oder nicht erkennbar.

Resultate der Simulationen HVS ausserorts

Die im Kapitel 8.1 ermittelten Q-V-Diagramme werden bezüglich des Einflusses der Steigungsklassen miteinander verglichen. Auch für Schweizer Verhältnisse muss gelten, dass mit zunehmender Steigungsklasse die resultierenden Reisegeschwindigkeiten (hier: aller Motorfahrzeuge) sinken müssen.

Zur Plausibilitätsprüfung werden die in Kap. 8.1. ermittelten Q-V-Kurven mit gleicher Kurvigkeit und Schwerverkehrsanteil miteinander verglichen (Vergleich nach Steigungsklasse). Nebstehend in Abbildung 68 und Abbildung 69 sind einige Beispieldiagramme dieses Vergleichs nach Steigungsklasse aufgeführt. Weitere Diagramme sind im ANHANG 17 aufgeführt.

Infolge der bezüglich Fahrzeugkategorien homogenen Geschwindigkeitsvorschriften liegen die Reisegeschwindigkeiten bei geringen Verkehrsbelastungen nur wenig auseinander. Die gegenüber dem deutschen HBS 2001 weit besseren Geschwindigkeitskennwerte des Bemessungs-Lastwagens in Steigungen führen dazu, dass der Einfluss des Schwerverkehrs auf die Reisegeschwindigkeiten bei zunehmender Steigungsklasse deutlich weniger stark ausgeprägt ist als im deutschen HBS 2001.

Analog den Angaben im HBS 2001 ergeben sich bei reinem PW-Verkehr (Schwerverkehrsanteil 0%) keine klar erkennbaren Unterschiede im Verlauf der V-Q-Diagramme.

Fazit

Die ermittelten Kurvenverläufe für HVS ausserorts bilden den Einfluss der Steigungsklassen auf die mittleren Reisegeschwindigkeiten bei allen Kurvigkeiten und Schwerverkehrsanteilen plausibel ab. Aus Sicht der Forschungsstelle besteht bezogen auf diese Einflussgrösse keine Notwendigkeit zur Korrektur der ermittelten Q-V-Kurven.

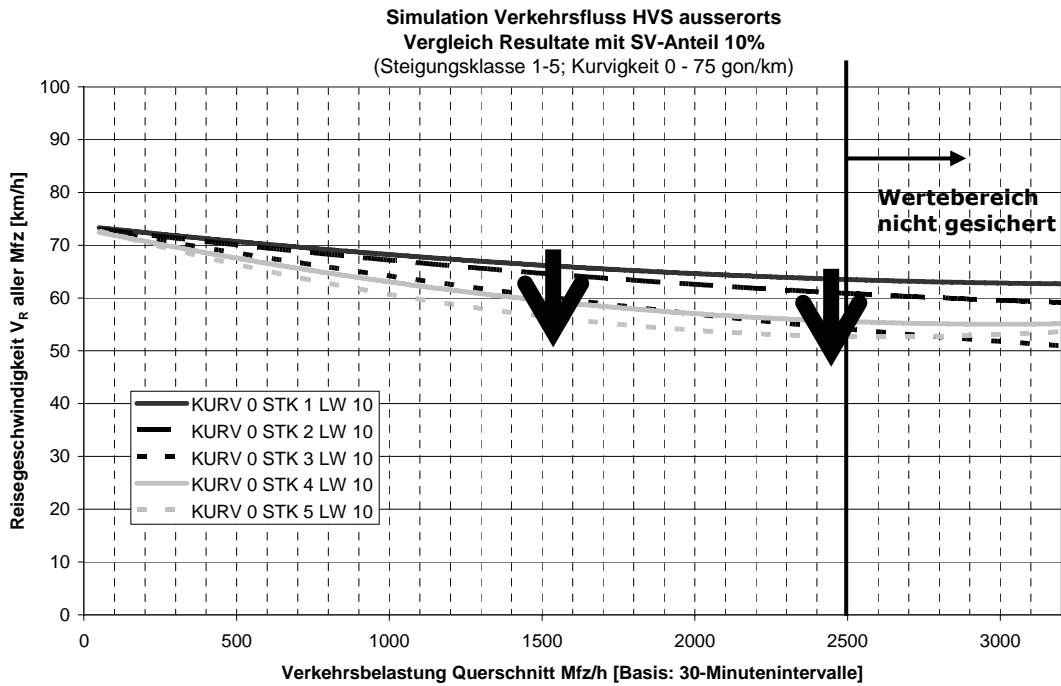


Abbildung 68: Vergleich der Q-V-Kurven aus den Simulationsresultaten für HVS ausserorts für Kurvigkeit 0 – 75 gon/km und Lastwagenanteil 10% und variabler Steigungsklasse

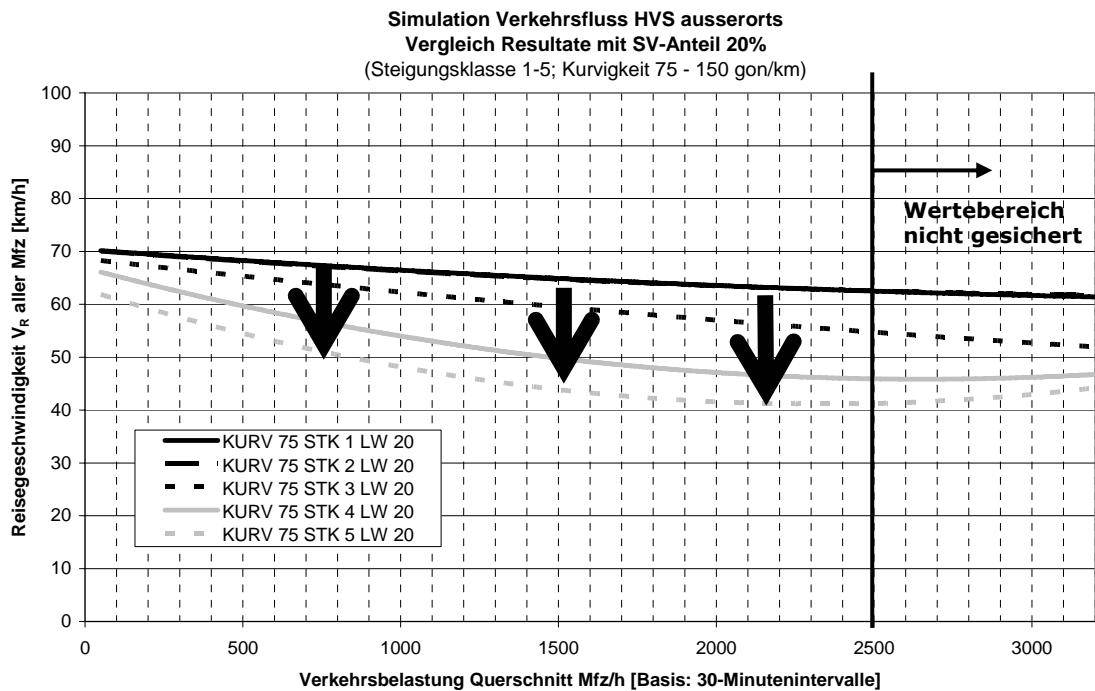


Abbildung 69: Vergleich der Q-V-Kurven aus den Simulationsresultaten für HVS ausserorts für Kurvigkeit 75 - 150 gon/km und Lastwagenanteil 20% und variabler Steigungsklasse

9.4 Einfluss Kurvigkeit

Einfluss im HBS 2001

Ein Vergleich der Q-V-Diagramme aus dem deutschen HBS 2001 [6] zeigt folgende Zusammenhänge beim Vergleich der vier Kurvigkeits-Klassen auf:

- Mit einer Zunahme der Kurvigkeit nehmen die PW-Reisegeschwindigkeiten bei kleinen Verkehrsmengen (Ausgangs-Reisegeschwindigkeiten) deutlich ab.
- Die Differenzen der Ausgangs-Reisegeschwindigkeiten sind insbesondere auf Strecken mit kleiner Steigungsklasse und kleinem Schwerverkehrsanteil grösser, zwischen den übrigen Kurvigkeitsklassen aber meist kleiner.
- Je höher eine Strecke bezüglich der Steigungsklassen und Schwerverkehrsanteil eingestuft wird, desto kleiner wird somit der Einfluss der Kurvigkeit.

Infolge des abweichenden Schweizer Geschwindigkeitsregimes dürften die Differenzen der Ausgangs-Geschwindigkeiten weniger stark ausgeprägt sein als in Deutschland.

Resultate der Simulationen HVS ausserorts

Auch für Schweizer Verhältnisse muss gelten, dass die Reisegeschwindigkeiten aller Motorfahrzeuge bei zunehmender Kurvigkeit kleiner werden. Dies gilt insbesondere im Wertebereich mit kleinen Verkehrsmengen (Ausgangs-Reisegeschwindigkeiten).

Zur Plausibilitätsprüfung werden die in Kap. 8.1 ermittelten Q-V-Kurven mit gleicher Steigungsklasse und Schwerverkehrsanteil miteinander verglichen (Vergleich nach Kurvigkeit, Beispiele in Abbildung 70 und Abbildung 71, siehe auch ANHANG 16). Der Vergleich ergibt folgende Resultate:

- Bei reinem PW-Verkehr (Schwerverkehrsanteile 0%) liegen die ermittelten Q-V-Kurven mit zunehmender Kurvigkeit in etwa parallel zueinander. Dies trifft für alle Steigungsklassen zu.
- In der Steigungsklasse 1 liegen die Kurven auch für grössere Schwerverkehrsanteile in etwa parallel zueinander.
- Für die Steigungsklassen 2 und 3 gilt, dass die Kurve der Kurvigkeitsklasse 0-75 gon/km „konvexer“ verläuft als diejenige der nachfolgenden Kurvigkeitsklasse. Bis zum Schnittpunkt dieser Kurven im Bereich von 800 – 1200 Mfz/h, Querschnitt liegen diese noch wie erwartet richtig zueinander. Nach dem Schnittpunkt liegen die beiden Kurven jedoch sehr nahe beieinander.
- Für die Steigungsklassen 4 und 5 gilt, dass der Verlauf der V-Q-Kurve für Kurvigkeiten 150 – 250 gon/km der Messtrecke Staffelegg „flacher verläuft“ als die der angrenzenden Kurvigkeitsklassen und diese – ausser im Bereich von kleinen Verkehrsmengen – schneidet. Der Kurvenverlauf dieser Messtrecke – bei Schwerverkehrsanteilen über 0% - müsste somit „konvexer“ erfolgen als anhand der Simulation ermittelt.

Fazit:

Die resultierenden Abweichungen zum erwarteten optimalen Kurvenverlauf sind aber nicht als so bedeutend zu werten, als dass die ermittelten Q-V-Kurven zwingend korrigiert werden müssten. Dies umso mehr, als diese bezüglich der beiden Einflussfaktoren Schwerverkehrsanteil (Kap. 9.2) und Steigungsklasse (Kap. 9.3) eine plausible Abstufung untereinander aufweisen.

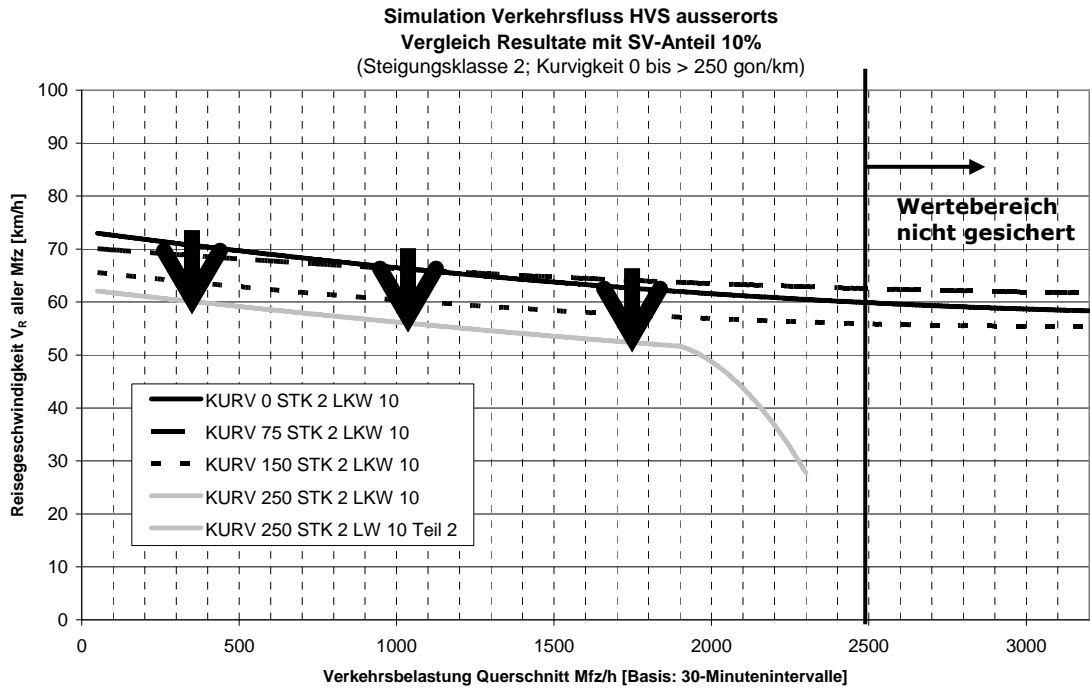


Abbildung 70: Vergleich der Q-V-Kurven aus den Simulationsresultaten für HVS ausserorts für alle Steigungsklassen 2, Lastwagenanteile 10% und variabler Kurvigkeit

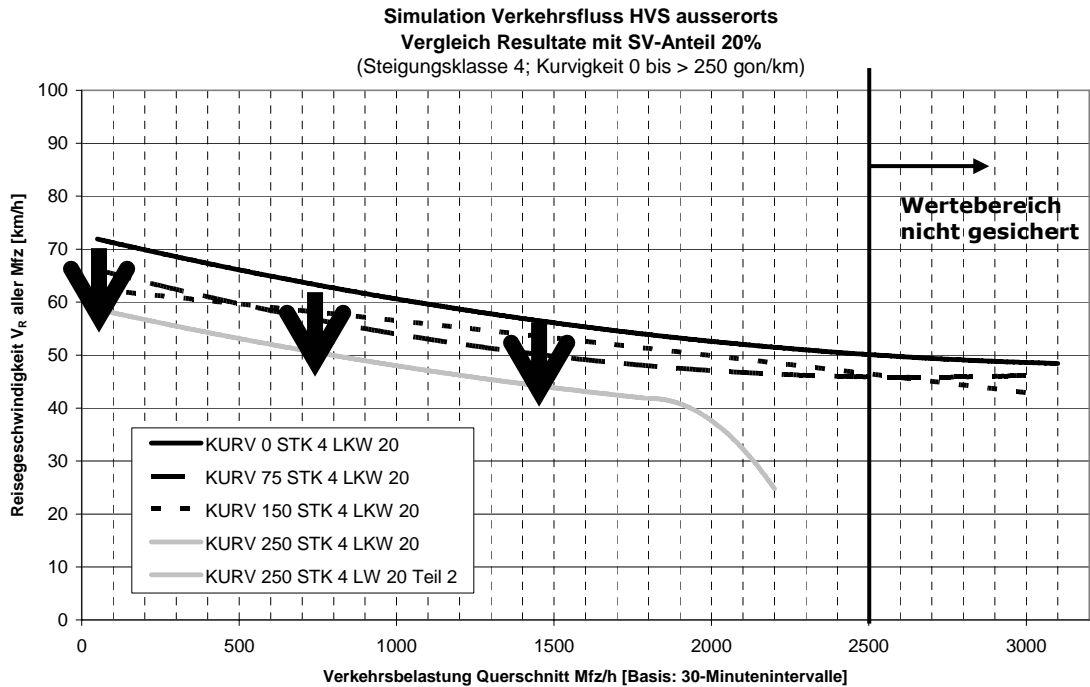


Abbildung 71: Vergleich der Q-V-Kurven aus den Simulationsresultaten für HVS ausserorts für alle Steigungsklassen 4, Lastwagenanteile 20% und variabler Kurvigkeit

10 NORMIERUNGSEMPFEHLUNGEN

10.1 Q-V-Diagramme

Nach der Plausibilitätsprüfung der Simulationsresultate kann gefolgert werden, dass die ermittelten Q-V-Beziehungen zur Beschreibung der Verkehrsqualität auf den HVS ausserorts, den HLS 2x1 und den Tunnelstrecken für einen Einbezug in eine zu überarbeitende Norm SN 640 020a Hauptverkehrs- und Verbindungsstrassen (siehe auch Kap. 2.1) verwendet werden können.

Die im Kap. 9.4 aufgezeigten Abweichungen zu den „Idealverläufen“ werden als nicht bedeutend gewertet. Ob eine Verbesserung durch eine deutliche Verbreiterung der Wertebasis (Anzahl Messstrecken, Anzahl gemessener Fahrtverläufe) zu einer noch besseren Abstufung der Q-V-Kurven - bezüglich aller drei Einflussfaktoren (Schwerverkehrsanteil, Steigungsklasse, Kurvigkeit) und bei den gegenüber Deutschland geringeren Geschwindigkeitsdifferenzen der Fahrzeugkategorien - führen wird, ist ungewiss und nur mit einem bedeutend höheren Arbeitsaufwand verbunden.

Die Forschungsstelle empfiehlt demnach die Übernahme folgender Q-V-Kurven:

HVS ausserorts: Regressionskurven aus Abbildung 45 bis Abbildung 64, wobei für die Fälle in Abbildung 46 lediglich eine gemeinsame Kurve für alle Schwerverkehrsanteile sinnvoll ist.

HLS 2x1: lineare Regressionskurve aus Abbildung 20 für ebene und gerade Verhältnisse

Längere Tunnel: lineare Regressionskurven aus Abbildung 30 und Abbildung 31 für gerade Strecken in den Steigungsklassen 1 und 2

Der entsprechende Geltungsbereich der Kurven muss mittels Betrachtungen zur den Leistungsfähigkeiten (Kap. 10.3) noch abgegrenzt werden.

10.2 Abgrenzung der Verkehrsqualitäten

Die einzelnen Verkehrsqualitätsstufen werden im HBS 2001 in Funktion einer fiktiven Verkehrsdichte [Mfz/km] gerechnet (Verkehrsdichte = Verkehrsmenge (alle Fahrzeuge) / PW-Reisegeschwindigkeit). Damit wird

- den auf kurvigen und steilen Landstrassen verminderten Reisegeschwindigkeiten auch bei kleinen Verkehrsmengen und somit weitgehend „freiem Verkehrsfluss“
- der Bewegungs- resp. Handlungsfreiheit der einzelnen Fahrzeuglenker, z.B. bei der Wahlmöglichkeit seiner „Wunschgeschwindigkeit“ oder die Möglichkeiten für Überholmanöver

Rechnung getragen. Die Auswertungen in Kap. 6 zeigen keinen alternativen, zur Beschreibung der Verkehrsqualität besser geeigneten Kennwert auf. Die auf den HLS gebräuchlichen Qualitätskennwerte wie Auslastung (bezogen auf eine definierte Leistungsfähigkeit, Kap. 2.3.4, aus [11]) oder PW-Reisegeschwindigkeiten eignen sich auf Grund der zu uneinheitlichen Strassenbedingungen (z.B. lange / gerade Überlandstrassen im Vergleich zu kurvigen / steilen Bergstrassen) nicht.

Die einzelnen Stufen werden gemäss HBS 2001 [6] wie folgt definiert:

Beschrieb Verkehrsqualität			Kennwert
VQS	Verkehrsfluss	Merkmale	[MFZ/km]
A	weitgehend frei	Kaum Kolonnen (Pulks) Erreichen Wunschgeschwindigkeit	≤ 5
B	eingeschränkt frei	Kleinere Pulks; Wunschgeschwindigkeit über längere Abschnitte nicht erreichbar	≤ 12
C	teilgebunden	Eingeschränkte Geschwindigkeitswahl; deutliche Pulkbildung	≤ 20
D	gebunden, stabil	Ausgeprägte Fahrzugkolonnen (Pulks); Überholungen kaum möglich	≤ 30
E	Wechsel von stabil zu instabil	Weitgehender Kolonnenverkehr (Pulks); externe Störeinflüsse bewirken Stillstand	≤ 40
F	instabil, überlastet	Stau mit Stop-and-go-Verkehr	> 40

Tabelle 10: Definition der Verkehrsqualitätsstufen (VQS) gemäss HBS 2001 [6]

Anhand der in Kap. 8.1 ermittelten Q-V-Diagramme lassen sich aus dem Verlauf der Q-V-Kurven lediglich für HVS ausserorts mit einer Kurvigkeit von > 250 gon/km Anhaltspunkte für die Abgrenzung der Verkehrsqualitätsstufen E und F herauslesen. Hierzu werden die für einen Schwerverkehrsanteil von 0% ermittelten Kennwerte der Verkehrsdichte beim Übergang des konvexen Verlaufs (z.B. Teil 1 in Abbildung 60) zum konkaven Verlauf (z.B. Teil 2 Abbildung 60) bzw. zum linearen Verlauf (z.B. Teil 3 in Abbildung 60) mit den Definitionen im HBS 2001 [6] verglichen.

Steigungsklasse	1	2	3	4	5
Verkehrsdichte Übergang Teilkurve 1- 2	39.6	41.2	39.6	37.9	40.6
Verkehrsdichte Übergang Teilkurve 2- 3	90.0	89.6	89.7	89.6	96.8
HBS 2001 [6]: Übergang Stufen D-E	30	30	30	30	30
HBS 2001 [6]: Übergang Stufen E-F	40	40	40	40	40

Tabelle 11: Vergleich der ermittelten Dichtekennwerte auf HVS ausserorts (mit Schwerverkehrsanteil 0% und Kurvigkeit > 250 gon/km) mit den im HBS 2001 definierten Dichtekennwerten

Der Vergleich in Tabelle 11 zeigt, dass die Kennwerte bei sehr kurvigen Strecken beim Übergang zwischen den Teilkurven 1 auf 2 praktisch denjenigen zugewiesenen Kennwerten im HBS 2001 [6] beim Übergang zwischen den Stufen E und F entsprechen. Die Analyse der entsprechenden Kurvenübergänge für die Schwerverkehrsanteile 10% und 20% ergibt effektive Verkehrsdichten [Mfz/km] für die Steigungsklassen 1-3 von 35-40 Mfz/km, für die Steigungsklassen 4 und 5 von 45 -55 Mfz/km.

Auf Basis der ermittelten Q-V-Kurven ergeben sich keine Hinweise, dass die im HBS 2001 definierten Abgrenzungen der Verkehrsqualitätsstufen A-E – ausserhalb des unmittelbaren Bereichs der Leistungsfähigkeit - für Schweizer Verhältnisse nicht geeignet wären.

10.3 Leistungsfähigkeit

10.3.1 Generelle Bemerkungen

Gemäss Forschungsziel sind für zweistreifige Strassen ohne bauliche Richtungstrennung auf schweizerische Verhältnisse abgestimmte Werte für die Leistungsfähigkeit anzugeben. In den Schweizer Normen wird der Begriff der Leistungsfähigkeit wie folgt definiert:

„Unter Leistungsfähigkeit einer Verkehrsanlage wird die grösstmögliche Verkehrsstärke verstanden, von der erwartet werden kann, dass sie einen Abschnitt dieser Anlage während einem gegebenen Zeitintervall, bei gegebenen Strassen-, Verkehrs- und Betriebsbedingungen, durchfahren kann.“

Gemäss FA 2000/37 [10] (Kap. 2.3.3) setzt sich in der Fachliteratur immer mehr die Erkenntnis durch, dass die Leistungsfähigkeit als Wert eine variable Grösse darstellt. Dies dürfte besonders für die im vorliegenden Forschungsauftrag untersuchten zweistreifigen Strassen mit einer grossen Vielfalt an Strassen-, Verkehrs- und Betriebsbedingungen der Fall sein.

Während zweistreifige Hochleistungsstrassen („Autostrassen“) sowie lange Tunneln noch in sich „abgeschlossene“ und bezüglich Ausbaustandards homogene Verkehrsanlagen darstellen, ist der Einfluss der Strassenanlage, der Zusammensetzung des Verkehrs und weiterer „externer Einflüsse“ (z.B. abbiegende oder einmündende Fahrzeuge) auf den Hauptstrassen ausserorts auf die Leistungsfähigkeit als hoch einzuschätzen.

In diesem Sinne sollen die Leistungsfähigkeiten bestimmt werden durch:

- Höchste Verkehrsmengen der Querschnittsmessungen (Kap. 6.2) in einer möglichst von den angrenzenden Streckenabschnitten unbeeinflussten Richtung
- Vergleich mit Ergebnissen der Dauerzählstellen des Bundes der Jahre 2003-2006 [15]
- Vergleich mit den Angaben im deutschen HBS 2001 [6]

Die Leistungsfähigkeit einer Anlage (Angebot) hat einen Einfluss auf die messbare Verkehrsbelastung auf einer Strecke (Nachfrage) und umgekehrt. Dauerkurven sind somit nur bedingt geeignet, Aussagen über die Leistungsfähigkeit zu machen.

Bei den nachfolgend in Tabelle 11 genannten Zählstellen mit einer sehr flachen Dauerkurve kann demnach davon ausgegangen werden, dass die Anlagen periodisch zu gewissen Verkehrsspitzen im Bereich ihrer Leistungsfähigkeit betrieben werden. Als Hinweis bei der Festlegung der Kapazität kann somit der Wert der 30. Stunde der Dauerkurve verwendet werden, welcher in der Regel in regelmässigen Abständen (2 - 3 mal pro Monat) erreicht wird und somit kein „Ausnahmeereignis“ mehr darstellt.

10.3.2 Hauptverkehrsstrassen ausserorts

Die Messungen (siehe Kap. 6.2) ergeben folgende höchsten Werte für Verkehrsbelastungen ohne instabilen Verkehrsfluss sowie die zugeordneten Verkehrsdichten:

		Hochgerechnete Stundenwerte (Basis: 10'-Intervalle)		Echte Stundenwerte (gemessen)	
		höchster Wert	10. höchster Wert	höchster Wert	10. höchster Wert
Richtung	Verkehrsstärke	1416 Mfz/h	1338 Mfz/h	1324 Mfz/h	1154 Mfz/h
Regensdorf	Verkehrsdichte	22 Mfz/km	21 Mfz/km		
Querschnitt	Verkehrsstärke	2592 Mfz/h	2376 Mfz/h	2314 Mfz/h	2151 Mfz/h
(beide Richtungen)	Verkehrsdichte	58 Mfz/km	37 Mfz/km		

Tabelle 12: Höchste Messwerte auf HVS ausserorts bei insgesamt stabilem Verkehrsfluss

Die obigen Werte werden alle in der Messstelle Wehntalerstrasse registriert, welche eine jeweils deutliche Lastrichtung aufweist. Die ermittelten querschnittsbezogenen Werte könnten somit bei ausgeglicheneren Richtungsanteilen noch höher ausfallen. Der höchste Querschnittswert bei insgesamt stabilem Verkehrsfluss in beiden Richtungen ist bei 2448 Mfz/h, Querschnitt bzw. 42 Mfz/km, Querschnitt erfasst worden (Vergleich HBS 2001: 2500 Mfz/h, Querschnitt bei 0% LW, 32 Mfz/km).

In einer Auswertung der Zählresultate der Jahre 2003-2006 an den ASTRA-Zählstellen [15] (siehe auch Kap. 4.2) an Hauptstrassen ausserorts können folgende Strecken mit hohen Verkehrsmengen und einer sehr flachen Dauerkurve (als Indiz für einen Betrieb im Bereich der Leistungsfähigkeit) ermittelt werden:

- Nr. 52 Uster, Aathal (Werte des Jahres 2005): Maximale Verkehrsmenge evtl. durch angrenzende Lichtsignalanlage (Seite Uster) bzw. der Ortsdurchfahrt Wetzikon (Seite Wetzikon) bestimmt.
- Nr. 94 Agno Vallone (Werte des Jahres 2003)
- Nr. 189 Le Locle Est (Werte des Jahres 2004): Kurzer Ausserortsbereich zwischen Le Locle und La Chaux-de-Fonds, Verkehrsmengen evtl. durch Ortsdurchfahrten bestimmt

Die richtungsbezogenen effektiven Stundenwerte aus den Dauerkurven der drei Zählstellen [15] lauten:

ASTRA-Zählstelle	Jahr	1. Stunde	30. Stunde	50. Stunde	100. Stunde
Uster, Aathal Ri Wetzikon	2004	1405	1351	1338	1319
Uster, Aathal Ri Uster	2005	1589	1499	1480	1447
Agno, Vallone Ri Ponte Tresa	2003	1350	1274	1250	1222
Agno, Vallone Ri Lugano	2003	1449	1397	1382	1358
Le Locle Est, Ri La Chaux d.F.	2004	1325	1226	1215	1191
Le Locle Est, Ri Le Locle	2004	1390	1331	1320	1291

Tabelle 13: Richtungsbezogene Kennwerte [Mfz/h] aus den Dauerkurven (effektive Stundenwerte)

ASTRA-Zählstelle	Jahr	1. Stunde	30. Stunde	50. Stunde	100. Stunde
Uster, Aathal Ri Wetzikon	2004	2618	2510	2489	2439
Agno, Vallone Ri Ponte Tresa	2003	2197	2057	2040	2007
Le Locle Est, Ri La Chauv d.F.	2004	2621	2454	2419	2372

Tabelle 14: Querschnittsbezogene Kennwerte [Mfz/h] aus den Dauerkurven (effektive Stundenwerte) [15]

Der Vergleich der beiden Quellen zeigt:

- Die im HBS 2001 [6] postulierte Leistungsfähigkeit von rund 2500 Mfz/h im Querschnitt (rund 1250-1375 Mfz/h und Richtung) wird richtungsbezogen an den drei ASTRA-Zählstellen in Etwa erreicht oder überschritten (Tabelle 11).
- An der Messstelle Wehntalerstrasse wird dieser Wert in der von den angrenzenden Strecken kaum beeinflussten Richtung Regensdorf in mehreren Stunden während der zweiwöchigen Messungen erreicht (Tabelle 10).
- Auf Basis der hochgerechneten 10-Minutenintervalle werden richtungsbezogene Verkehrsstärken von 1350-1400 Mfz/h ohne einen insgesamt instabilen Verkehrsfluss gemessen.

Theoretisch wäre bei einem ausgeglichenen Richtungsanteil somit eine querschnittsbezogene Leistungsfähigkeit von gegen 2800 Mfz/h möglich. Im Hinblick auf das „offene Verkehrssystem“ der Hauptstrassen ausserorts mit seitlich einmündenden Erschliessungen, ab- oder einbiegenden Fahrzeugen oder sonstigen Behinderungen des Verkehrsflusses im MIV wie beispielsweise querende Fussgänger, Velofahrer etc. ist eine solche Verkehrsmenge im Querschnitt aber nur unter „idealen“ Bedingungen erreichbar.

Im Wissen, dass

- solche „idealen“ Bedingungen kaum anzutreffen sind
- Hauptstrassen ausserorts mit solch hohen Verkehrsbelastungen in beiden Richtungen sehr selten sind
- instabile Verkehrsverhältnisse bereits bei deutlich tieferen Verkehrsmengen auftreten können (z.B. Strecken mit Tourismusverkehr, Strecken mit häufigeren Abbiegern oder seitlichen Rastplätzen, schlechten Witterungsverhältnissen)
- die Leistungsfähigkeiten entlang eines Verkehrskorridors nicht nur durch die Hauptstrasse ausserorts, sondern vor allem durch angrenzende Knoten oder Ortsdurchfahrten vorgegeben werden
- im Kap. 10.2 für Strecken mit Kurvigkeiten > 250gon/km und 0% Lastwagenanteil ein deutlicher Übergang zu dauerhaft instabilem Verkehrsfluss ab einer Verkehrsdichte von ca. 40 Mfz/km ermittelt werden konnte

schlägt die Forschungsstelle vor, die Leistungsfähigkeit von Hauptstrassen ausserorts bei idealen Verhältnissen (Steigungsklasse 1, Kurvigkeit 0-75 gon/km) mit **2500 Mfz/h** im Querschnitt bzw. bei **1400 Mfz/h** in der Lastrichtung (analog deutschem HBS 2001 [6]) festzulegen. Die zugeordneten Verkehrsdichten betragen auf Basis der ermittelten Q-V-Diagramme rund 39.5 Mfz/km, Querschnitt bzw. rund 22 Mfz/km, Richtung.

10.3.3 Hochleistungsstrassen 2x1

Das deutsche HBS 2001 [6] berücksichtigt im Kapitel zweistreifige Landstrassen auch gut ausgebaute Bundesstrassen, welche mit ihren Trassierungswerten bzw. der erlaubten Höchstgeschwindigkeit nahe bei Verhältnissen auf den Schweizer „Autostrassen“ liegen. Auch für diese Strassen liegt die Leistungsfähigkeit auf ebenen und geraden Strecken mit einem Schwerverkehrsanteil von 0% bei rund 2500 Mfz/h, Querschnitt und somit einer Verkehrsdichte von rund 32 Mfz/km. Bei einer optimalen Auslastung der beiden Fahrstreifen mit Richtungsanteilen von je 50% ergibt dies wiederum einen richtungsbezogenen Wert von rund 1250 Mfz/h, Richtung oder rund 16 Mfz/km.

Die Messungen auf der Umfahrung Aesch ergeben folgende höchsten Werte für die Verkehrsstärken ohne instabilen Verkehrsfluss sowie die entsprechenden Verkehrsdichten:

		Hochgerechnete Stundenwerte (Basis: 10'Intervalle)		Echte Stundenwerte	
		höchster Wert	10. höchster Wert	Höchster Wert	10. höchster Wert
Richtung Basel	Verkehrsstärke- Verkehrsdichte	1656 Mfz/h 22 Mfz/km	1566 Mfz/h 21 Mfz/km	1475 Mfz/h	1301 Mfz/h
Querschnitt (beide Richt.)	Verkehrsstärke Verkehrsdichte	2346 Mfz/h 30 Mfz/km	2178 Mfz/h 27 Mfz/km	2078 Mfz/h	1996 Mfz/h

Tabelle 15: Messwerte aus Querschnittsmessungen auf der H18 Umfahrung Aesch

In einer Auswertung der Zählresultate der Jahre 2003-2006 an den ASTRA-Zählstellen [15] (siehe auch Kap. 4.2) an zweistreifigen Hochleistungsstrassen können folgende Strecken mit hohen Verkehrsmengen und einer sehr flachen Dauerkurve (als Indiz für einen Betrieb im Bereich der Leistungsfähigkeit) ermittelt werden:

- Nr. 178 Andelfingen, Weinlandbrücke (Werte des Jahres 2006): An der Zählstelle selber ist die Strecke in Richtung Winterthur im Anschlussbereich dreistreifig, auf beiden angrenzenden Abschnitten ist die Strasse jedoch pro Fahrtrichtung einstreifig. Die gemessenen Verkehrsmengen gelten somit voraussichtlich auch für den vorangehenden Querschnitt mit 2x1-Fahrstreifen.
- Nr. 181 Flurlingen (Werte des Jahres 2006): Die Zählstelle wird in den Unterlagen unter 4-streifige Autobahnen geführt. Die Vierstreifigkeit ist jedoch durch den Halbanschluss Flurlingen bedingt, so dass die gemessenen Verkehrsmengen mehrheitlich auch den weiteren zweistreifigen Streckenverlauf in Richtung Winterthur befahren.
- Nr. 40 Alpnachstad (Werte des Jahres 2006): Dieser Streckenabschnitt der A8 weist pro Fahrtrichtung jeweils einen Fahrstreifen auf, welche mittels einer doppelten Sicherheitslinie voneinander getrennt ist. Auf dem Streckenabschnitt ist zudem $V_{ZUL} = 100$ km/h signalisiert. Die genannten Bedingungen sind somit ähnlich wie auf der Messstrecke H18 Umfahrung Aesch.

Die richtungsbezogenen effektiven Stundenwerte aus den Dauerkurven der drei Zählstellen [15] lauten:

ASTRA-Zählstelle	Jahr	1. Stunde	30. Stunde	50. Stunde	100. Stunde
Alpnachstad (A8) Ri Brünig	2004	1478	1211	1191	1152
Alpnachstad (A8) Ri Luzern	2006	1470	1287	1234	1171
Andelfingen (A4) Ri Winterthur	2006	1734	1542	1512	1480
Andelfingen (A4) Ri Schaffh.	2006	1586	1526	1510	1475
Flurlingen (A4) Ri Winterthur	2006	1196	1138	1121	1094
Flurlingen (A4) Ri Schaffh.	2006	1404	1289	1269	1237

Tabelle 16: Richtungsbezogene Verkehrsmengen aus den Dauerkurven (effektive Stundenwerte)

ASTRA-Zählstelle	Jahr	1. Stunde	30. Stunde	50. Stunde	100. Stunde
Alpnachstad (A8)	2006	2542	2345	2289	2203
Andelfingen (A4)	2006	2789	2640	2595	2527
Flurlingen (A4)	2006	2526	2351	2315	2262

Tabelle 17: Querschnittsbezogene Verkehrsmengen aus den Dauerkurven (effektive Stundenwerte)

Der Vergleich der beiden Quellen zeigt:

- auf der H18 Umfahrung Aesch werden in der Fahrtrichtung Basel mehrere um rund 200 Mfz/h höhere, hochgerechnete Stundenwerte (mit über 1600 Mfz/h) gemessen als auf der Wehntalerstrasse. Diese Verkehrsmengen werden bei einem innerhalb der 10-Minutenintervalle stabilen Verkehrsfluss gemessen.
- die effektiv gemessenen Stundenwerte mit stabilem Verkehrsfluss betragen auf der H18 Umfahrung Aesch immerhin beinahe 1500 Mfz/h, Richtung (Tabelle 15).
- die Querschnittsbelastungen liegen auf der H18 Umfahrung Aesch infolge der unausgeglichene Richtungsanteile tiefer als auf der Wehntalerstrasse.
- auf der Zählstelle A4 Andelfingen werden richtungsbezogene effektive Stundenwerte im Bereich von 1600 – 1700 Mfz/h, Richtung gemessen (Tabelle 16).
- die höchsten effektiven Querschnittswerte werden an der ASTRA-Zählstelle A4 Andelfingen mit beinahe 2800 Mfz/h gemessen. Weitere Strecken weisen effektive Stundenwerte über 2500 Mfz/h auf (Tabelle 17).

Die zweistreifigen Hochleistungsstrassen weisen gegenüber den Hauptstrassen ausserorts nicht nur homogenere Trassierungen auf, sondern werden üblicherweise mit Überholverbot und fehlenden seitlichen Einmündungen betrieben. Infolge der ausbleibenden „Querverkehrsstörungen“ (z.B. Querungen von Fussgängern, Abbieger) kann die Leistungsfähigkeit für Verhältnisse mit kleinen Längsneigungen auf ca. **1500 Mfz/h** pro Fahrtrichtung festgelegt werden.

Infolgedessen dürfte man im „in sich abgeschlossenen“ System der zweistreifigen Hochleistungsstrasse in ebenem Terrain und mit einem beinahe ausgeglichenen Richtungsanteil der Lastrichtung (von 50-55%) eine Querschnittsleistungsfähigkeit von gegen **2800 Mfz/h** erwarten. Die Verkehrsdichte nach dem Q-V-Digramm (Abbildung 20) entspräche dem Wert von rund 36.9 Mfz/km.

10.3.4 Lange Tunnel

Das deutsche HBS 2001 [6] berücksichtigt im Kapitel zweistreifige Landstrassen auch längere Tunnelstrecken, für welche bei einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h ein Bereich der Leistungsfähigkeit von 1200-1500 Mfz/h, Richtung angegeben wird. Bei ausgeglichenen Richtungsanteilen liegt die Leistungsfähigkeit somit zwischen 2400 – 3000 Mfz/h. Die höheren Werte gelten eher für Tunnels in städtischen Verhältnissen mit überwiegendem Pendlerverkehr. Im Zweifelsfall ist allerdings von den niedrigeren Werten auszugehen.

Die Messungen im Tunnel A2 Arisdorf mit Gegenverkehr in einer Tunnelröhre ergaben folgende Werte für die Verkehrsstärken ohne instabilen Verkehrsfluss sowie die zugeordneten Verkehrsdichten:

		Hochgerechnete Stundenwerte (Basis: 6'-Intervalle)		Echte Stundenwerte	
		höchster Wert	10. höchster Wert	höchster Wert	10. höchster Wert
Richtung Luzern (Steigungsklasse 1)	Verkehrsstärke	1640 Mfz/h	1590 Mfz/h	1448 Mfz/h	1345 Mfz/h
	Verkehrsdichte	23 Mfz/km	20 Mfz/km		
Richtung Basel (Steigungsklasse 2)	Verkehrsstärke	1860 Mfz/h	1720 Mfz/h	1612 Mfz/h	1472 Mfz/h
	Verkehrsdichte	30 Mfz/km	29 Mfz/km		
Querschnitt (beide Richtungen)	Verkehrsstärke	3310 Mfz/h	3090 Mfz/h	2891 Mfz/h	2743 Mfz/h
	Verkehrsdichte	56 Mfz/km	46 Mfz/km		

Tabelle 18: Messwerte aus Querschnittsmessungen im Tunnel A2 Arisdorf für beide Fahrtrichtungen und den Querschnitt

In einer Auswertung der Zählresultate der Jahre 2003-2006 an den ASTRA-Zählstellen [15] (siehe auch Kap. 4.2) in langen Tunnel können folgende Strecken mit hohen Verkehrsmengen und einer sehr flachen Dauerkurve (als Indiz für einen Betrieb im Bereich der Leistungsfähigkeit) ermittelt werden:

- Nr. 132 Pradisla, Chlustunnel (Werte des Jahres 2004): Der Tunnel liegt in der Ausfahrt aus dem Prättigau zur Autobahn A13 und weist sehr hohe saisonale und gerichtete Verkehrsspitzen auf.
- Nr. 211 Leissigen A8 (Werte des Jahres 2004): Der Tunnel Leissigen wird zweistreifig im Gegenverkehr mit $V_{ZUL} = 80$ km/h betrieben.
- Nr. 212 Vue des Alpes (Werte des Jahres 2006): Der Tunnel Vue des Alpes wird gleich wie der Tunnel Leissigen betrieben.

Die Tunnelstrecken am Gotthard und San Bernardino werden infolge des „Tropfenzählersystems“ für den Schwerverkehr (d.h. mit vorgegebenem Mindestabstand) sowie dem überragenden Einfluss des Transit-Schwerverkehrs als Spezialfälle nicht berücksichtigt.

Die richtungsbezogenen effektiven Stundenwerte aus den Dauerkurven der drei Zählstellen [15] lauten:

ASTRA-Zählstelle	Jahr	1. Stunde	30. Stunde	50. Stunde	100. Stunde
Vue des Alpes, Ri Neuchâtel	2005	1417	1264	1244	1196
Vue des Alpes, Ri L.-Ch.-d.-F.	2006	1399	1325	1298	1258
Leissigen A8, Ri Interlaken	2004	1368	1136	1058	919
Leissigen A8, Ri Spiez	2004	1285	1150	1111	1022
Pardisla, Chlus Ri Klosters	2004	1365	966	908	850
Pardisla, Chlus, Ri Landquart	2004	1377	1093	1026	906

Tabelle 19: Richtungsbezogene Verkehrsmengen aus den Dauerkurven (effektive Stundenwerte)

ASTRA-Zählstelle	Jahr	1. Stunde	30. Stunde	50. Stunde	100. Stunde
Vue des Alpes	2006	2606	2441	2418	2337
Leissigen A8	2004	2129	1815	1770	1693
Pardisla, Chlus	2006	2053	1731	1682	1578

Tabelle 20: Querschnittsbezogene Verkehrsmengen aus den Dauerkurven (effektive Stundenwerte)

Der Vergleich der beiden Quellen und mit den Resultaten für Hochleistungsstrassen 2x1 zeigt:

- auf der Messtrecke A2 Arisdortunnel konnten fahrtrichtungsbezogen die im HBS 2001 [6] aufgeführten hohen Verkehrsmengen (sowohl effektiv stündliche als auch hochgerechnete Mengen, Tabelle 18) erreicht und bezüglich einer Fahrtrichtung noch um 100-200 Mfz/h, Richtung übertroffen werden.
- die Verkehrsbelastungen im Querschnitt erreichen – unter den in Kap. 6.2.3 beschriebenen „extremen“ Verkehrsbedingungen – die für die Hochleistungsstrassen 2x1 postulierte Leistungsfähigkeit von 2800-3000 Mfz/h, Querschnitt.
- auf den ASTRA-Zählstellen wird der Wert der Leistungsfähigkeit für HLS 2x1 von 1500 Mfz/h, Richtung nirgends erreicht. Gesicherte Werte liegen für eine Grössenordnung von 1250-1300 Mfz/h, Richtung vor.
- bezogen auf den Querschnitt erreichen die effektiven Stundewerte der ASTRA-Zählstellen mit bis zu 2400 Mfz/h, Querschnitt die sehr hohen Maximalwerte der Messtrecke A2 Tunnel Arisdorf nicht.

Im Hinblick auf das gegenüber den HVS ausserorts „in sich abgeschlossene“ Strassensystem in langen Tunnels (z.B. keine seitlichen Zufahrten) dürfte die Leistungsfähigkeit in langen Tunnels nicht kleiner sein als auf den HVS ausserorts. Im Hinblick auf die verschiedenen Verkehrsfunktionen (Teile Transitachsen, HLS 2x1 in Tunnels, reine HVS-Tunnels auf Haupt- und auf Nebenstrecken) erscheint ähnlich dem HBS 2001 ein **Bereich** der Leistungsfähigkeit **zwischen 1300–1500 Mfz/h, Richtung** als realistisch.

Die querschnittsbezogenen Leistungsfähigkeiten liegen somit je nach Lage und Funktion der Tunnelstrecke zwischen **2500–2800 Mfz/h, Querschnitt**. Der kleinere Wert dürfte für Tunnel auf HVS ausserorts, der höhere Wert auf HLS 2x1 in Ballungsräumen v. a. bei ausgeprägtem Pendlerverkehr zutreffen.

11 WÜRDIGUNG UND WEITERER FORSCHUNGSBEDARF

Trotz den weitgehend fehlenden Datengrundlagen konnten mit dem pragmatischen Vorgehen einige der in Kap. 1 aufgeführten Wissenslücken gefüllt und das Forschungsziel insgesamt erreicht werden.

Gegenüber den deutschen Verhältnissen resultiert ein insgesamt homogeneres Geschwindigkeitsverhalten und ein kleinerer Einfluss des Schwerverkehrs auf Steigungsstrecken. Die zur Beschreibung der Verkehrsqualität massgebenden Q-V-Diagramme des deutschen HBS 2001 [6] können somit nicht auf die Schweizer Verhältnisse übertragen werden und müssen entsprechend angepasst werden. Mit den erarbeiteten Q-V-Diagrammen stehen Resultate zur Beschreibung der Verkehrsqualität in der anzupassenden Norm SN 640 020 zur Verfügung.

Die ermittelten Q-V-Diagramme ergeben keine Hinweise, dass die Einteilung der Verkehrsqualitätsstufen A-F mit zugeordneten Verkehrsdichten gemäss dem HBS 2001 [6] für Schweizer Verhältnisse geändert werden müsste.

Für diejenigen Strassentypen mit vorliegenden Querschnittsmessungen konnten die im HBS 2001 [6] aufgeführten Leistungsfähigkeiten nachgewiesen werden. Insbesondere auf den HVS ausserorts ist die rein „streckenbezogene“ Leistungsfähigkeit häufig nicht massgebend, da sich im Vor- und Nachlauf von Ausserortsstrecken weitere, meist weit stärker limitierende Strassenabschnitte wie à-Niveau-Knoten oder Ortsdurchfahrten befinden. Zudem birgt eine rein „querschnittsbezogene“ Leistungsanalyse eine Unterschätzung der Verkehrssituation auf vielen Strassen mit einer tageszeitlich stark ausgeprägten Lastrichtung. Gegenüber dem HBS 2001 [6] plädiert die Forschungsstelle bei der Leistungsanalyse für eine duale Betrachtungsweise (Lastrichtung, Querschnitt).

Selbst mit der vorliegenden pragmatischen Bearbeitungsweise wurden die Grenzen der Modellbildung - insbesondere im Bereich von grossen Verkehrsmengen - erreicht. Für wesentliche Einflussfaktoren wie z.B. das Abstandsverhalten im Kolonnenverkehr, die Häufigkeit bzw. die Auswirkungen der „modellexternen Störungen“ (z.B. durch Abbieger) fehlen Schweizer Erkenntnisse, welche zur besseren Kalibration der Simulationsmodelle verwendet werden können.

Aus Sicht der Forschungsstelle besteht für folgende Felder noch weiterer Forschungsbedarf:

- Verbreiterung der Datenbasis sowohl für HVS ausserorts als auch HLS 2x1, insbesondere für stark befahrene Strecken (in Bezug auf die Q-V-Diagramme mittleren bis hohen Verkehrsmengen)
- Untersuchung des Abstandsverhaltens der Fahrzeuge im Bereich von Fahrzeugkolonnen (Pulks) und insbesondere im Bereich der Leistungsfähigkeiten; vermutlich wird dieses Abstandsverhalten für die maximalen Verkehrsmengen massgebend. Dabei wären auch Aussagen zu Aspekten der Verkehrssicherheit möglich
- Untersuchungen zum Überholverhalten (z.B. in Funktion der Verkehrsmengen/der Länge der Abschnitte im Ausserortsbereich) sowie zum tatsächlichen Einfluss von Überholverböten
- Bei Bedarf Ergänzung der Angaben für weitere „Spezialfälle“ wie steile/kurvige HLS 2x1 und/oder steile/kurvige Tunnel

12 VERZEICHNISSE

12.1 Quellenverzeichnis

- [1] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute Zürich, SN 640 020 Leistungsfähigkeit, Verkehrsqualität, Belastbarkeit, Hauptverkehrs- und Verbindungsstrassen, 1999
- [2] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute Zürich, SN 640 041, Projektierung Grundlagen, Strassentyp: Hochleistungsstrassen, 1992
- [3] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute Zürich, SN 640 042, Projektierung Grundlagen, Strassentyp: Hauptverkehrsstrassen, 1992
- [4] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute Zürich, SN 640 043, Projektierung Grundlagen, Strassentyp: Verbindungsstrassen, 1992
- [5] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute Zürich, SN 640 017a, Leistungsfähigkeit, Verkehrsqualität, Belastbarkeit, Grundlagennorm, 1998
- [6] Handbuch für die Bemessung von Strassenverkehrsanlagen (HBS), Schlussbericht Juli 1998, W. Brilon/Bundesanstalt für das Strassenwesen Köln 1999
- [7] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute Zürich, Schweizer Norm SN 640 138b Linienführung, Zusatzstreifen in Steigungen und Gefällen, 2005
- [8] Brilon W, Weiser F., Ermittlung von Q-V Diagrammen für zweistreifige Strassen ausserhalb geschlossener Ortschaften, Schriftenreihe „Forschung Strassenbau und Strassenverkehrstechnik“ Bundesministerium für Verkehr, Heft 747, Bonn 1997
- [9] Rudolf Keller & Partner, Zweistreifige Hauptverkehrs- und Verbindungsstrassen ausserhalb besiedelter Gebiete, Arbeitsbericht zuhanden der Begleitkommission, 1998 (unveröffentlicht)
- [10] IVT ETH Zürich, Geschwindigkeiten in Steigungen und Gefällen, Forschungsauftrag VSS 1998/079 (20/98), Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation, Bundesamt für Strassen, 2003
- [11] Jenni+Gottardi/SNZ Ingenieure und Planer, Verkehrsqualität und Leistungsfähigkeit auf Autobahnen, Forschungsauftrag VSS 2000/337, Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation, Bundesamt für Strassen, 2004
- [12] IVT ETH Zürich, Geschwindigkeitsniveaus auf verschiedenen Strassentypen, Dezember 1993
- [13] Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Fahrverhalten von Personwagen in der Schweiz, Schlussbericht, Umwelt-Materialien Nr. 40 Luft, 1995
- [14] Highway Capacity Manual (HCM 2000), Transportation Research Board, Washington D.C., 2000
- [15] Bundesamt für Strassen, ASTRA, Automatische Strassenverkehrszählung 2003/2004/2005/2006
- [16] Ruhr Universität Bochum, Verfahren zur Berechnung der Leistungsfähigkeit und Qualität des Verkehrsablaufs auf Strassen „Deutsches HCM“, Erster Entwurf des Handbuchs, Teil A, 1993

12.2 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Arbeitspakete gemäss Forschungsgesuch der Forschungsstelle	9
Abbildung 2:	Beispiel für ein Q-V-Diagramm des HBS 2001 [6]	11
Abbildung 3:	Spezielles Q-V-Diagramm für lange Tunneln des HBS 2001 [6]	12
Abbildung 4:	Bestimmung der Verkehrsqualität (rot) bzw. der den Verkehrsqualitätsstufen zugeordneten maximalen Verkehrsstärken (gelb)	16
Abbildung 5:	Elemente der Q-V- Diagramme des HBS 2001 [6]	17
Abbildung 6:	Vergleich der Geschwindigkeitsprofile des Schweizer Bemessungslastwagens (schwarz) mit dem deutschen Bemessungslastwagen (rot)	18
Abbildung 7:	Festlegung der massgebenden Ausprägungen auf den HVS/VS ausserorts	18
Abbildung 8:	Festlegung der massgebenden Ausprägungen auf den Hochleistungsstrassen	19
Abbildung 9:	Zusammenfassung der vorhandenen Erhebungsergebnisse an den Messstellen Herzogenbuchsee / Obergösgen / Laufen	21
Abbildung 10:	Darstellung des Zählstellennetzes des Bundes (Stand Juni 2005) [15]	23
Abbildung 11:	gewählte Messanordnung für den Testdurchlauf auf der H18 Laufen -Zwingen	25
Abbildung 12:	Vergleich aller Querschnittsmessungen auf „ebenen und geraden“ Strecken	31
Abbildung 13:	Regressionsgleichungen zur Beschreibung der Messwerte	31
Abbildung 14:	Q-V-Diagramm der Messstelle Wehntalerstrasse in Richtung Regensdorf	33
Abbildung 15:	Q-V-Diagramm der Messstelle Wehntalerstrasse in Richtung Affoltern	33
Abbildung 16:	Differenzierung der Messwerte im Q-V-Diagramm anhand der Schwerverkehrsanteile	35
Abbildung 17:	Zusammenhänge mittlere Geschwindigkeit V_M (aller Mfz) mit dem Schwerverkehrsanteil	35
Abbildung 18:	Abhängigkeiten zwischen der Gesamtbelastung im Querschnitt und der Differenzen zwischen den Geschwindigkeitskennziffern $V_{15\%} / V_M / V_{85\%}$	37
Abbildung 19:	Abhängigkeiten zwischen Mittlerer Geschwindigkeit (V_M aller Mfz) und dem Richtungsanteil der Verkehrsstärke einer Fahrtrichtung am Messquerschnitt	37
Abbildung 20:	Q-V-Diagramm für beide Richtungen zusammen	39
Abbildung 21:	Schematische Darstellung der Situation auf der Messstrecke H18	39
Abbildung 22:	Q-V-Diagramme für die beiden Fahrrichtungen Basel und Delémont	41
Abbildung 23:	Q-V-Diagramm in Fahrtrichtung Delémont	41
Abbildung 24:	Q-V-Diagramm für beide Richtungen zusammen	43
Abbildung 25:	Zusammenhang zwischen mittlerer Geschwindigkeit (V_M aller Mfz) und dem Schwerverkehrsanteil	43
Abbildung 26:	Längsprofil und Situation der Messanordnung auf der A2 im Tunnel Arisdorf	45
Abbildung 27:	Schematische Darstellung der Fahrstreifenanordnung auf der Messstrecke A2 Tunnel Arisdorf	45
Abbildung 28:	Q-V-Diagramme für die jeweilige Fahrtrichtung	47
Abbildung 29:	Q-V-Diagramm für den Gesamtquerschnitt	47
Abbildung 30:	Q-V-Diagramm für die Fahrtrichtung Süd (Richtung Luzern)	49
Abbildung 31:	Q-V-Diagramm für die Fahrtrichtung Nord (Richtung Basel)	49
Abbildung 32:	Zusammenhang zwischen mittlerer Geschwindigkeit und dem Schwerverkehrsanteil für die Fahrtrichtung Basel	50
Abbildung 33:	Q-V-Diagramm für die Fahrtrichtung Basel (Steigungsklasse 2) in Abhängigkeit des Schwerverkehrsanteils	51
Abbildung 34:	Q-V-Diagramm für die Fahrtrichtung Luzern (Steigungsklasse 1) in Abhängigkeit des Schwerverkehrsanteils	51
Abbildung 35:	Zusammenhang zwischen der mittleren Geschwindigkeit in Fahrtrichtung Basel und dem Anteil der Gegenrichtung an der Gesamtbelastung im Tunnel	53
Abbildung 36:	Zusammenhang zwischen der mittleren Geschwindigkeit in Fahrtrichtung Luzern und dem Anteil der Gegenrichtung an der Gesamtbelastung im Tunnel	53
Abbildung 37:	Schematische Ansicht des Aufbaus einer Simulationsstrecke	55
Abbildung 38:	Auswertung der GPS-Messungen mit typischen Fahrtverläufen	57
Abbildung 39:	Auswertung der GPS-Messungen mit typischen Fahrtverläufen	57
Abbildung 40:	Verteilung der PW-Geschwindigkeiten auf der Messstrecke Wehntalerstrasse	59
Abbildung 41:	Kalibration der Simulationsstrecke Wehntalerstrasse	59
Abbildung 42:	Geschwindigkeiten von langsamen Lastwagen in Längsneigungen	61
Abbildung 43:	Beispiel für die Kalibration des Simulationsmodells für die Messstrecke Staffelegg	63
Abbildung 44:	Beispiel für die Kalibration des Simulationsmodells für die Messstrecke Unterer Hauenstein	63
Abbildung 45:	Q-V-Diagramm für HVS mit Steigungsklasse 1 und Kurvigkeit 0 -75 gon/km	66

Abbildung 46:	Q-V-Diagramm für HVS mit Steigungsklasse 2 und Kurvigkeit 0 – 75 gon/km	67
Abbildung 47:	Q-V-Diagramm für HVS mit Steigungsklasse 3 und Kurvigkeit 0 -75 gon/km	67
Abbildung 48:	Q-V-Diagramm für HVS mit Steigungsklasse 4 und Kurvigkeit 0 -75 gon/km	68
Abbildung 49:	Q-V-Diagramm für HVS mit Steigungsklasse 5 und Kurvigkeit 0 -75 gon/km	68
Abbildung 50:	Q-V-Diagramm für HVS mit Steigungsklasse 1 und Kurvigkeit 75 – 150 gon/km	69
Abbildung 51:	Q-V-Diagramm für HVS mit Steigungsklasse 2 und Kurvigkeit 75 – 150 gon/km	70
Abbildung 52:	Q-V-Diagramm für HVS mit Steigungsklasse 3 und Kurvigkeit 75 – 150 gon/km	70
Abbildung 53:	Q-V-Diagramm für HVS mit Steigungsklasse 4 und Kurvigkeit 75 – 150 gon/km	71
Abbildung 54:	Q-V-Diagramm für HVS mit Steigungsklasse 5 und Kurvigkeit 75 – 150 gon/km	71
Abbildung 55:	Q-V-Diagramm für HVS mit Steigungsklasse 1 und Kurvigkeit 150 - 250 gon/km	72
Abbildung 56:	Q-V-Diagramm für HVS mit Steigungsklasse 2 und Kurvigkeit 150 - 250 gon/km	73
Abbildung 57:	Q-V-Diagramm für HVS mit Steigungsklasse 3 und Kurvigkeit 150 - 250 gon/km	73
Abbildung 58:	Q-V-Diagramm für HVS mit Steigungsklasse 4 und Kurvigkeit 150 - 250 gon/km	74
Abbildung 59:	Q-V-Diagramm für HVS mit Steigungsklasse 5 und Kurvigkeit 150 - 250 gon/km	74
Abbildung 60:	Q-V-Diagramm für HVS mit Steigungsklasse 1 und Kurvigkeit > 250 gon/km	75
Abbildung 61:	Q-V-Diagramm für HVS mit Steigungsklasse 2 und Kurvigkeit > 250 gon/km	76
Abbildung 62:	Q-V-Diagramm für HVS mit Steigungsklasse 3 und Kurvigkeit > 250 gon/km	76
Abbildung 63:	Q-V-Diagramm für HVS mit Steigungsklasse 4 und Kurvigkeit > 250 gon/km	77
Abbildung 64:	Q-V-Diagramm für HVS mit Steigungsklasse 5 und Kurvigkeit > 250 gon/km	77
Abbildung 65:	Auswertung der effektiven und hochgerechneten Stundenwerte	79
Abbildung 66:	Darstellung der Häufigkeitsverteilung der effektiven und hochgerechneten Stundenwerte	79
Abbildung 67:	Beispiel des Einflusses des Schwerverkehrsanteils auf Hauptverkehrsstrassen	81
Abbildung 68:	Vergleich der Q-V-Kurven aus den Simulationsresultaten für HVS ausserorts	83
Abbildung 69:	Vergleich der Q-V-Kurven aus den Simulationsresultaten für HVS ausserorts	83
Abbildung 70:	Vergleich der Q-V-Kurven aus den Simulationsresultaten für HVS ausserorts	85
Abbildung 71:	Vergleich der Q-V-Kurven aus den Simulationsresultaten für HVS ausserorts	85

12.3 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Verkehrsqualitätsstufen (VQS) und deren zugeordnete Verkehrsdichten	15
Tabelle 2:	stark belastete zweistreifige ASTRA-Zählstellen auf „Autostrassen“	22
Tabelle 3:	stark belastete zweistreifige ASTRA-Zählstellen auf zweistreifigen HVS	22
Tabelle 4:	Zusammenstellung der GPS-Messungen auf ausgewählten HVS ausserorts	28
Tabelle 5:	Kennwerte „mittlere Reisezeit“ sowie „mittlere Reisegeschwindigkeit“	29
Tabelle 6:	Ausgewertete Messungen auf „ebenen und geraden“ Strecken	30
Tabelle 7:	Zusammenstellung der ausgewerteten Messstandorte sowie ihre Klassierung	45
Tabelle 8:	Messresultate zur Dauergeschwindigkeit V_D aus dem VSS-FA 20/98	61
Tabelle 9:	Adaptierung der vier kalibrierten Simulationstrecken	64
Tabelle 10:	Definition der Verkehrsqualitätsstufen (QSV) gemäss HBS 2001	87
Tabelle 11:	Vergleich der ermittelten Dichtekennwerte auf HVS ausserorts	87
Tabelle 12:	Höchste Messwerte auf HVS ausserorts bei insgesamt stabilem Verkehrsfluss	89
Tabelle 13:	Richtungsbezogene Kennwerte [Mfz/h] aus den Dauerkurven	89
Tabelle 14:	Querschnittsbezogene Kennwerte [Mfz/h] aus den Dauerkurven	90
Tabelle 15:	Messwerte aus Querschnittsmessungen auf der H18 Umfahrung Aesch	91
Tabelle 16:	Richtungsbezogene Verkehrsmengen aus den Dauerkurven	92
Tabelle 17:	Querschnittsbezogene Verkehrsmengen aus den Dauerkurven	92
Tabelle 18:	Messwerte aus Querschnittsmessungen im Tunnel A2 Arisdorf	93
Tabelle 19:	Richtungsbezogene Verkehrsmengen aus den Dauerkurven	94
Tabelle 20:	Querschnittsbezogene Verkehrsmengen aus den Dauerkurven	94

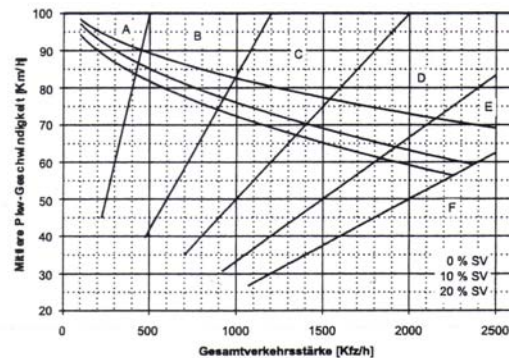
12.4 Abkürzungsverzeichnis

SN	Schweizer Norm
LOS	Level of service (Verkehrsqualitätsstufe)
HCM	Highway Capacity Manual (USA)
HBS	Handbuch für die Bemessung von Strassen (D)
HVS	Hauptverkehrsstrasse
RVS/VS	(Regional-) Verbindungsstrasse
HLS	Hochleistungsstrasse
VSS	Verband Schweizerischer Strassenfachleute
AP	Arbeitspaket (des Forschungsauftrags)
Kap.	Kapitel (des Forschungsberichts)
PW	Personenwagen
LW	Lastwagen
LZ	Lastenzug
V	Geschwindigkeit [km/h] (querschnittsbezogen)
Max.	Maximal
Min.	Minimal
RAS-N	Richtlinie für die Anlage von Strassen – Teil: Nutzen (D)
RAS-Q	Richtlinie für die Anlage von Strassen – Teil: Querschnitte (D)
Mfz	Motorfahrzeuge
Q	Verkehrsmenge (Verkehrsstärke)
SV	Schwerverkehrsanteil (an Gesamtverkehrsmenge)
V_M	mittlere Geschwindigkeit [km/h]
$V_{M,PW}$	mittlere PW-Geschwindigkeit [km/h]
V_R	Reisegeschwindigkeit [km/h]
V_{RM}	mittlere Reisegeschwindigkeit [km/h]
$V_{RM,PW}$	mittlere PW-Reisegeschwindigkeit [km/h]
ÜAS	Überprüfung der Anlageverhältnisse von Strassen (Richtlinie A)
$V_{15\%}$	15%-Perzentile der Geschwindigkeitsverteilung
$V_{85\%}$	85%-Perzentile der Geschwindigkeitsverteilung
V_D	Dauergeschwindigkeit (= Beharrungsgeschwindigkeit)
V_A	Ausbaugeschwindigkeit
V_P	Projektierungsgeschwindigkeit
t_R	Reisezeit
t_{RM}	mittlere Reisezeit
SSV	(eidgenössische) Strassensignalisationsverordnung
STK	Steigungsklasse
VQS	Verkehrsqualitätsstufe
V_{SIGN}	signalisierte Höchstgeschwindigkeit
V_{GEN}	generelle Höchstgeschwindigkeit
V_{ZUL}	zulässige Höchstgeschwindigkeit

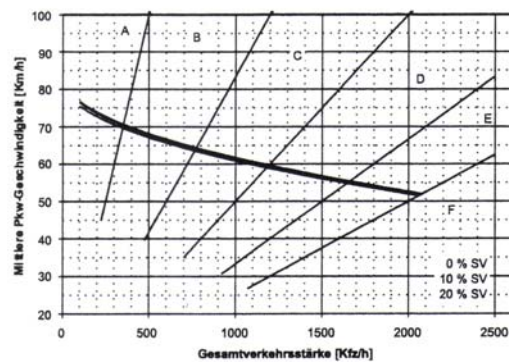
ANHANG

Q-V-DIAGRAMME AUS DEM HBS 2001

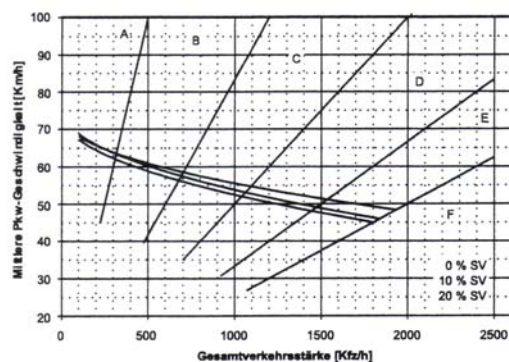
Kurvigkeit
0-75 gon/km



75-150



150-225



> 225

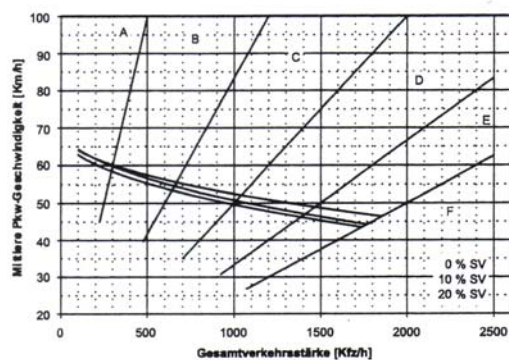
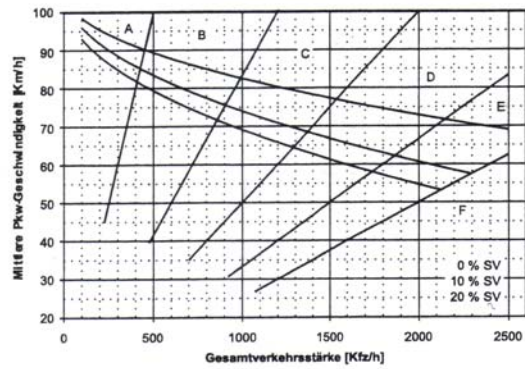
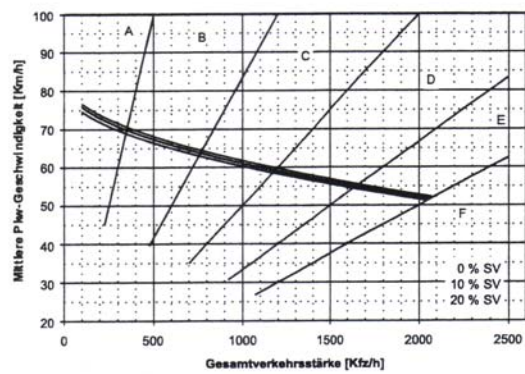


Abbildung 1: Mittlere PW-Reisegeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Verkehrsstärke für Strecken der Steigungsklasse 1 (mit Angaben der Qualitätsstufen A bis F) [6]

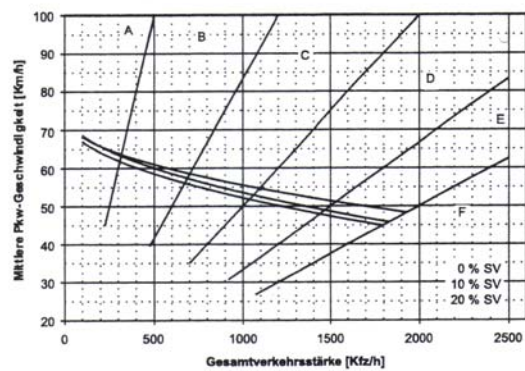
Kurvigkeit
0-75 gon/km



75 - 150



150 - 225



> 225

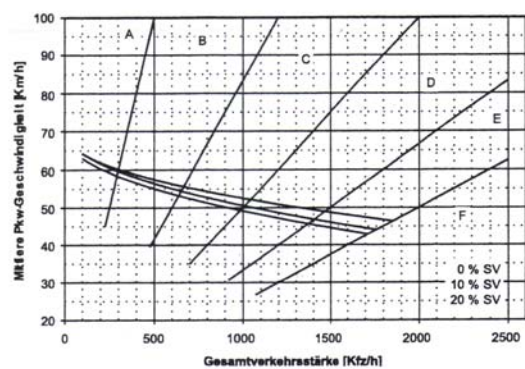
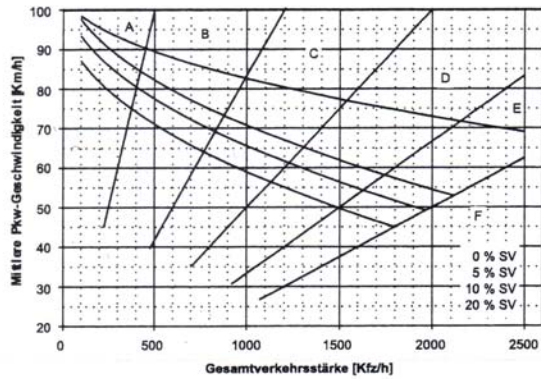
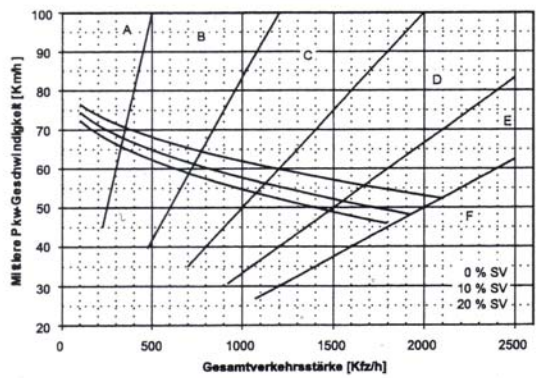


Abbildung 2: Mittlere PW-Reisegeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Verkehrsstärke für Strecken der Steigungsklasse 2 (mit Angaben der Qualitätsstufen A bis F) [6]

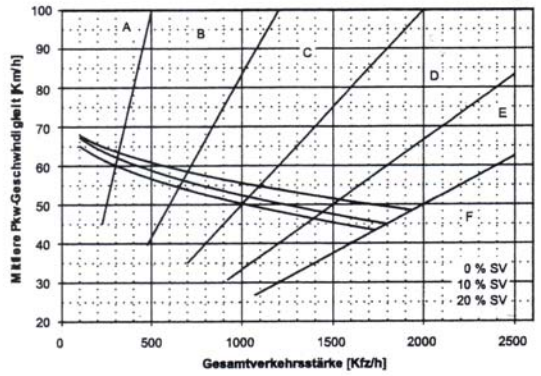
Kurvigkeit
0-75 gon/km



75-150



150-225



> 225

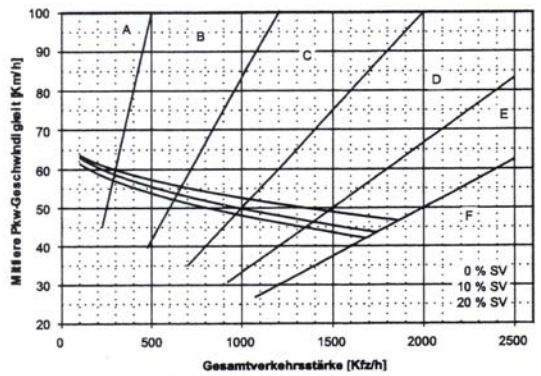
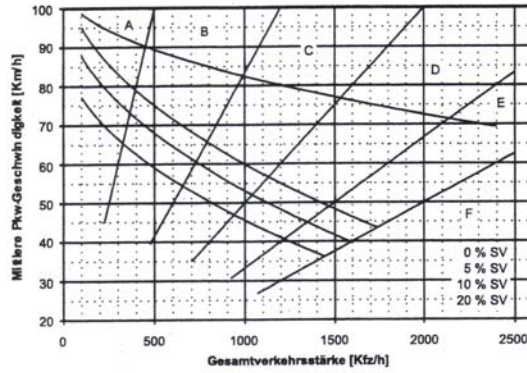
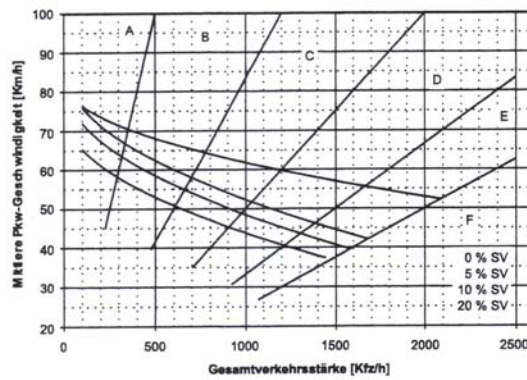


Abbildung 3: Mittlere PW-Reisegeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Verkehrsstärke für Strecken der Steigungsklasse 3 (mit Angaben der Qualitätsstufen A bis F) [6]

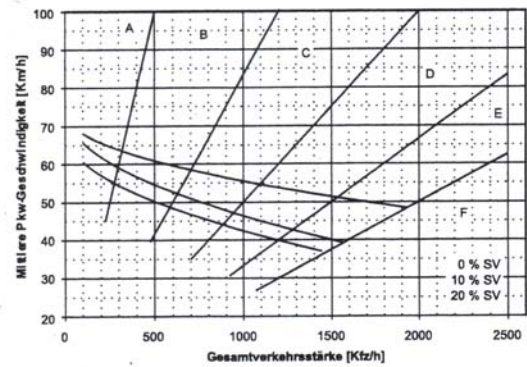
**Kurvigkeit
0-75 gon/km**



75-150



150-225



> 225

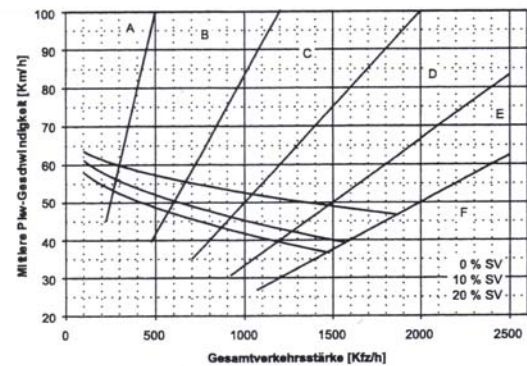
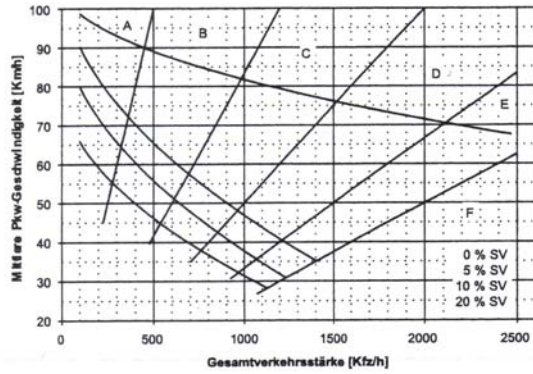
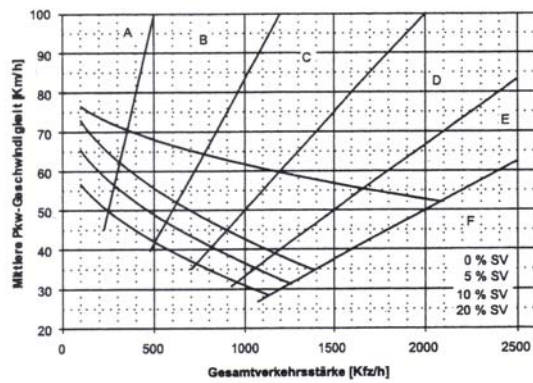


Abbildung 4: Mittlere PW-Reisegeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Verkehrsstärke für Strecken der Steigungsklasse 4 (mit Angaben der Qualitätsstufen A bis F) [6]

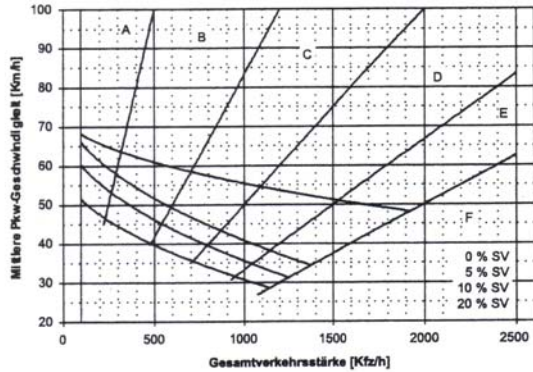
**Kurvigkeit
0-75 gon/km**



75-150



150-225



> 225

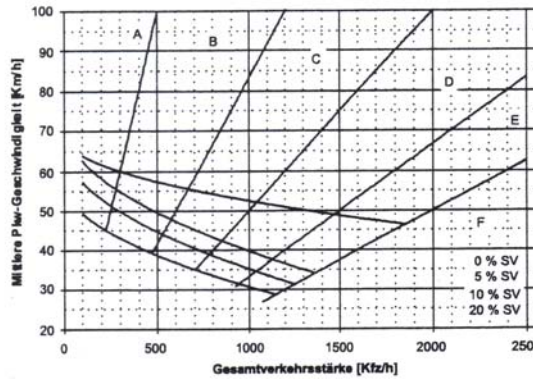


Abbildung 5: Mittlere PW-Reisegeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Verkehrsstärke für Strecken der Steigungsklasse 5 (mit Angaben der Qualitätsstufen A bis F) [6]

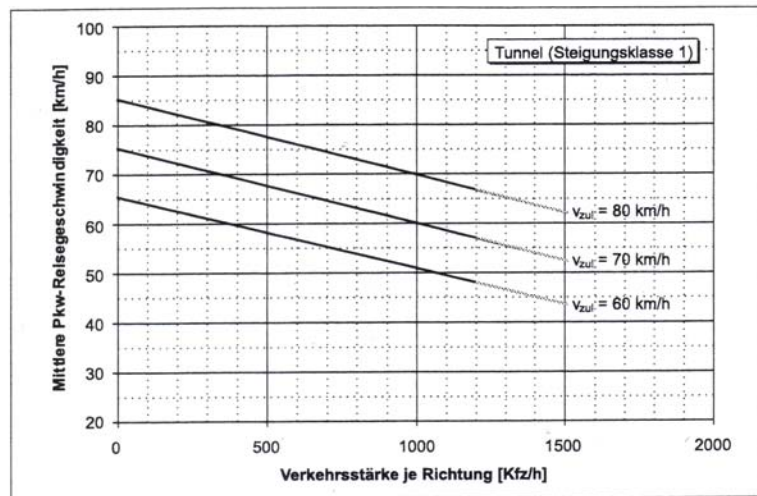


Bild 5-7: Mittlere Pkw-Reisegeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Verkehrsstärke in Tunneln

Abbildung 6: Mittlere PW-Reisegeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Verkehrsstärke für Strecken in Tunnelabschnitten (mit Angaben der Qualitätsstufen A bis F) [6]

MERKMALE UND REFERENZZUSTAND AUS SN 640 020

Merkmale zweistreifiger HVS/RVS ausserorts	Grundlagen zur Beurteilung der Verkehrsqualität/Leistungsfähigkeit
Strassenbedingungen Geometrisches Normalprofil – Fahrstreifenbreite – Standstreifenbreite – Bankettbreite – Rad- und Gehwege, Radstreifen Kurvigkeit Längsneigungen (Gradient, Länge) Seitlicher Zutritt Zusatzstreifen in Steigungen	Planunterlagen Gegebenheiten/Projekt, VSS-Normen [14], [15] und [16] Gegebenheiten/Projekt Gegebenheiten/Projekt, VSS-Norm [12] Gegebenheiten/Projekt, VSS-Normen [10] und [11] Gegebenheiten/Projekt, VSS-Norm [13]
Verkehrsbedingungen Verkehrsstärken mit Richtungsanteilen Schwerverkehrsanteil Anteil langsamer Fahrzeuge sowie leichter Zweiräder Kollektiv der Fahrzeuglenker	Verkehrserhebungen Verkehrszählungen [1] und [2], Modellrechnungen, Schätzungen, Ganglinientyp [3], Dauerkurven [4], Lage im Netz Verkehrszählungen [1] und [2], Modellrechnungen, Schätzungen, Ganglinientyp [3], Lage im Netz Verkehrszählungen [1] und [2], Modellrechnungen, Schätzungen, Ganglinientyp [3], Lage im Netz Verkehrsbefragungen [1] und [2], Ganglinientyp [3], Lage im Netz
Betriebsbedingungen Geschwindigkeitsbeschränkungen Überholverbote	Rechtsgrundlagen SVG/VRV/SSV, Situation, Signalisationspläne SVG/VRV/SSV, Situation, Signalisations-/Markierungspläne

Abbildung 1: Merkmale der Strassen-, Verkehrs- und Betriebsbedingungen von zweistreifigen HVS/RVS ausserorts mit Angabe der Grundlagen [1]

Massgebende Einflussgrössen zweistreifiger HVS/RVS ausserorts	Kennwerte Referenzzustand	Berücksichtigung im Verfahren bei abweichenden Merkmalen
Strassenbedingungen Fahrstreifenbreite Seitliche Hindernisfreiheit Kurvigkeit Längsneigungen (Gradient, Länge)	3,5 m Bankettbreite und allfällige Mehrzweckstreifen: 1,0 m (min. 0,5 m) anbaufrei 0–75 gon/km ebene Fahrbahn mit max. Längsneigung 2%	Kleinere Breiten nicht berücksichtigt Hinweise bei Abweichungen Kurvigkeitsklassen in Wertetabelle Steigungsklassen in Wertetabelle
Verkehrsbedingungen Richtungsanteil Schwerverkehrsanteil Anteil langsamer Fahrzeuge Anteil leichter Zweiräder Kollektiv der Fahrzeuglenker	Annähernd ausgeglichen 0–5 % 0% (keine langsamen Fahrzeuge) 0% Berufspendlerverkehr überwiegend	Keine Berücksichtigung Direkt aus Wertetabelle Keine Berücksichtigung Keine Berücksichtigung Hinweise bei Abweichungen vom Referenzzustand
Betriebsbedingungen Geschwindigkeitsbeschränkungen Überholverbote Witterungs- und Lichtverhältnisse (Strassenzustand)	Höchstgeschwindigkeit 80 km/h Keine Überholverbote Guter Belag, trockene Fahrbahn, gute Sichtverhältnisse, Tageslicht	Keine Berücksichtigung Zuschlag zur Kurvigkeit Keine Berücksichtigung

Abbildung 2: Berücksichtigung der massgebenden Einflussfaktoren zweistreifiger HVS/RVS ausserorts für den „Referenzzustand“ aus SN 640 020 [1]

H18 LAUFEN-ZWINGEN

Massgebende Ausprägungen („Typisierungen“)

Kriterium	Typisierte Ausprägungen				
Querschnitt	Tunnel	Offen, Markierung		Offen, Baken mit Sicherheitslinien	Offen, bauliche Trennung
Fahrstreifen	Kleiner 2x1	2 x 1	2 / 1	2 x 2	2 x 3
Seitl. Abschluss	Böschung	Trottoir	Velostreifen	Standstreifen	Mauer; Geländer
Geschwindigkeit	$V_{SIGN} = 60 \text{ km/h}$		$V_{SIGN} = 70 \text{ km/h}$	$V_{GEN} = 80 \text{ km/h}$	$V_{SIGN} = 100 \text{ km/h}$
Lastwagenanteil	0%	5%	10%	15%	20% über 25%
Kurvigkeit	0 – 75 gon/km		75 – 150 gon/km	150 – 225 gon/km	> 225 gon/km
Steigungsklasse	1	2	3	4	5
Sichtweiten	≥ Überholsichtweite		≥ Überholsichtweite teilweise		Anhaltesichtweite
Überholverbot	kein Verbot		einseitig		beidseitig

Lage/Foto**Weitere Kennwerte**

DTV: 14'700 Mfz/Tag

Werktag: 16'200 Mfz/Tag

Spitzenstunde: 1400 Mfz/h

LW-Anteil (am DTV): 7,4%

An beiden Streckenenden Bereiche mit $V_{SIGN} = 60 \text{ km/h}$

Überregionale Verbindung Basel – Jura – Biel

H18 UMFÄHRUNG AESCH

Massgebende Ausprägungen („Typisierungen“)

Kriterium	Typisierte Ausprägungen					
Querschnitt	Tunnel	Offen, Markierung		Offen, Baken mit Sicherheitslinie		Offen, bauliche Trennung
Fahrstreifen	Kleiner 2x1	2 x 1		2 / 1	2 x 2	2 x 3
Seitl. Abschluss	Böschung	Bankett	Velostreifen	Standstreifen	Mauer; Geländer	
Geschwindigkeit	$V_{SIGN} = 60 \text{ km/h}$		$V_{SIGN} = 70 \text{ km/h}$		$V_{SIGN} = 80 \text{ km/h}$	
Lastwagenanteil	0%	5%		10%	15%	20%
Kurvigkeit	0 – 75 gon/km		75 – 150 gon/km		150 – 225 gon/km	
Steigungsklasse	1	2		3	4	5
Sichtweiten	≥ Überholsichtweite		≥ Überholsichtweite teilweise			Anhaltesichtweite
Überholverbot	kein Verbot			einseitig		beidseitig

Lage / Foto**Weitere Kennwerte:**

DTV: 19'500 Mfz/Tag

Werktag: 21'300 Mfz/Tag

Spitzenstunde: 1800 Mfz/h

LW-Anteil (am DTV): 7,2%

An beiden Streckenenden Anschlussbereiche
Überregionale Verbindung Basel – Jura – Biel

WEHNTALERSTRASSE (ZH-AFFOLTERN-REGENSDORF)

Massgebende Ausprägungen („Typisierungen“)

Kriterium	Typisierte Ausprägungen					
Querschnitt	Tunnel	Offen, Markierung		Offen, Baken mit Sicherheitslinie		Offen, bauliche Trennung
Fahrstreifen	Kleiner 2x1	2 x 1		2 / 1	2 x 2	2 x 3
Seitl. Abschluss	Böschung	Bankett	Velostreifen	Standstreifen	Mauer; Geländer	
Geschwindigkeit	$V_{SIGN} = 60 \text{ km/h}$		$V_{SIGN} = 70 \text{ km/h}$		$V_{GEN} = 80 \text{ km/h}$	
Lastwagenanteil	0%	5%	10%	15%	20%	über 25%
Kurvigkeit	0 – 75 gon/km		75 – 150 gon/km		150 – 225 gon/km	
Steigungsklasse	1	2	3	4	5	
Sichtweiten	≥ Überholsichtweite		≥ Überholsichtweite teilweise		Anhaltesichtweite	
Überholverbot	kein Verbot			einseitig		beidseitig

Lage / Foto**Weitere Kennwerte:**

DTV: unbekannt

Werktag: ca. 30'000 Mfz/Tag

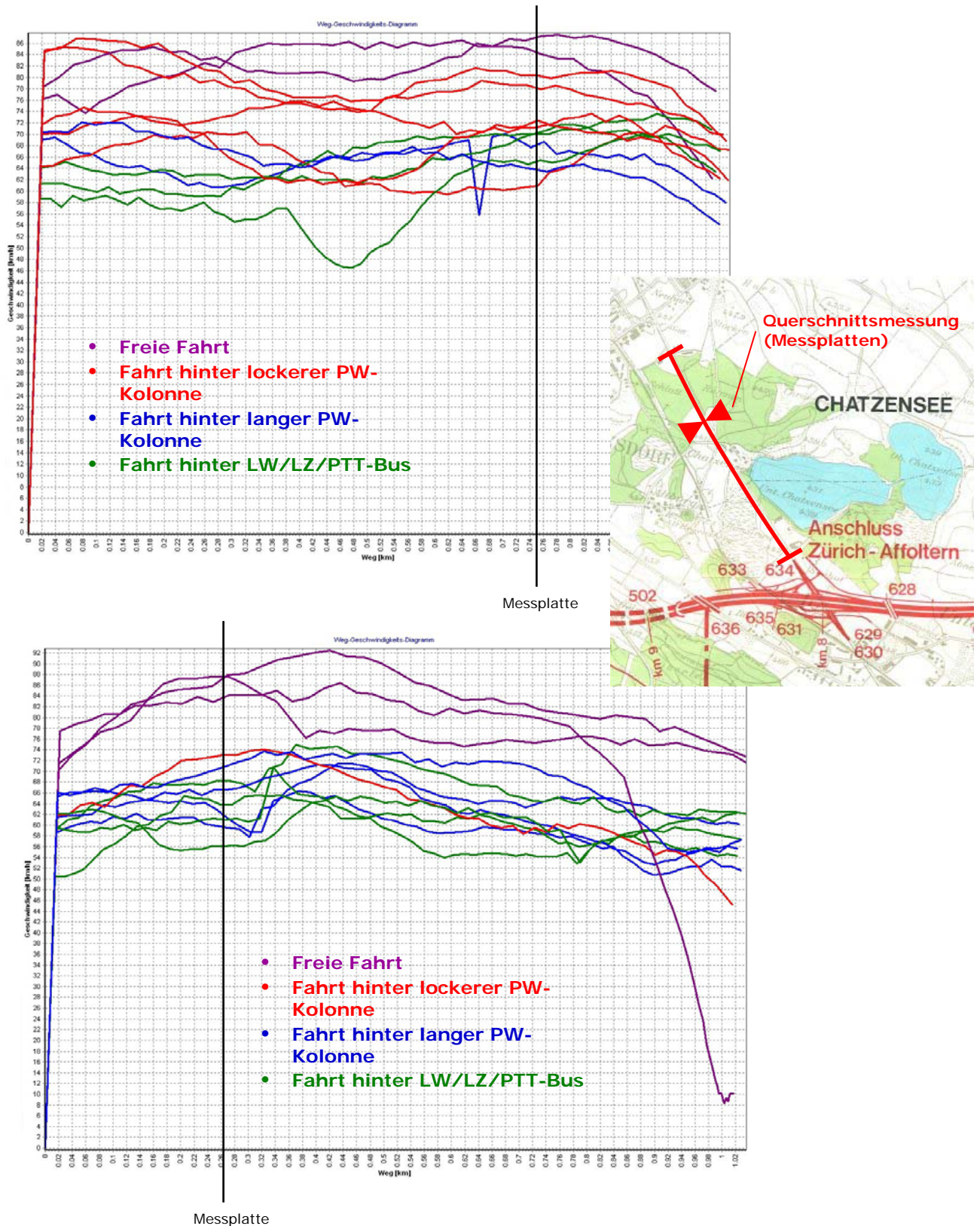
Spitzenstunde: 2600 Mfz/h

LW-Anteil (an Werktagen): 15,6%

Hauptverbindung Furttal – Zürich / Autobahnnetz

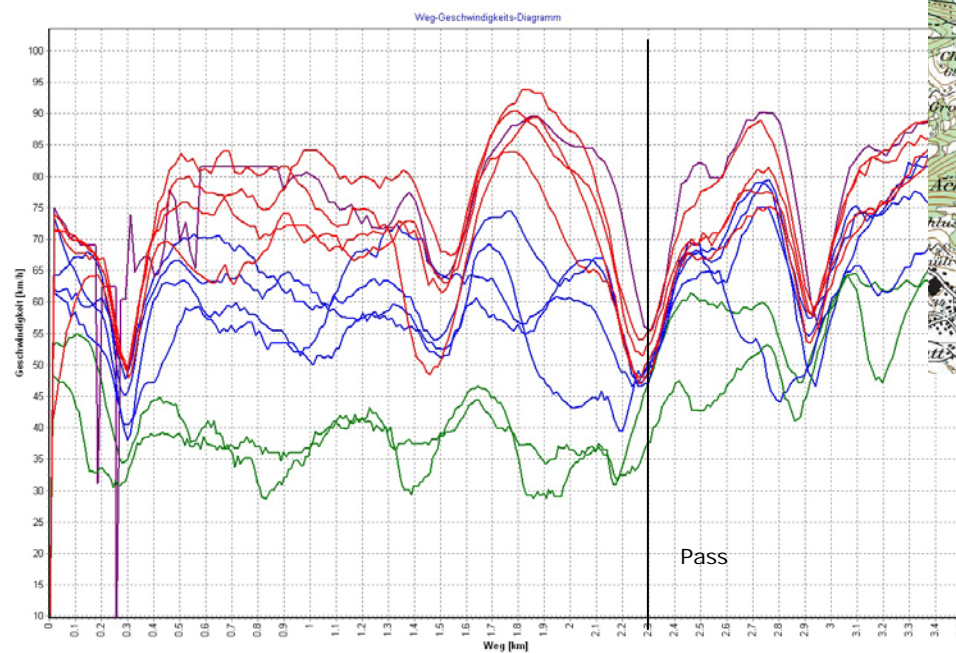
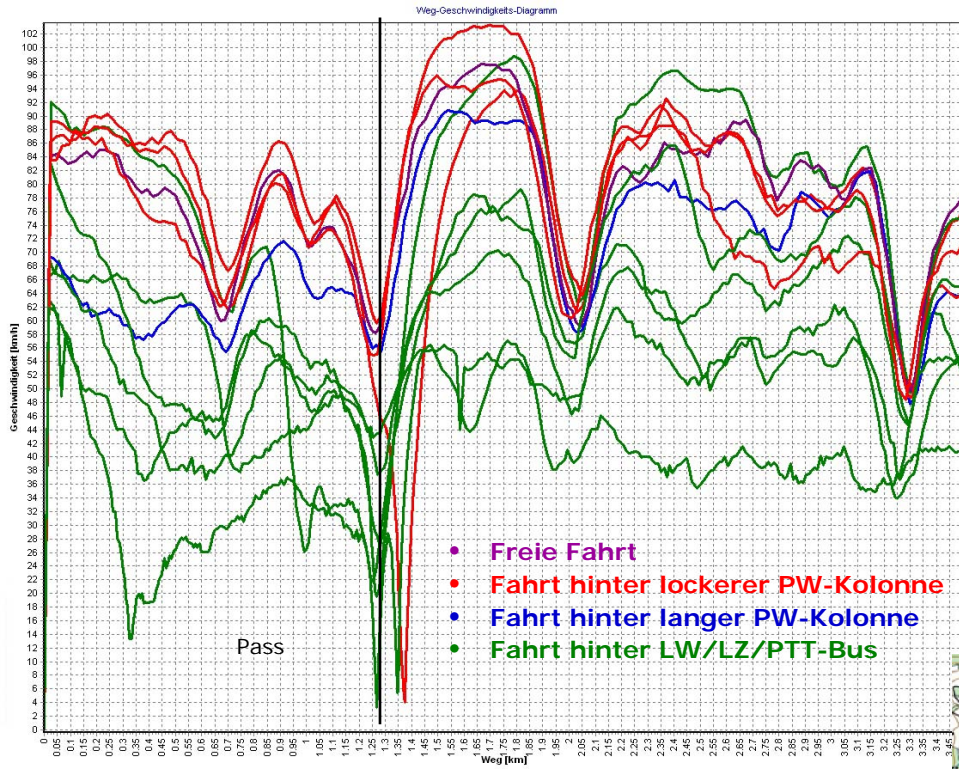
AUSWERTUNG GPS-MESSFAHRTEN: WEHNTALERSTRASSE

Weg-Geschwindigkeits-Diagramme (oben: Richtung Regensdorf, unten: Richtung Zürich)



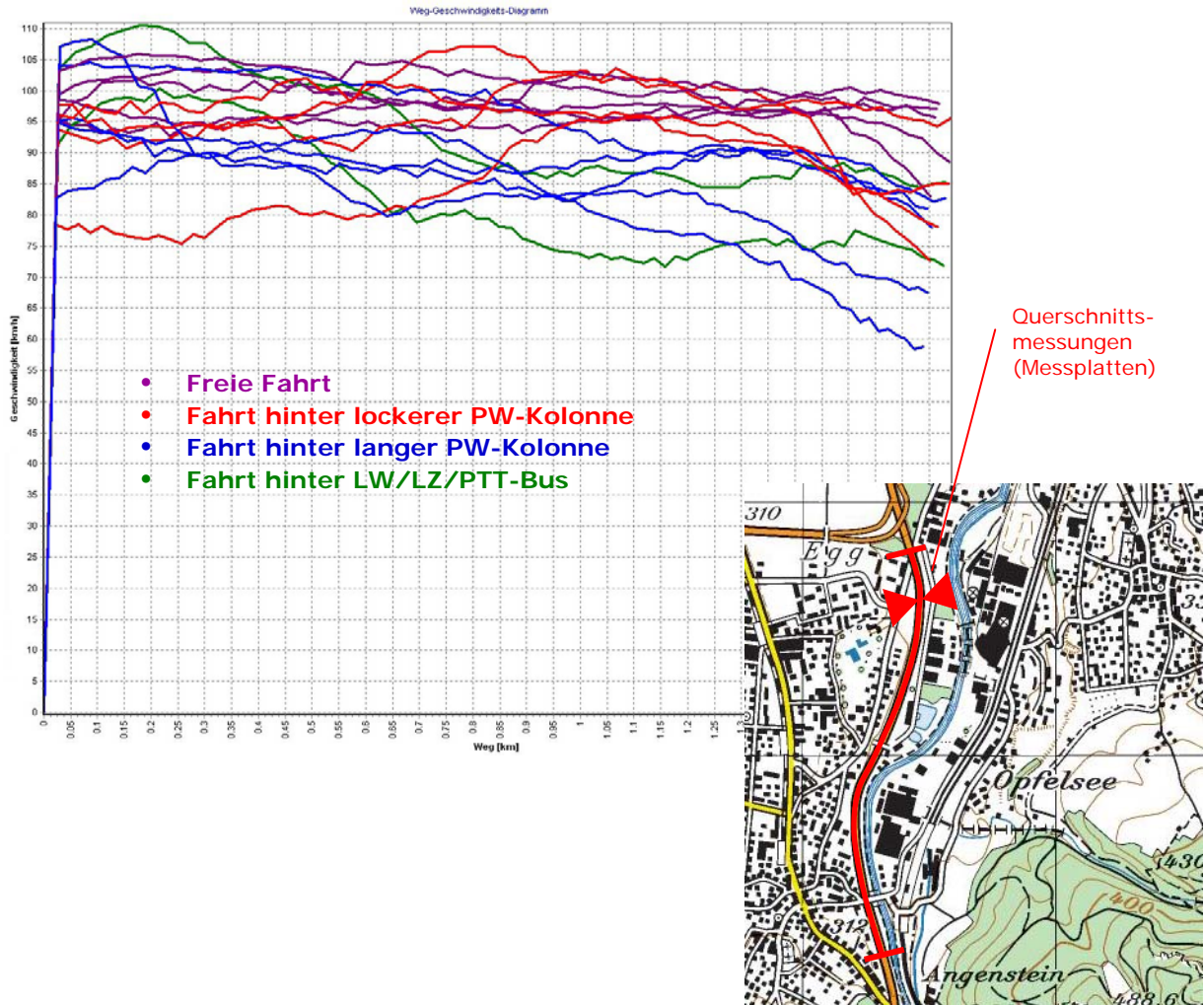
AUSWERTUNG GPS-MESSFAHRTEN: STAFFELEGG

Weg-Geschwindigkeits-Diagramme (oben: Richtung Aarau, unten: Richtung Frick)



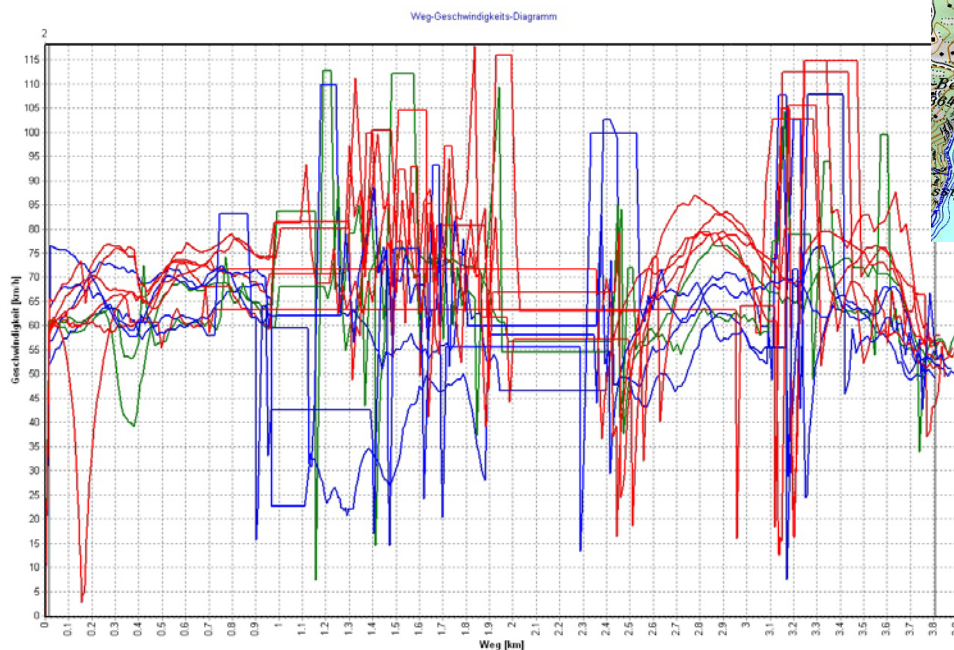
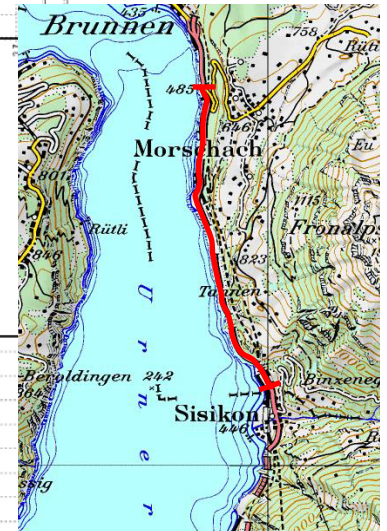
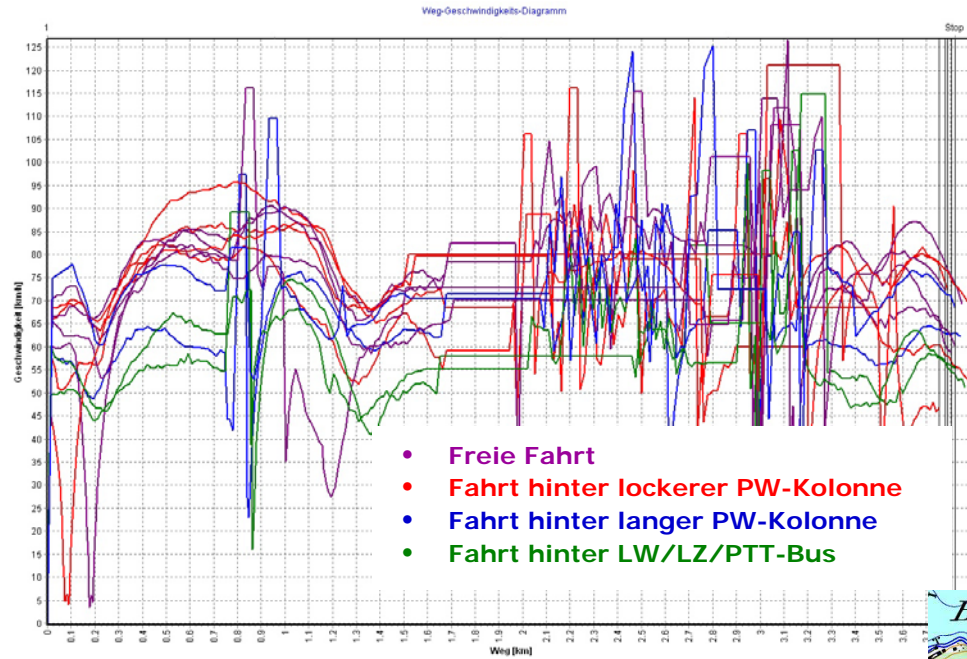
AUSWERTUNG GPS-MESSFAHRTEN: H18 UMFABRUNG AESCH

Weg-Geschwindigkeits-Diagramme (beide Richtungen)



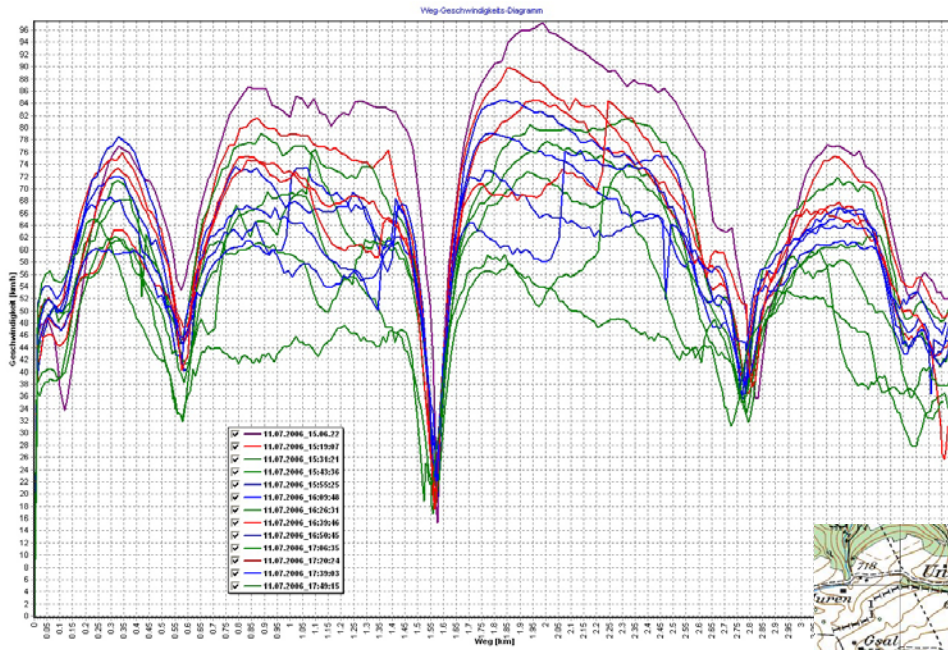
AUSWERTUNG GPS-MESSFAHRTEN: AXENSTRASSE

Weg-Geschwindigkeits-Diagramme (oben: Richtung Sissikon, unten: Richtung Brunnen)
inkl. Tunneldurchfahrten mit Unterbrechungen GPS-Signal

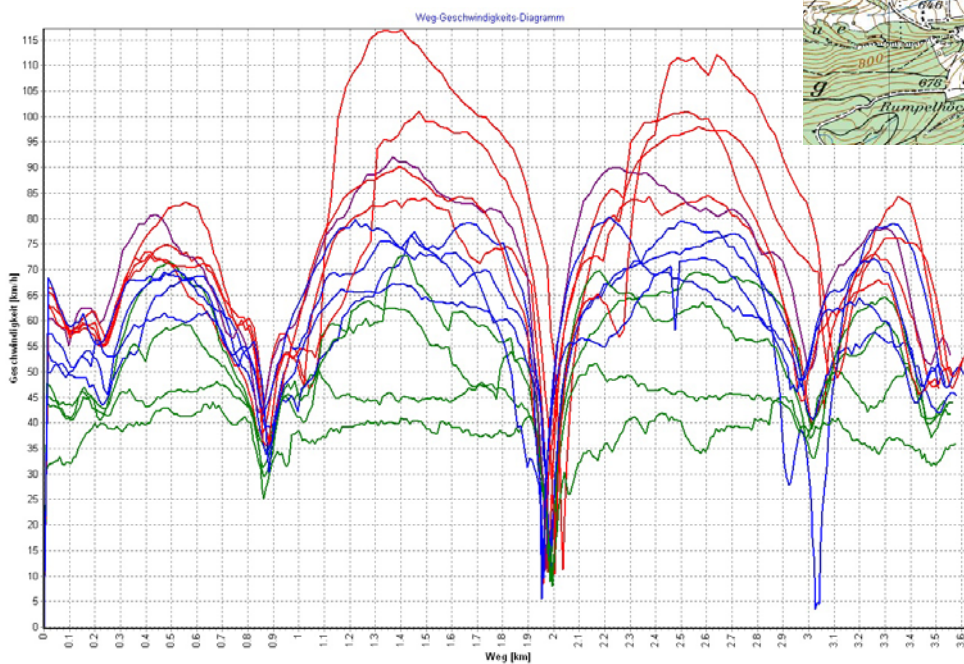
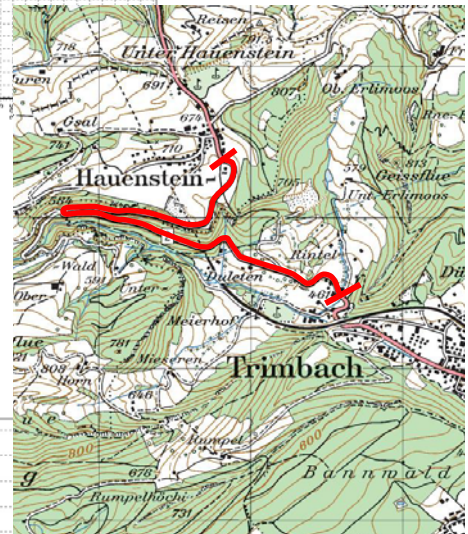


AUSWERTUNG GPS-MESSFAHRTEN: UNTERER HAUENSTEIN

Weg-Geschwindigkeits-Diagramme (oben: Richtung Olten, unten: Richtung Läuelfingen)



- Freie Fahrt
- Fahrt hinter lockerer PW-Kolonne
- Fahrt hinter langer PW-Kolonne
- Fahrt hinter LW/LZ/PTT-Bus



KALIBRATION SIMULATIONSTRECKE WEHNTALERSTRASSE

Geschwindigkeitsverteilung der Personenwagen

bei Verkehrsbelastungen pro Fahrtrichtung von 0 bis 200 Mfz/h, Richtung; d.h. bei weitgehend freiem Verkehrsfluss

schwarz = gemessene prozentuale Anteile auf der Messstrecke Wehntalerstrasse
weiss = prozentuale Anteile aus der Kalibration der Simulationsstrecke Wehntalerstrasse
grau = prozentualen Anteile für die Mischung der „Modell-PW“ in allen Simulationen

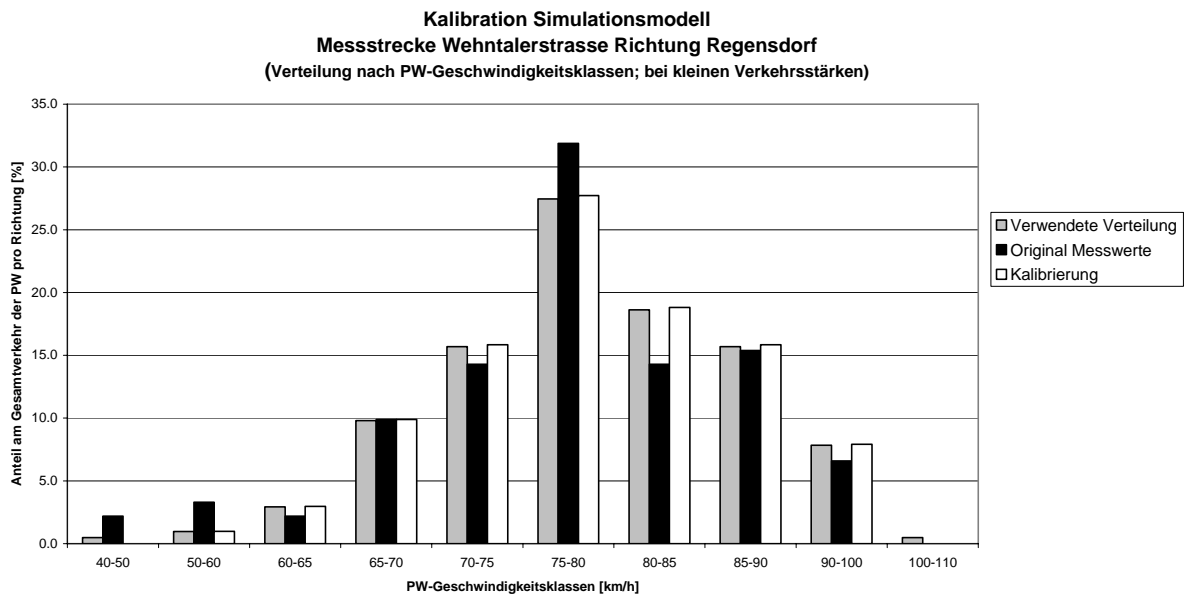


Abbildung 1: Geschwindigkeitsverteilung der PW in Fahrtrichtung Regensdorf aus der Querschnittsmessung (schwarz), als Resultat der Modellkalibration (weiss) sowie als Vorgabe für die optimale Mischung der „Modell-PW“ auf allen Simulationsstrecken

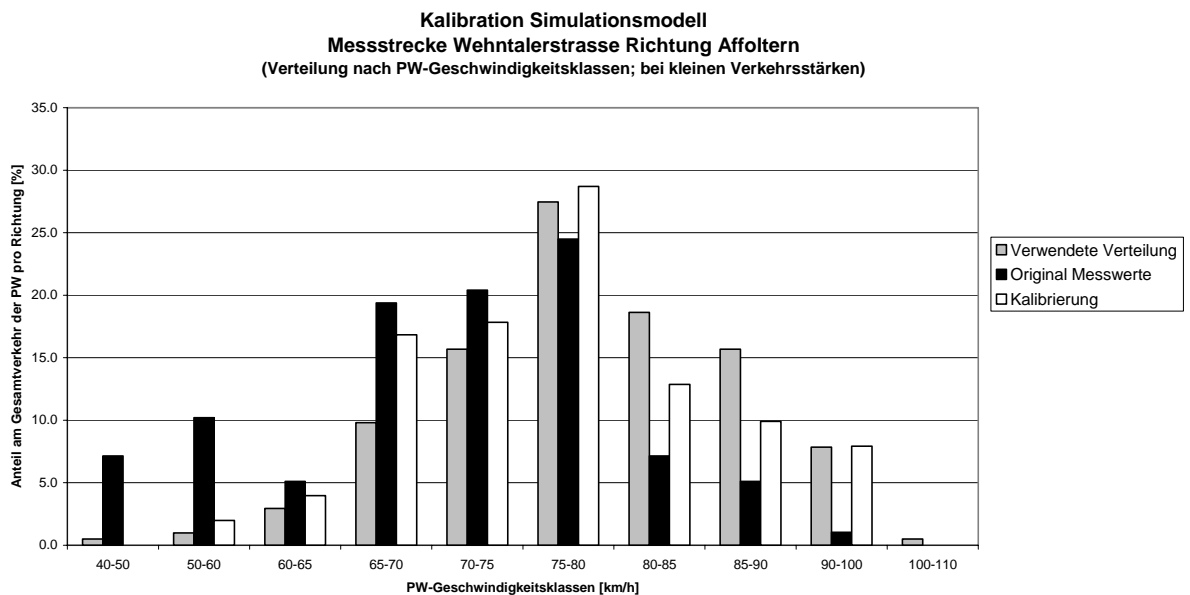


Abbildung 2: Geschwindigkeitsverteilung der PW in Fahrtrichtung Affoltern aus der Querschnittsmessung (schwarz), als Resultat der Modellkalibration (weiss) sowie als Vorgabe für die optimale Mischung der „Modell-PW“ auf allen Simulationsstrecken

Gewählte Verteilung der Personenwagen

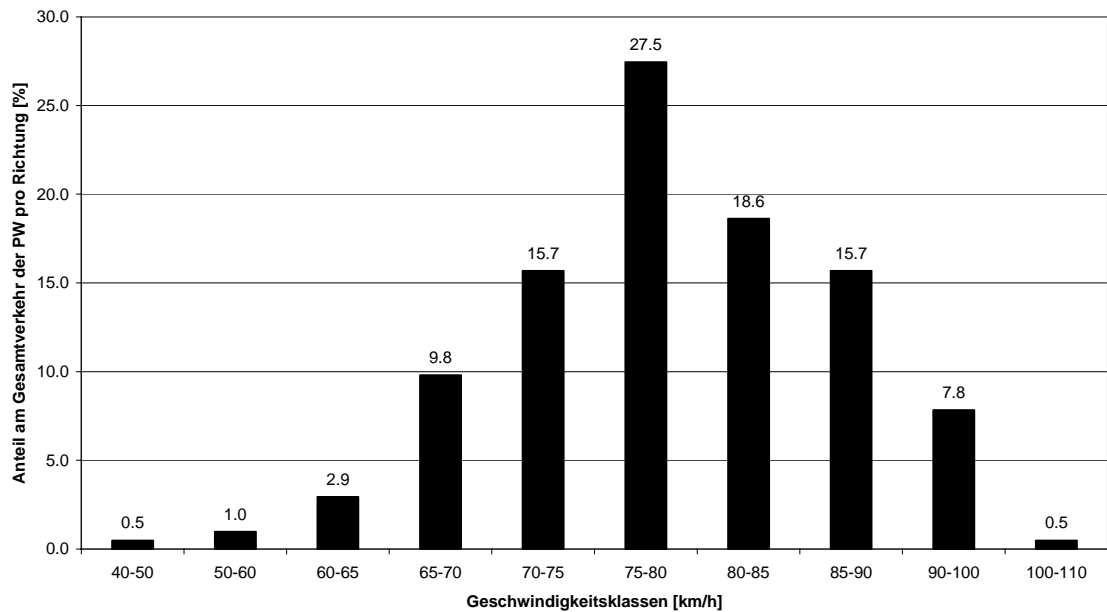


Abbildung 3: Resultierende Anteile der 10 „Modell-PW“ innerhalb der „optimalen PW-Mischung“ mit Angabe Ihrer Wunschgeschwindigkeit (Geschwindigkeitsklassen) auf Grundlage der Messungen auf der Wehntalerstrasse sowie der Kalibration auf der Simulationsstrecke

gewählte Verteilung der Lastwagen (Schwerverkehr)

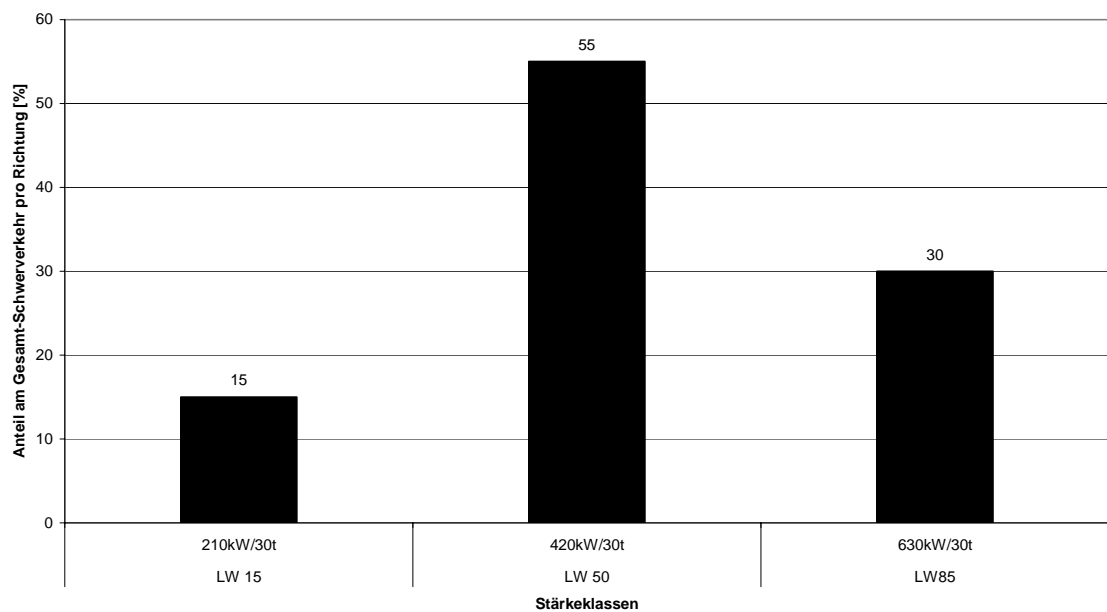


Abbildung 4: Resultierende Anteile der 3 „Modell-LW“ innerhalb der „optimalen LW-Mischung“, auf Grundlage der Messresultate aus FA 20/98 [10], der Messungen auf der Wehntalerstrasse sowie der Kalibration auf der Simulationsstrecke

Vergleich Geschwindigkeit aus Messungen und der Simulation

Überprüfung der wesentlichen Kennwerte der Geschwindigkeitsverteilung $V_{15\%}$, V_M und $V_{85\%}$ aus den Messungen für den Gesamtquerschnitt (Diagramm für V_M siehe Kap. 7.4)

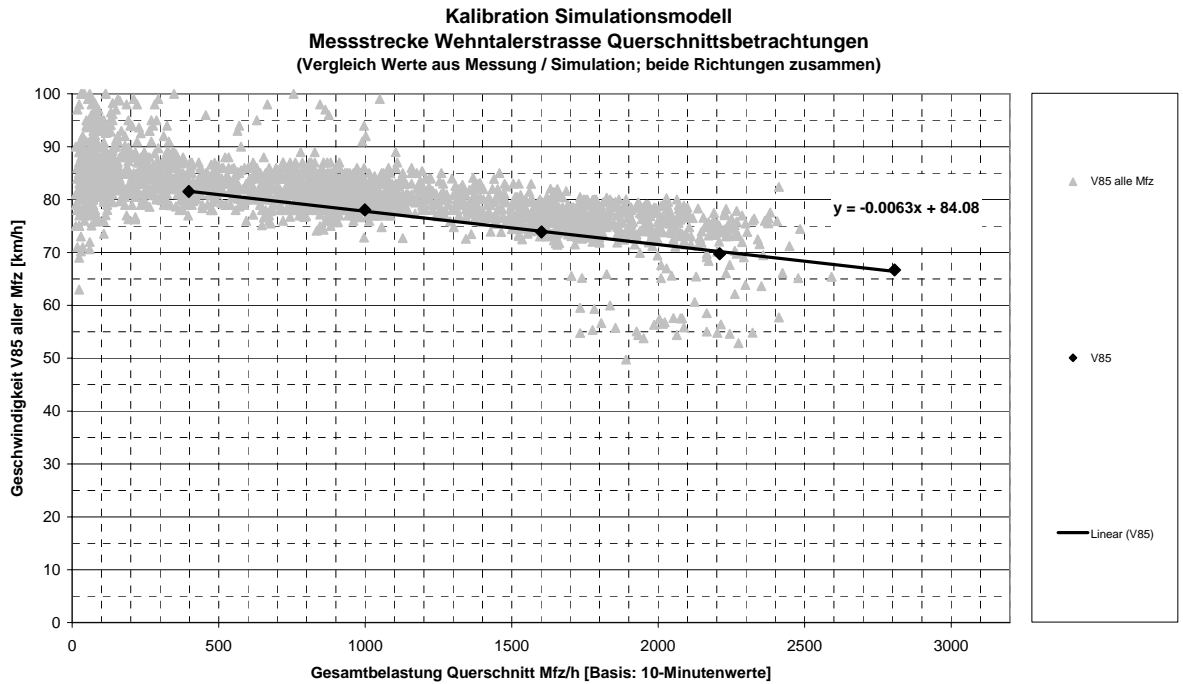


Abbildung 5: Vergleich der gemessenen Werte $V_{85\%}$ mit der Simulation

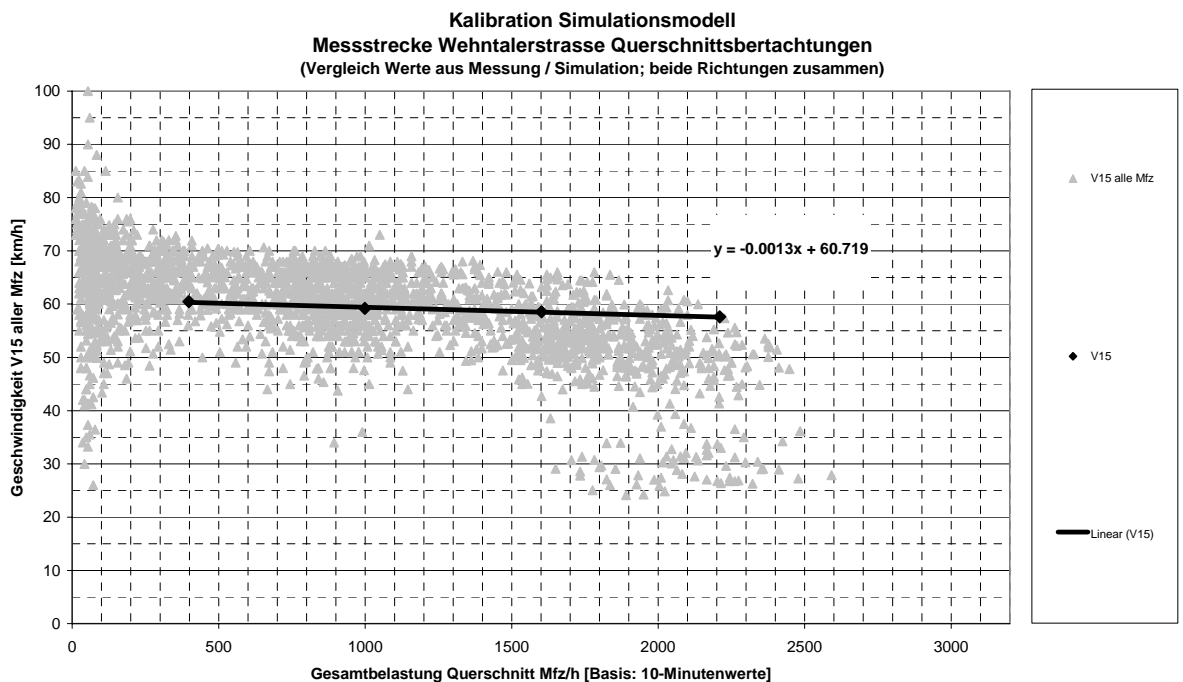


Abbildung 6: Vergleich der gemessenen Werte $V_{15\%}$ mit der Simulation

RESULTATE SIMULATIONSSTRECKE WEHNTALERSTRASSE

Resultate der Simulationen als Basis für Regressionsanalysen in Kap. 8.1

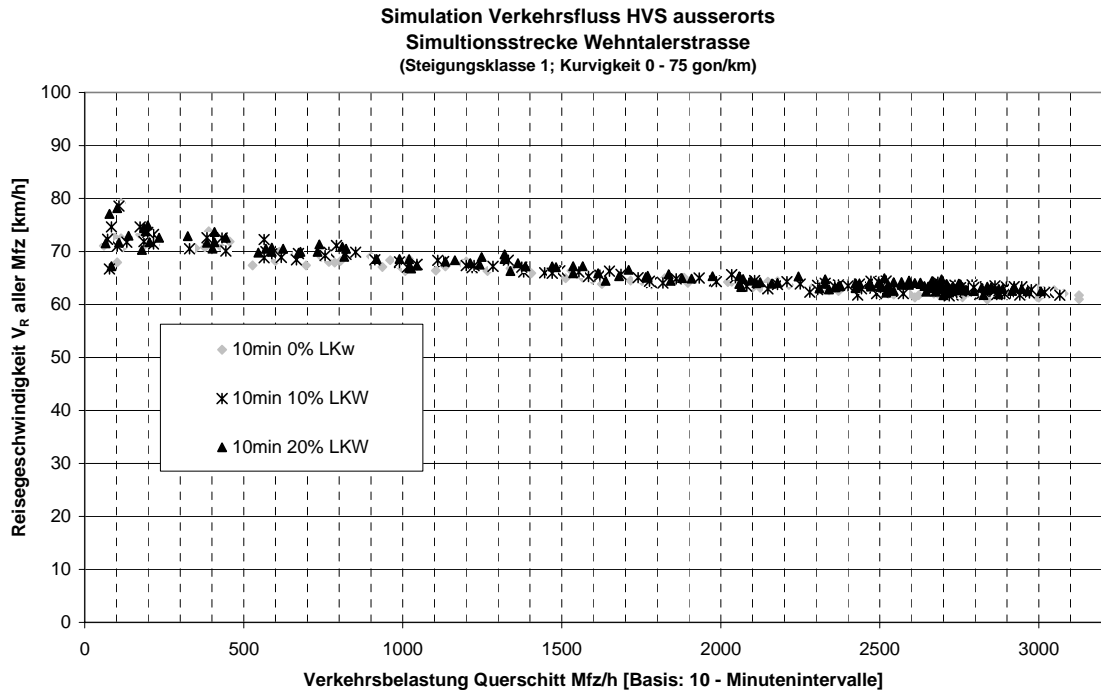


Abbildung 1: Q-V-Diagramme mit den Simulationsresultaten für HVS ausserorts mit Steigungsklasse 1 und Kurvigkeit 0 - 75 gon / km

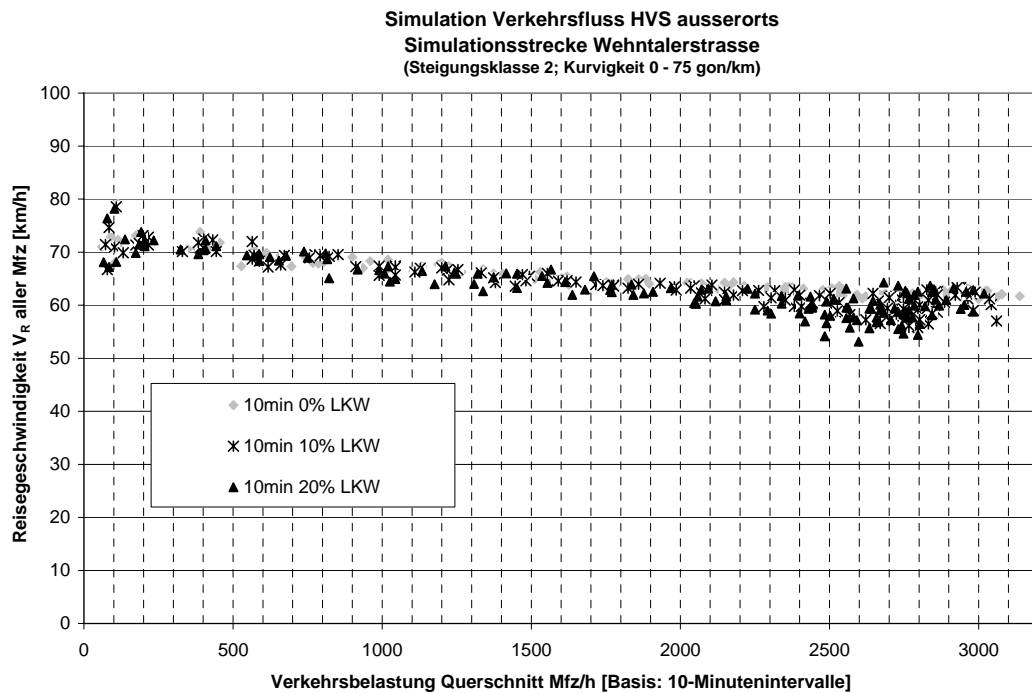


Abbildung 2: Q-V-Diagramme mit den Simulationsresultaten für HVS ausserorts mit Steigungsklasse 2 und Kurvigkeit 0 - 75 gon / km

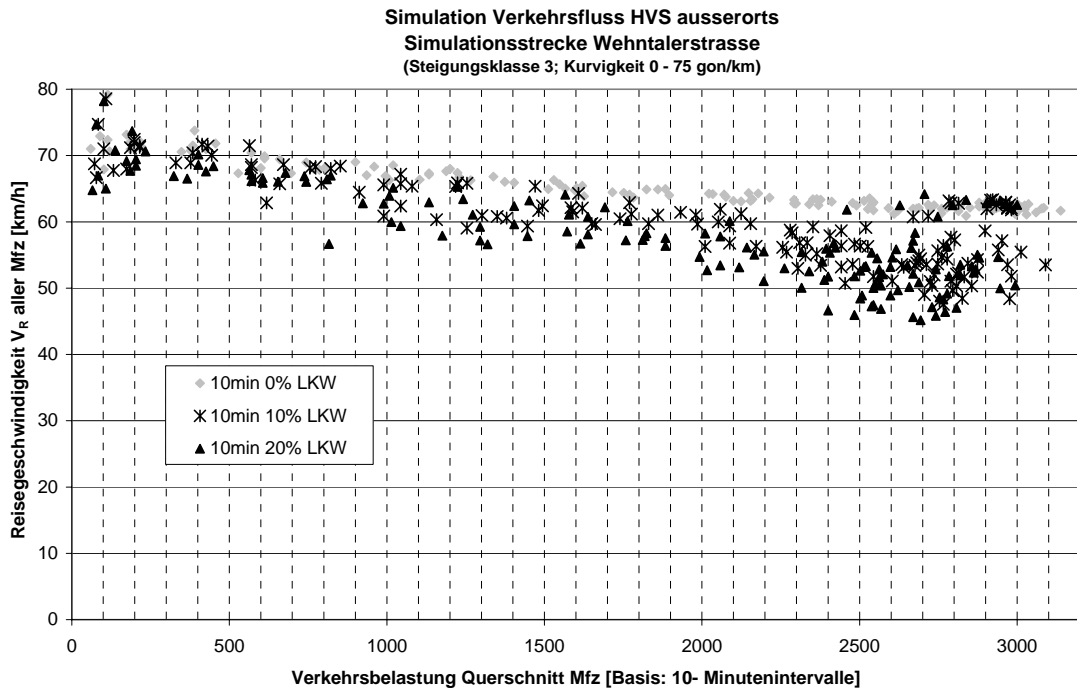


Abbildung 3: Q-V-Diagramme mit den Simulationsresultaten für HVS ausserorts mit Steigungsklasse 3 und Kurvigkeit 0 - 75 gon / km

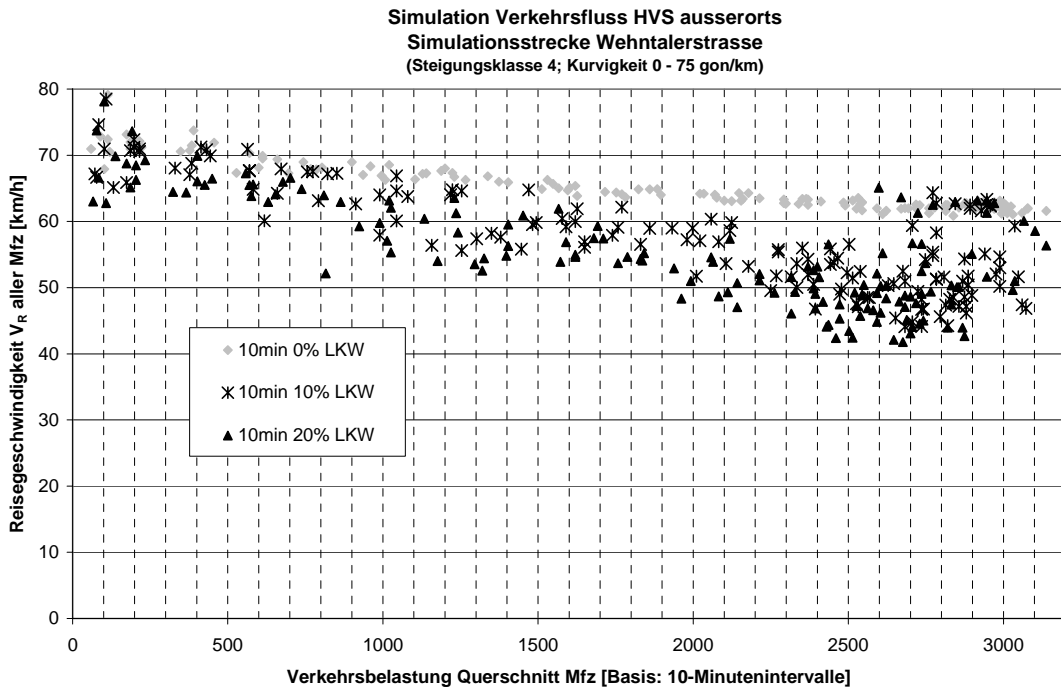


Abbildung 4: Q-V-Diagramme mit den Simulationsresultaten für HVS ausserorts mit Steigungsklasse 4 und Kurvigkeit 0 - 75 gon / km

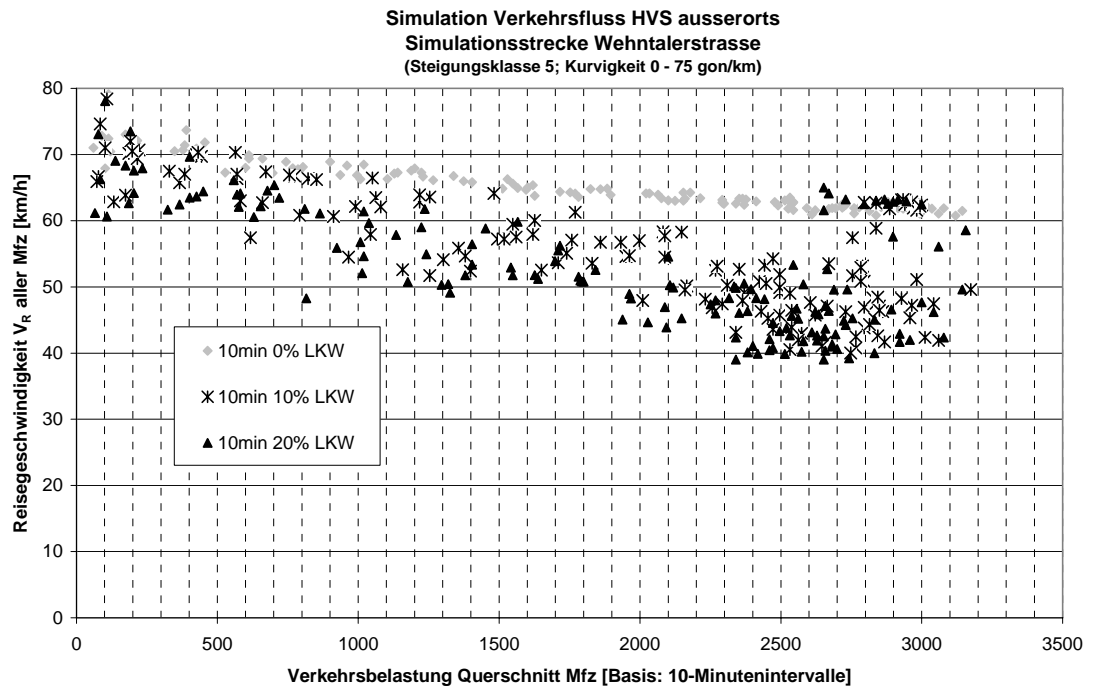


Abbildung 5: Q-V-Diagramme mit den Simulationsresultaten für HVS ausserorts mit Steigungsklasse 5 und Kurvigkeit 0 – 75 gon / km

RESULTATE SIMULATIONSSTRECKE AXENSTRASSE

Resultate der Simulationen als Basis für Regressionsanalysen in Kap. 8.1

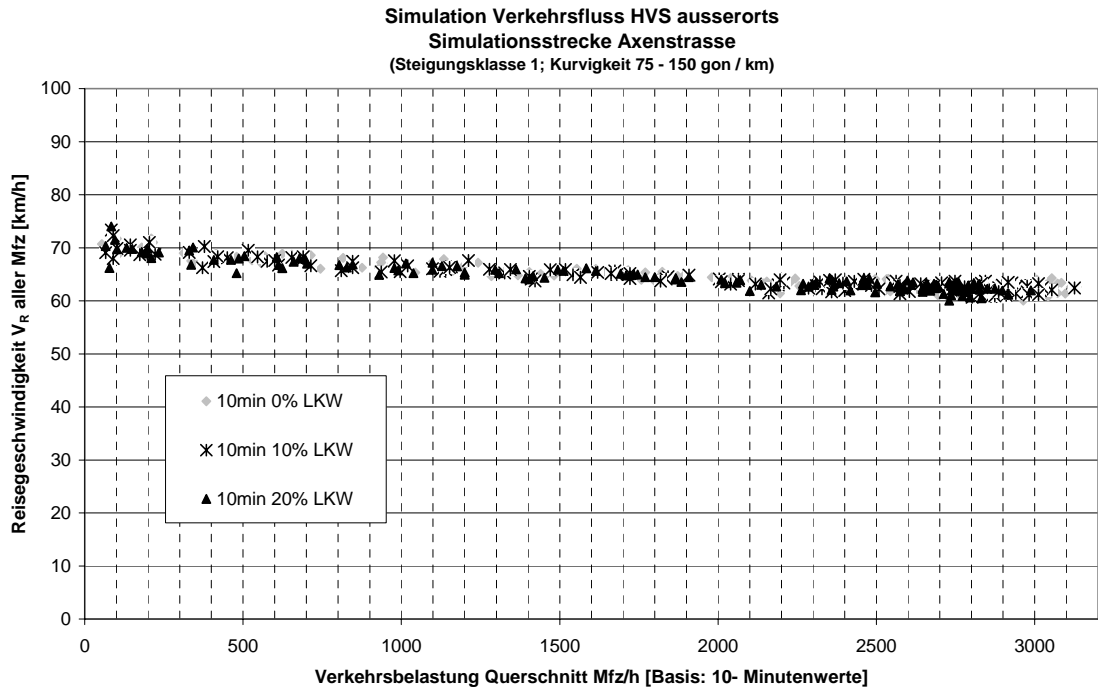


Abbildung 1: Q-V-Diagramme mit den Simulationsresultaten für HVS ausserorts mit Steigungsklasse 1 und Kurvigkeit 75 – 150 gon / km

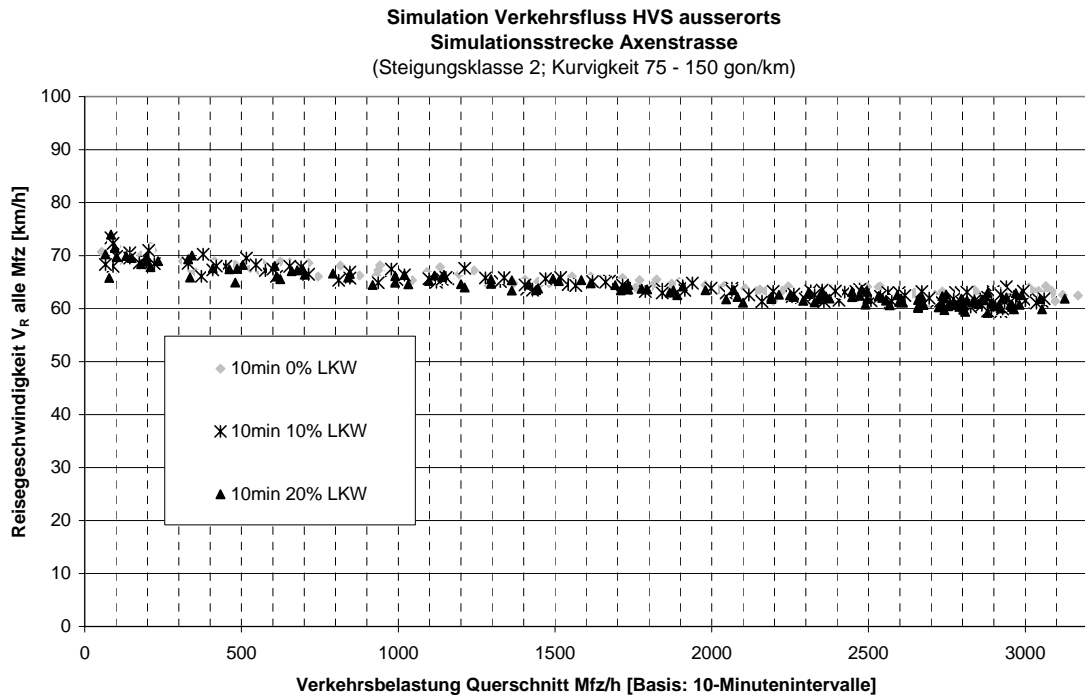


Abbildung 2: Q-V-Diagramme mit den Simulationsresultaten für HVS ausserorts mit Steigungsklasse 2 und Kurvigkeit 75 – 150 gon / km

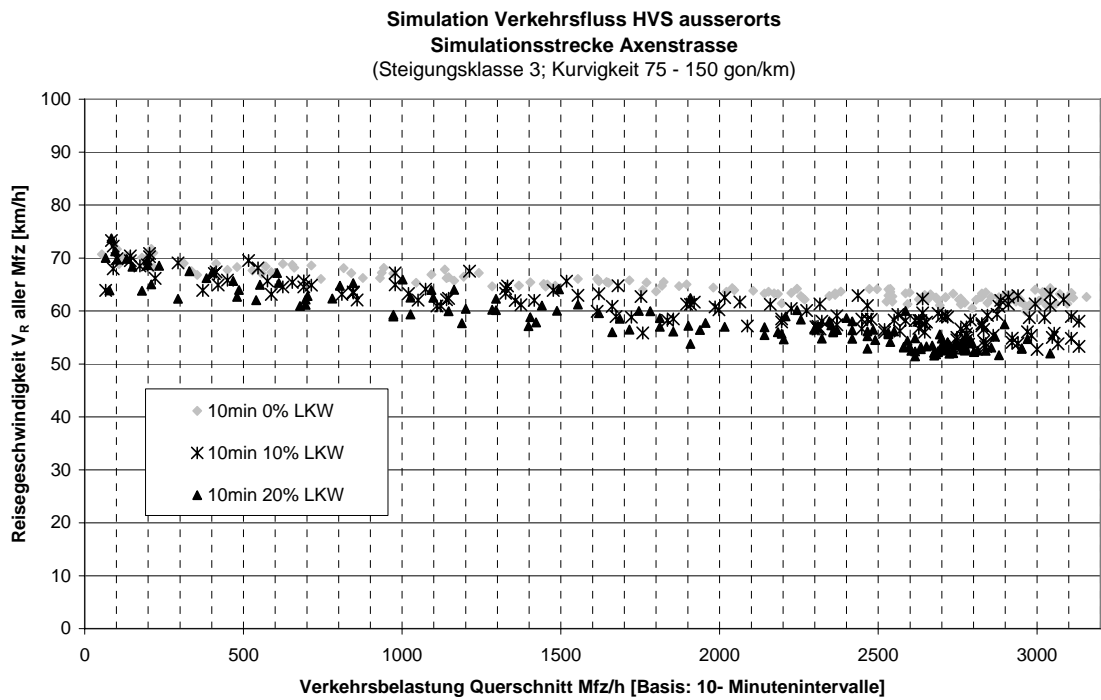


Abbildung 3: Q-V-Diagramme mit den Simulationsresultaten für HVS ausserorts mit Steigungsklasse 3 und Kurvigkeit 75 – 150 gon / km

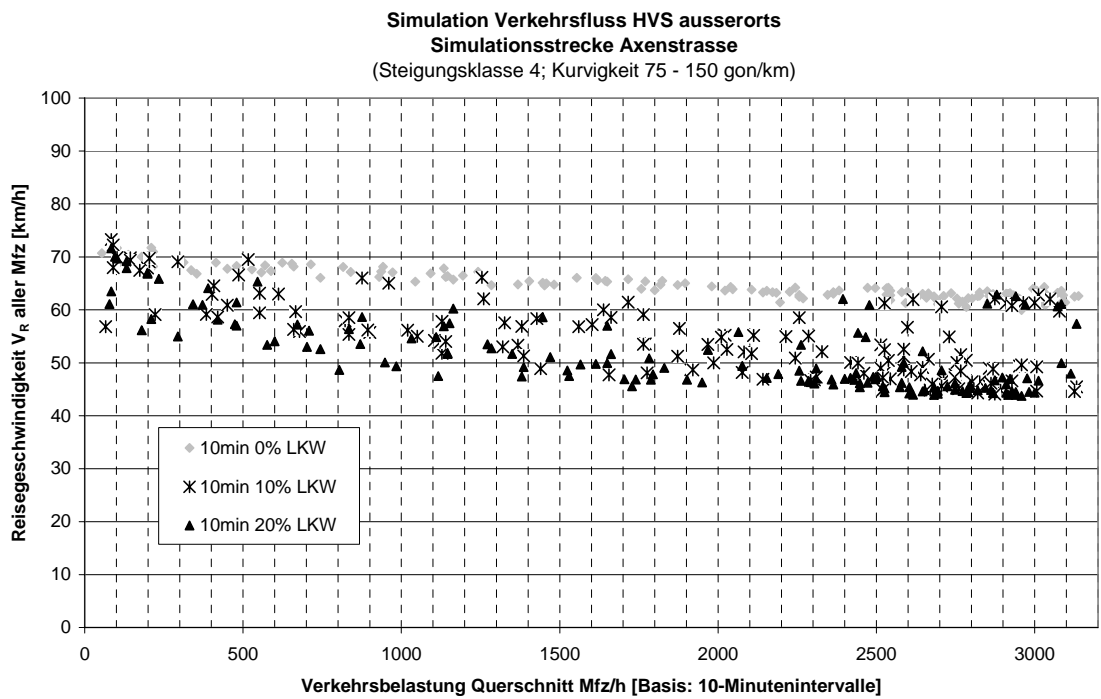


Abbildung 4: Q-V-Diagramme mit den Simulationsresultaten für HVS ausserorts mit Steigungsklasse 4 und Kurvigkeit 75 – 150 gon / km

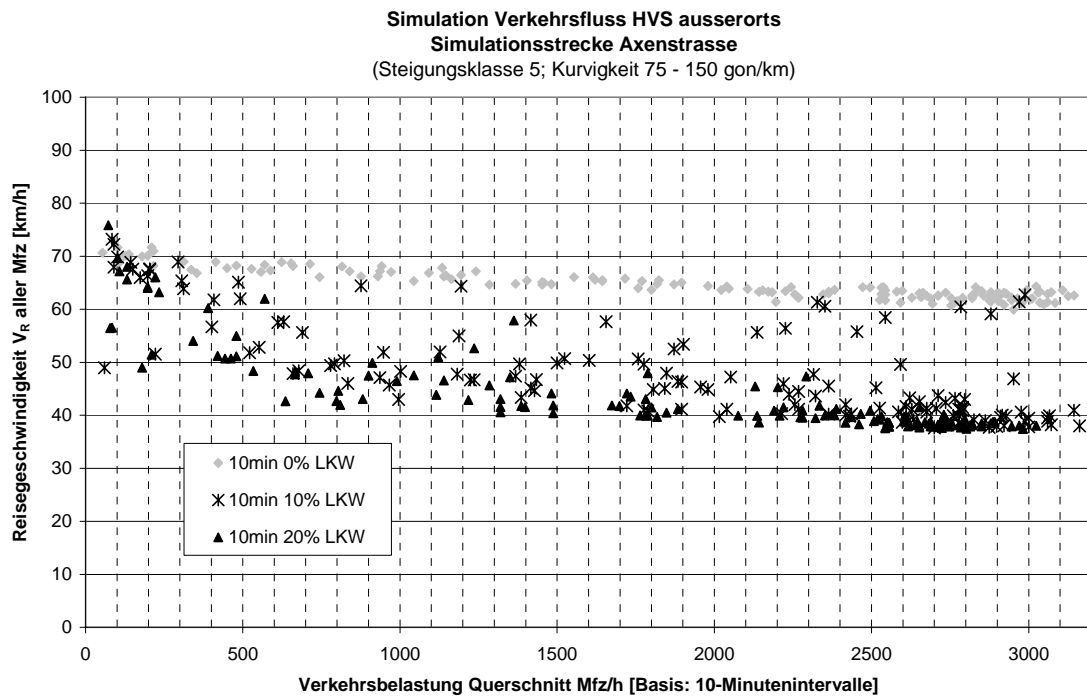


Abbildung 5: Q-V-Diagramme mit den Simulationsresultaten für HVS ausserorts mit Steigungsklasse 5 und Kurvigkeit 75 - 150 gon / km

RESULTATE SIMULATIONSTRECKE STAFFELEGG

Resultate der Simulationen als Basis für Regressionsanalysen in Kap. 8.1

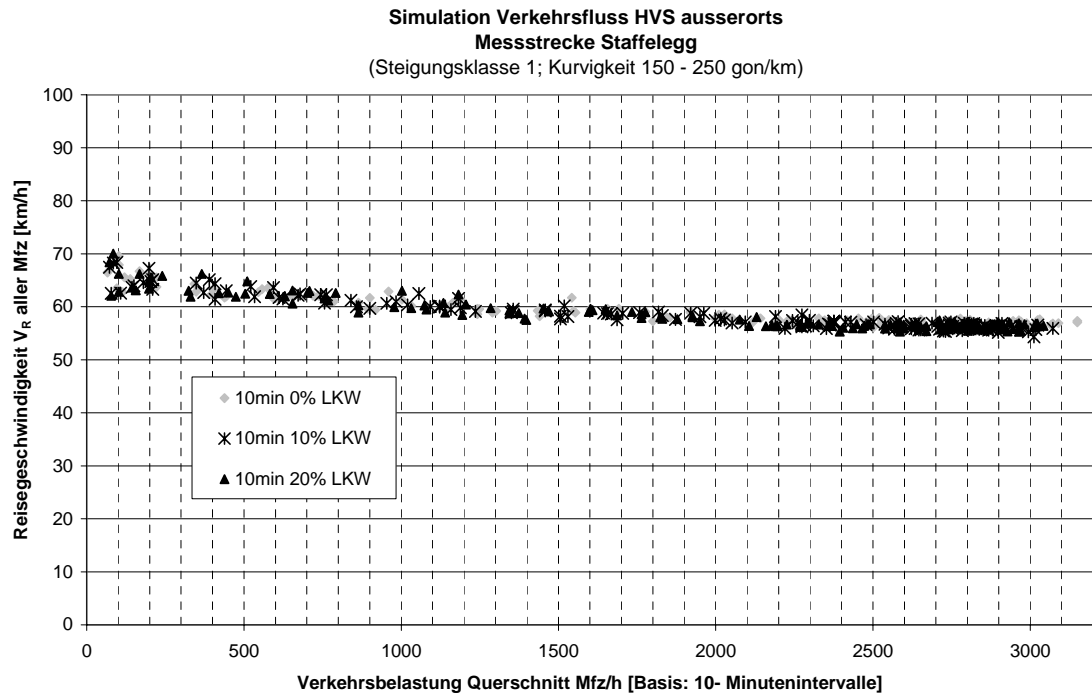


Abbildung 1: Q-V-Diagramme mit den Simulationsergebnissen für HVS ausserorts mit Steigungsklasse 1 und Kurvigkeit 150 - 250 gon / km

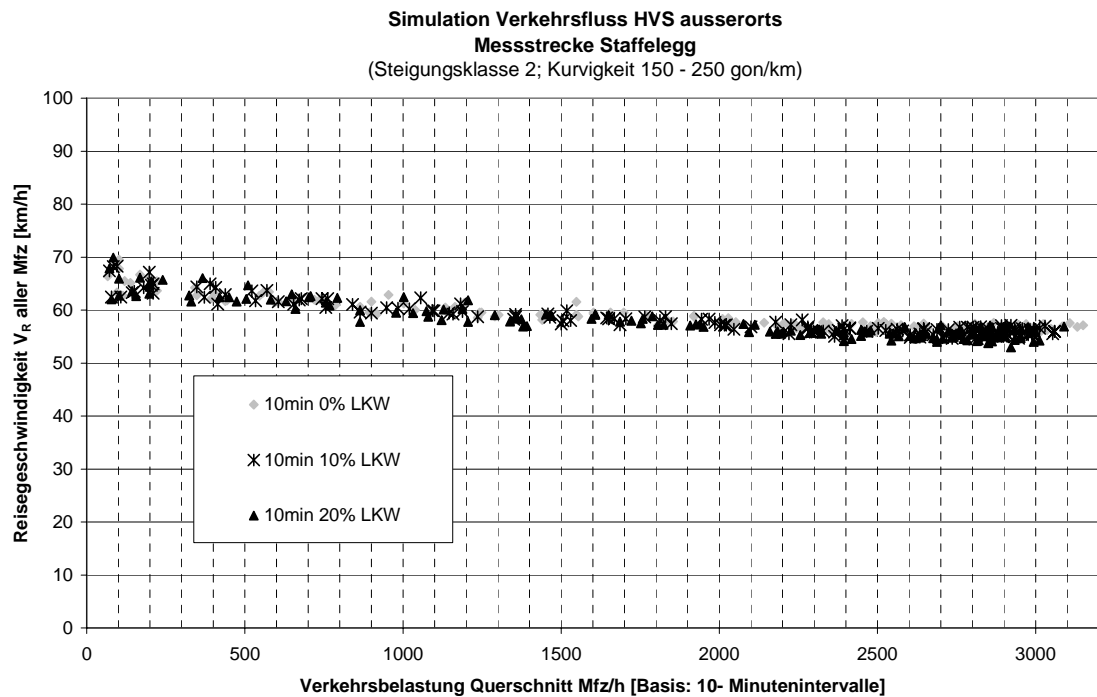


Abbildung 2: Q-V-Diagramme mit den Simulationsergebnissen für HVS ausserorts mit Steigungsklasse 2 und Kurvigkeit 150 - 250 gon / km

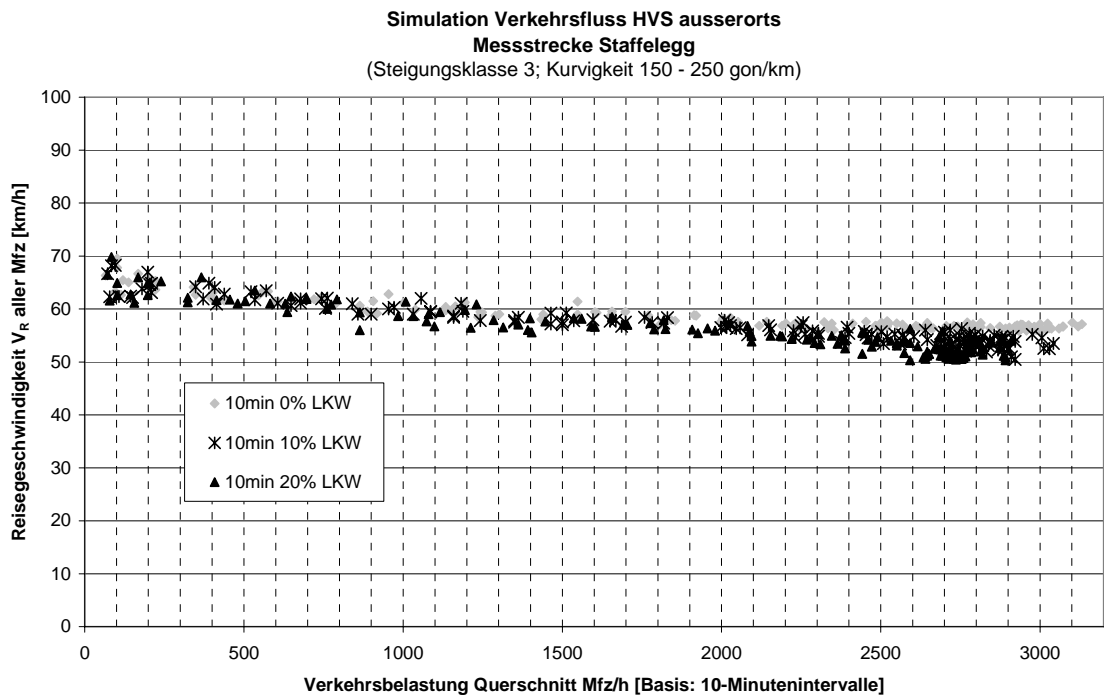


Abbildung 3: Q-V-Diagramme mit den Simulationsresultaten für HVS ausserorts mit Steigungsklasse 3 und Kurvigkeit 150 – 250 gon / km

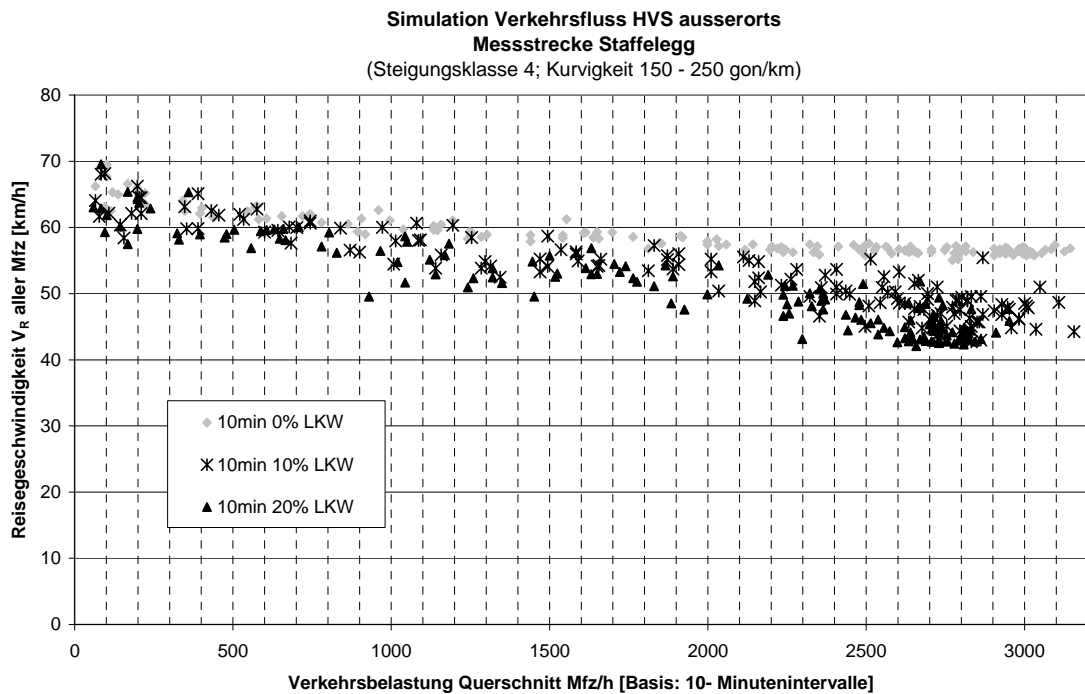


Abbildung 4: Q-V-Diagramme mit den Simulationsresultaten für HVS ausserorts mit Steigungsklasse 4 und Kurvigkeit 150 – 250 gon / km

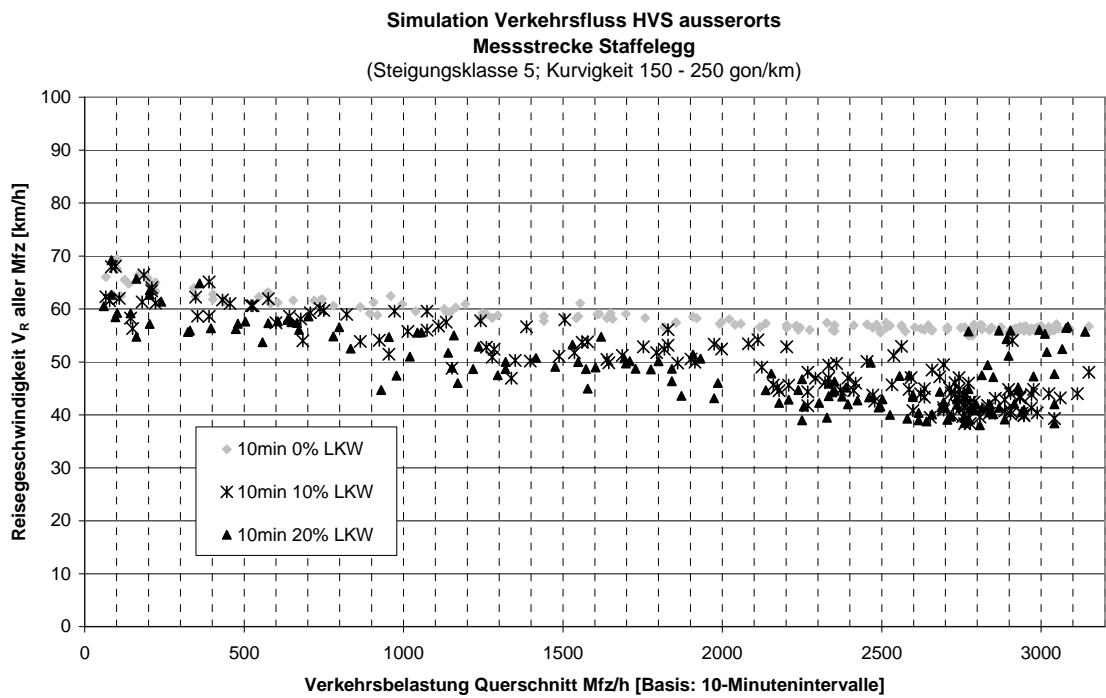


Abbildung 5: Q-V-Diagramme mit den Simulationsergebnissen für HVS ausserorts mit Steigungsklasse 5 und Kurvigkeit 150 – 250 gon / km

RESULTATE SIMULATIONSSTRECKE UNTERER HAUENSTEIN

Resultate der Simulationen als Basis für Regressionsanalysen in Kap. 8.1

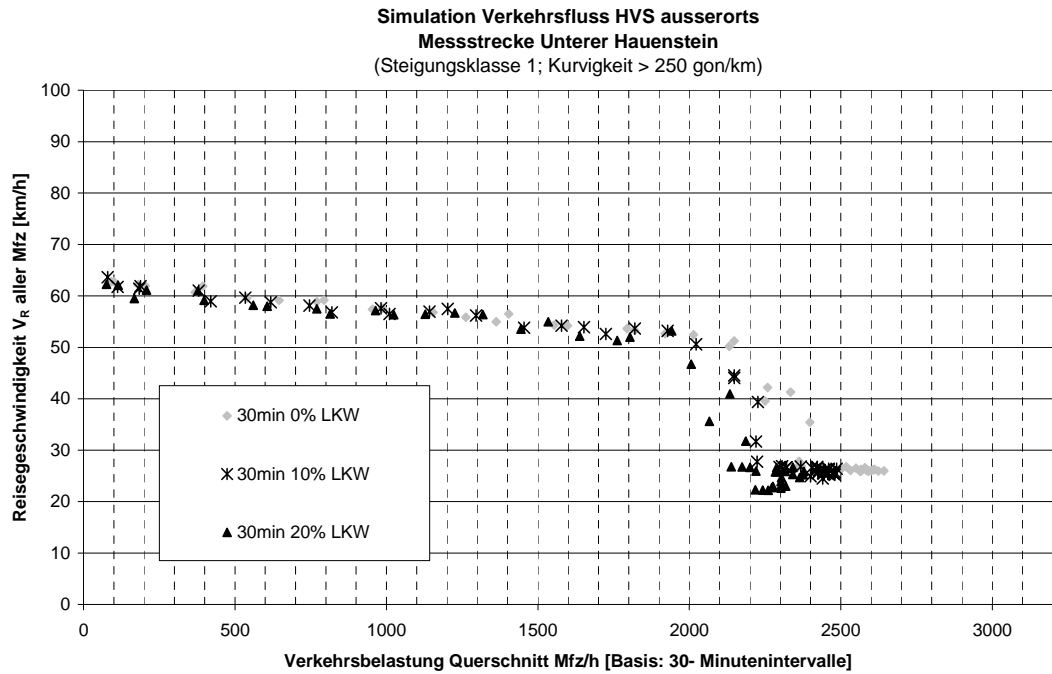


Abbildung 1: Q-V-Diagramme mit den Simulationsresultaten für HVS ausserorts mit Steigungsklasse 1 und Kurvigkeit > 250 gon/km

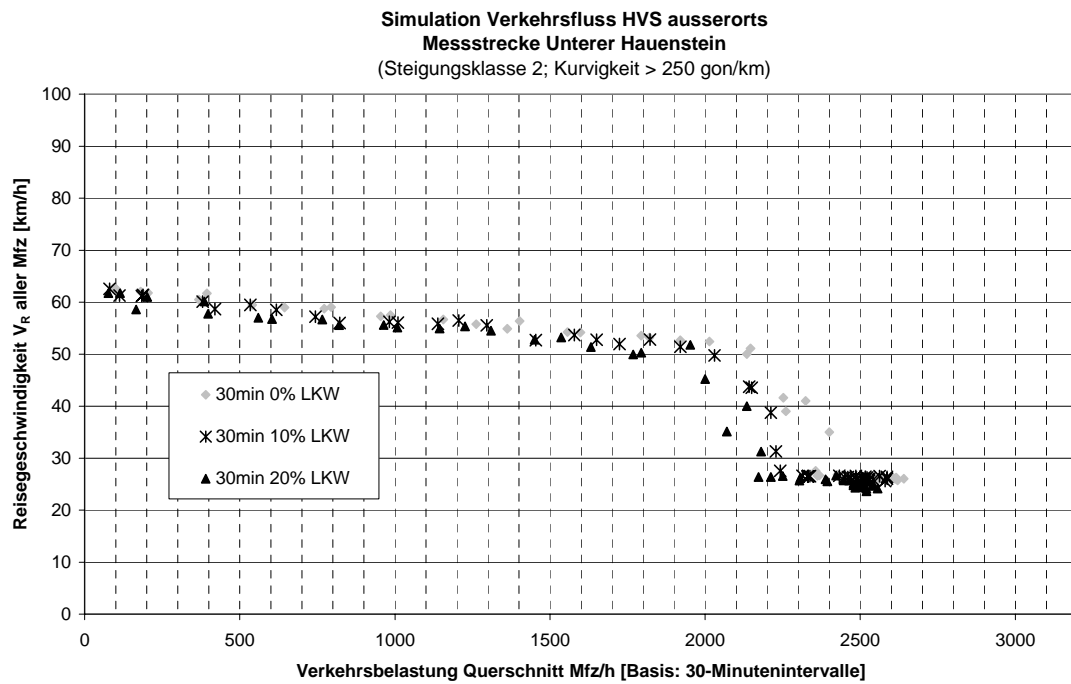


Abbildung 2: Q-V-Diagramme mit den Simulationsresultaten für HVS ausserorts mit Steigungsklasse 2 und Kurvigkeit > 250 gon/km

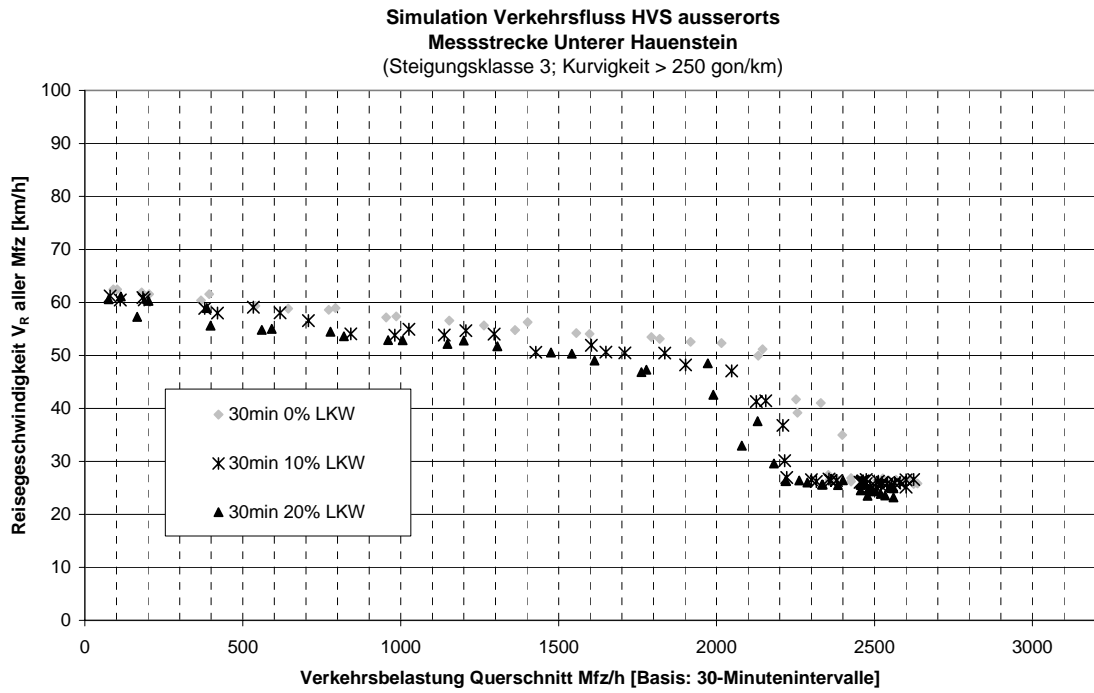


Abbildung 3: Q-V-Diagramme mit den Simulationsresultaten für HVS ausserorts mit Steigungsklasse 3 und Kurvigkeit > 250 gon/km

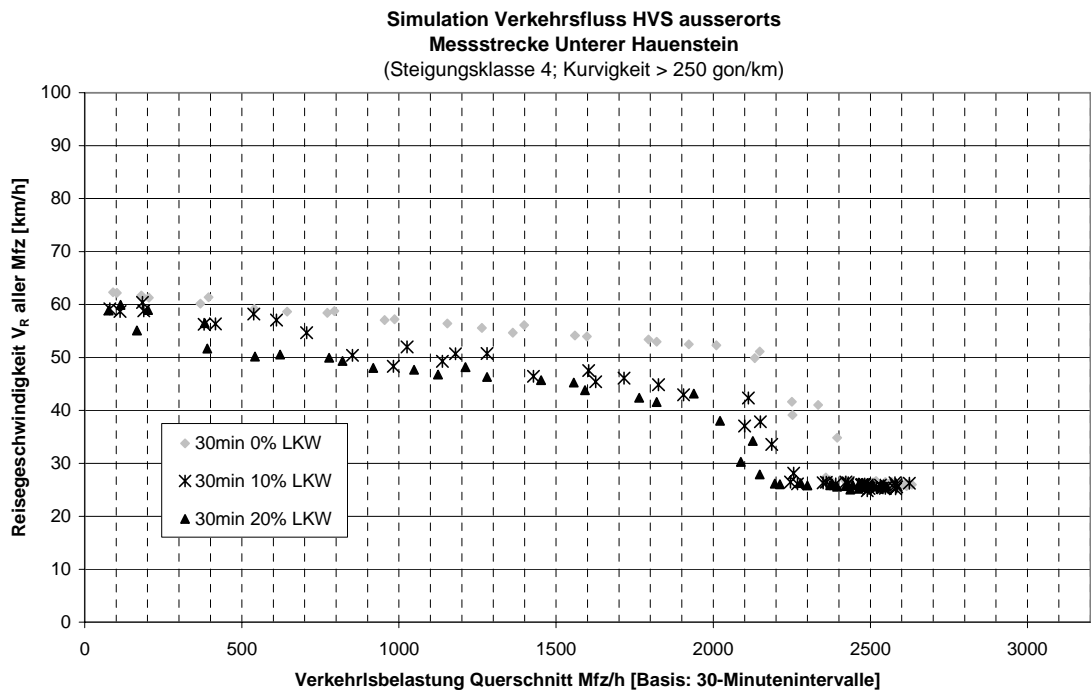


Abbildung 4: Q-V-Diagramme mit den Simulationsresultaten für HVS ausserorts mit Steigungsklasse 4 und Kurvigkeit > 250 gon/km

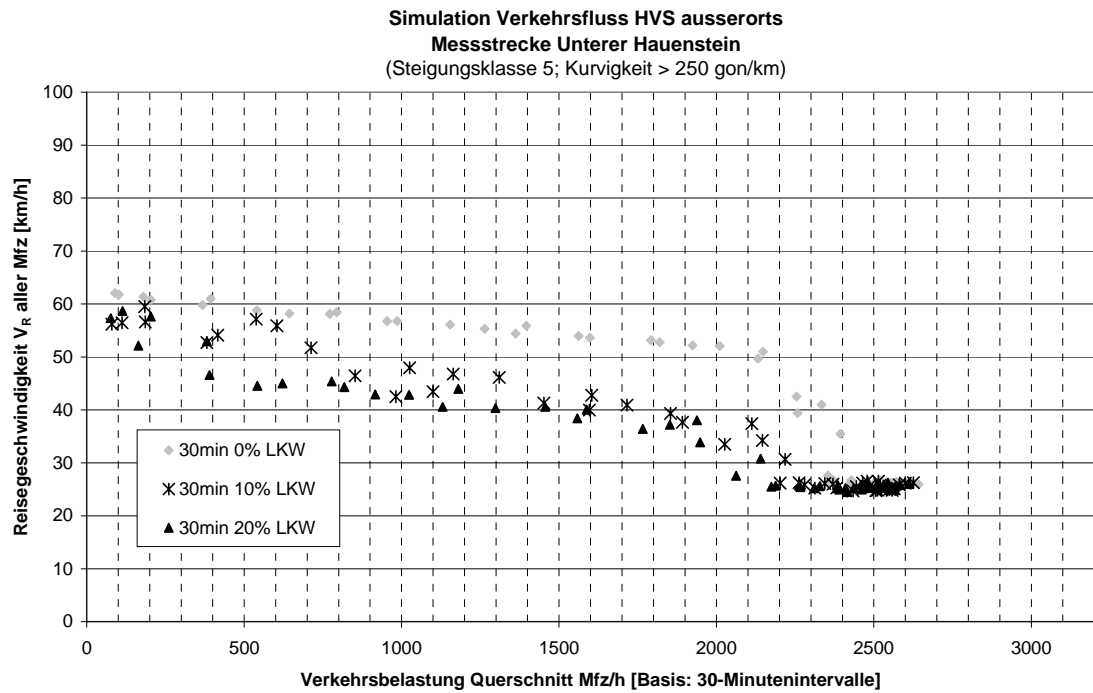


Abbildung 5: Q-V-Diagramme mit den Simulationsresultaten für HVS ausserorts mit Steigungsklasse 5 und Kurvigkeit > 250 gon/km

VERGLEICH EINFLUSS KURVIGKEIT AUF Q-V-KURVEN

Vergleich der Q-V-Kurven der Regressionen für HVS ausserorts aus Kap. 8.1 anhand deren Kurvigkeiten (Einfluss der Änderung der Kurvigkeit bei gleicher Steigungsklasse und gleichem Lastwagenanteil)

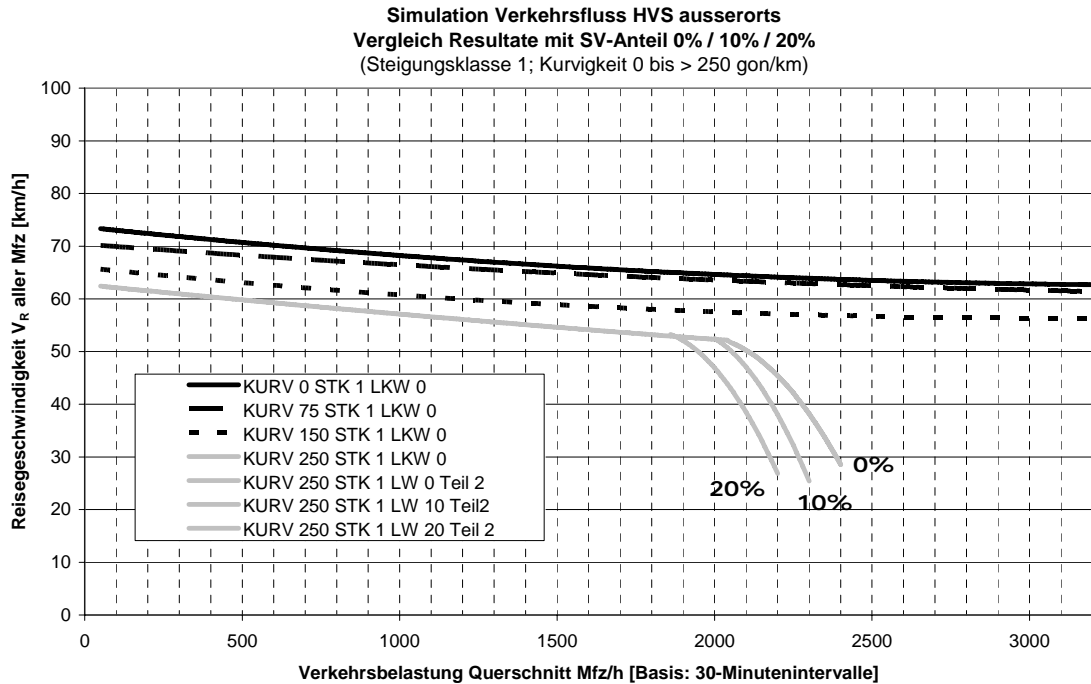


Abbildung 1: Vergleich der Q-V-Kurven aus den Simulationsresultaten für HVS ausserorts für alle Steigungsklassen 1, Lastwagenanteile 0%/10%/20% und variabler Kurvigkeit

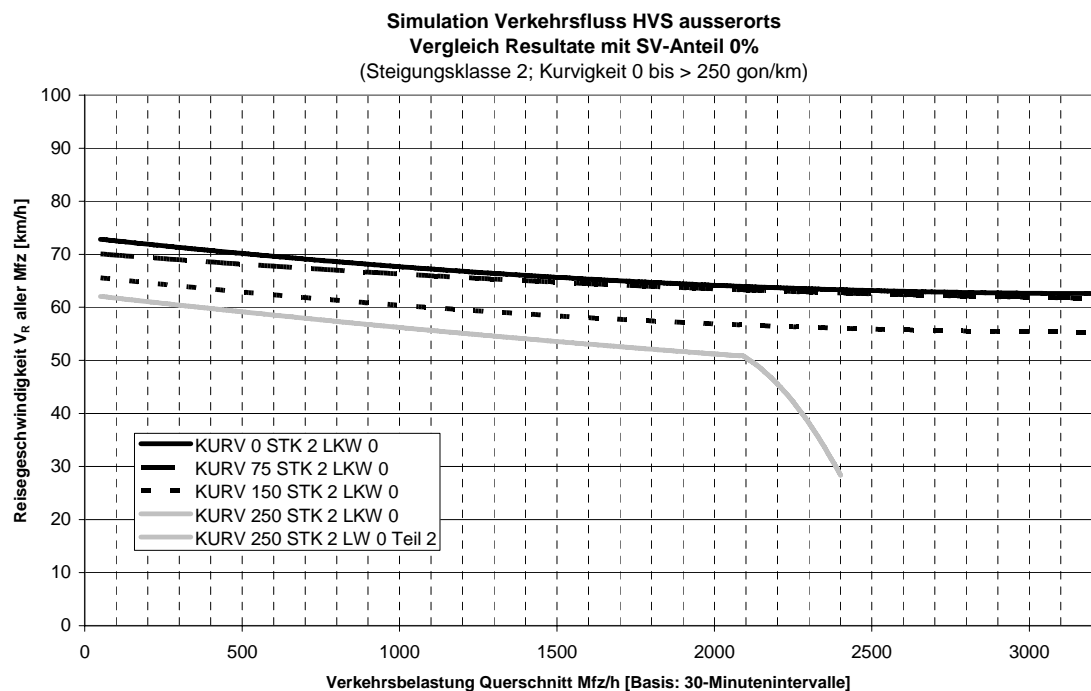


Abbildung 2: Vergleich der Q-V-Kurven aus den Simulationsresultaten für HVS ausserorts für alle Steigungsklassen 2, Lastwagenanteile 0% und variabler Kurvigkeit

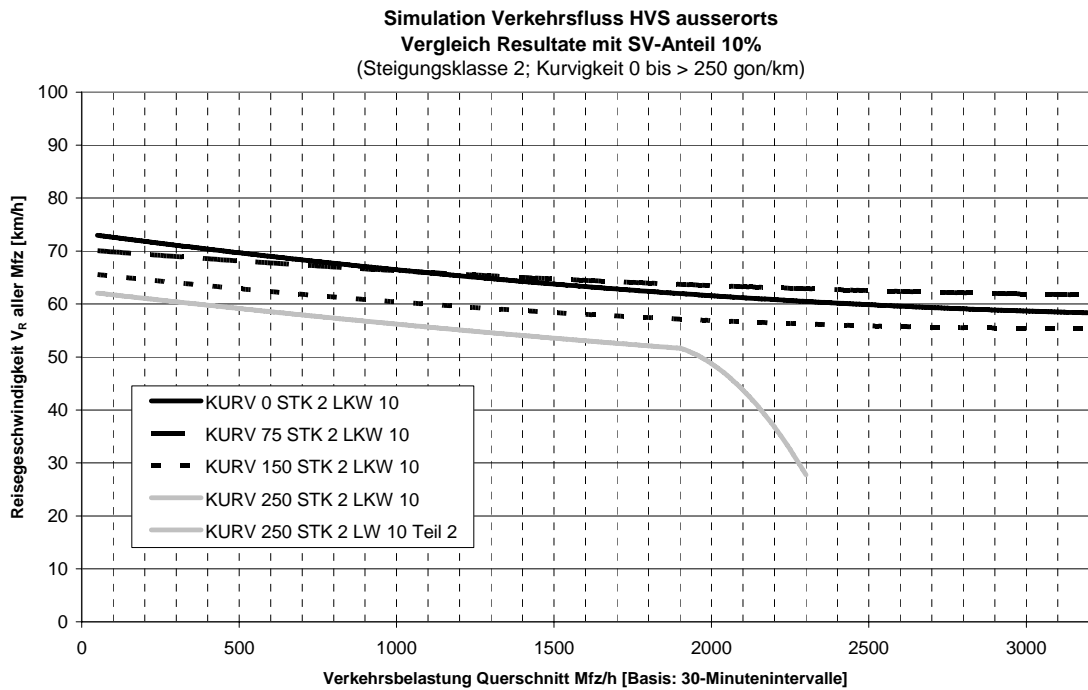


Abbildung 3: Vergleich der Q-V-Kurven aus den Simulationsresultaten für HVS ausserorts für alle Steigungsklassen 2, Lastwagenanteile 10% und variabler Kurvigkeit

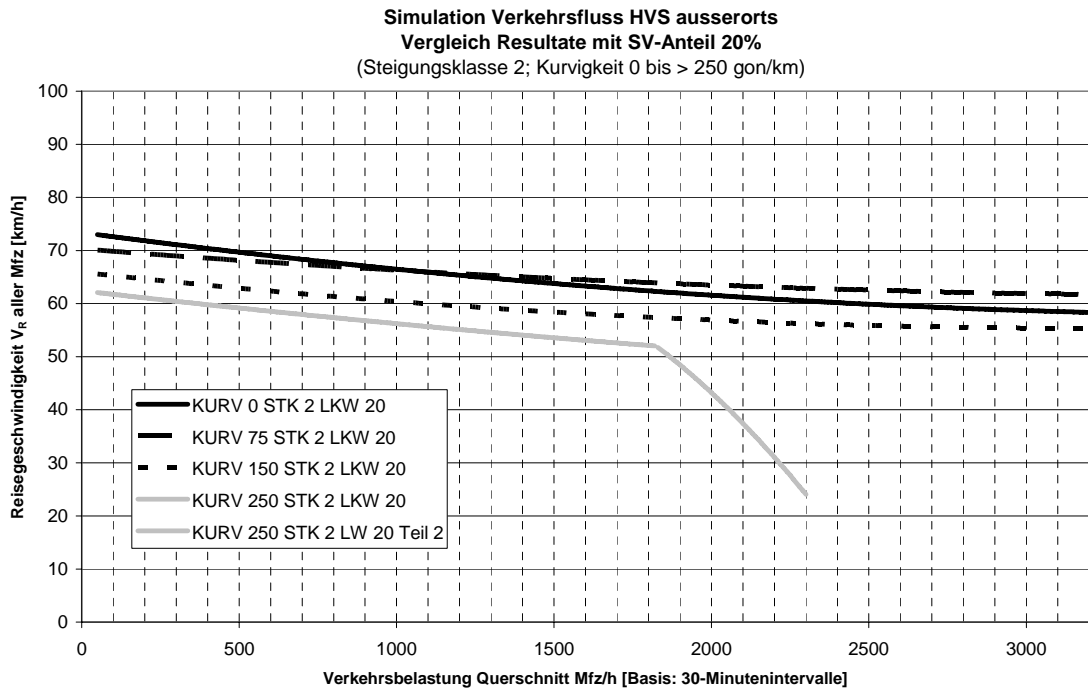


Abbildung 4: Vergleich der Q-V-Kurven aus den Simulationsresultaten für HVS ausserorts für alle Steigungsklassen 2, Lastwagenanteile 20% und variabler Kurvigkeit

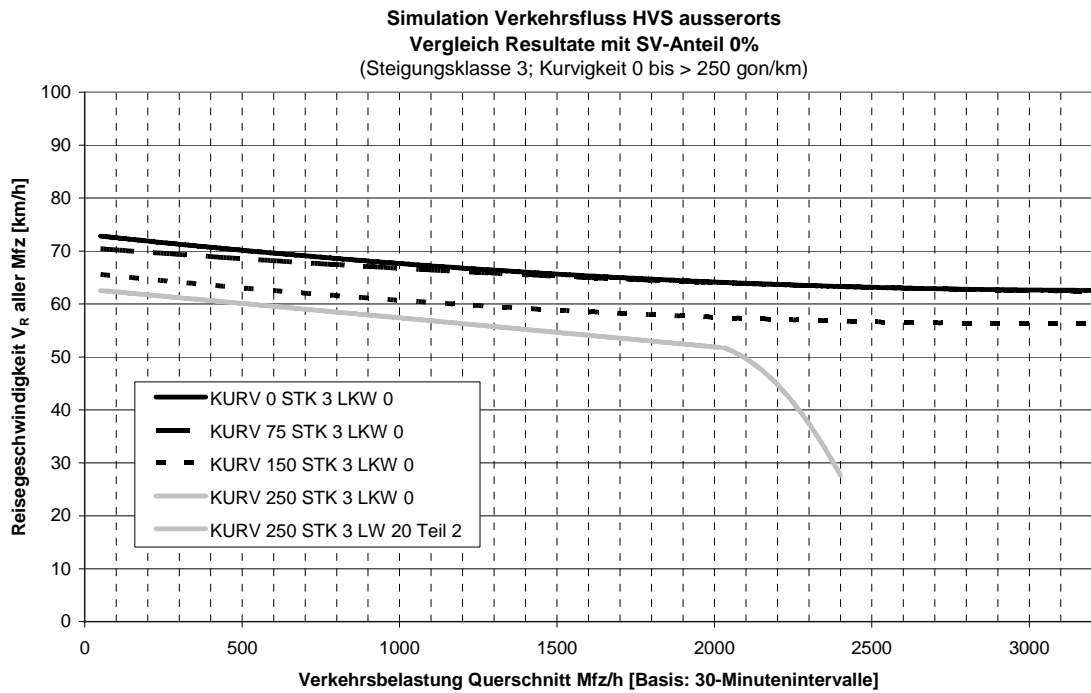


Abbildung 5: Vergleich der Q-V-Kurven aus den Simulationsresultaten für HVS ausserorts für alle Steigungsklassen 3, Lastwagenanteile 0% und variabler Kurvigkeit

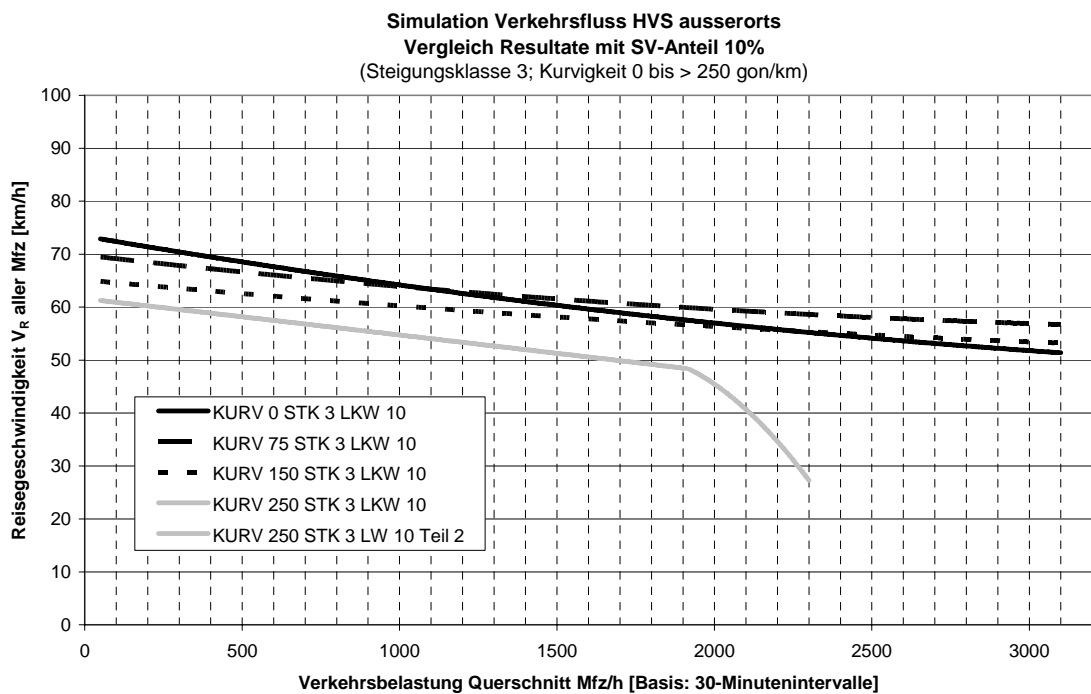


Abbildung 6: Vergleich der Q-V-Kurven aus den Simulationsresultaten für HVS ausserorts für alle Steigungsklassen 3, Lastwagenanteile 10% und variabler Kurvigkeit

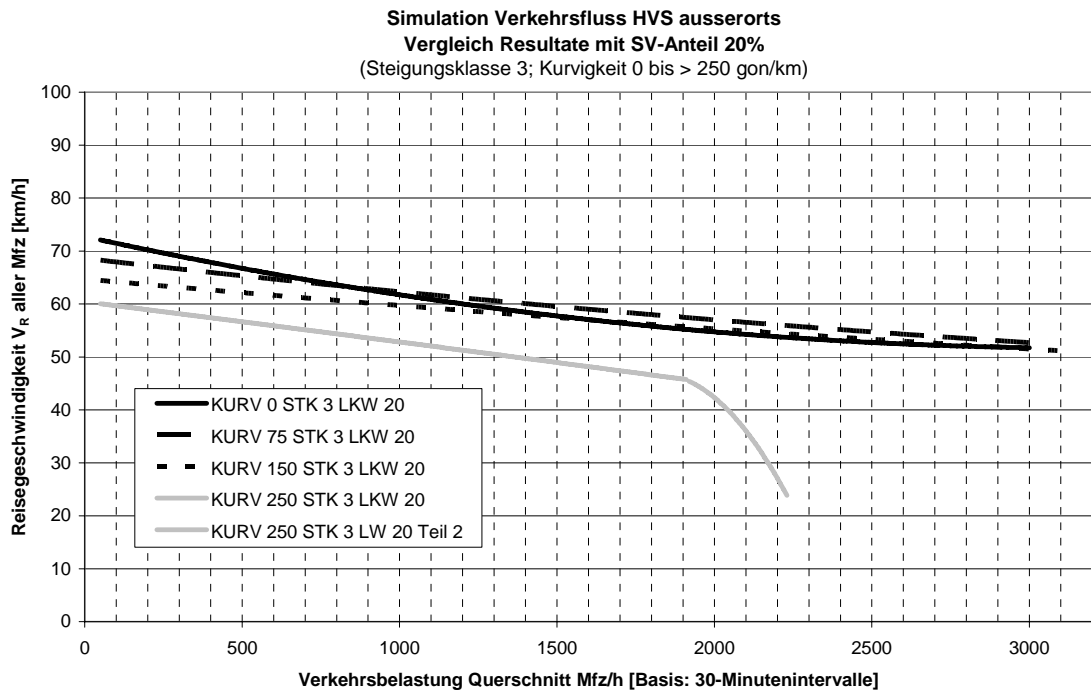


Abbildung 7: Vergleich der Q-V-Kurven aus den Simulationsresultaten für HVS ausserorts für alle Steigungsklassen 3, Lastwagenanteile 20% und variabler Kurvigkeit

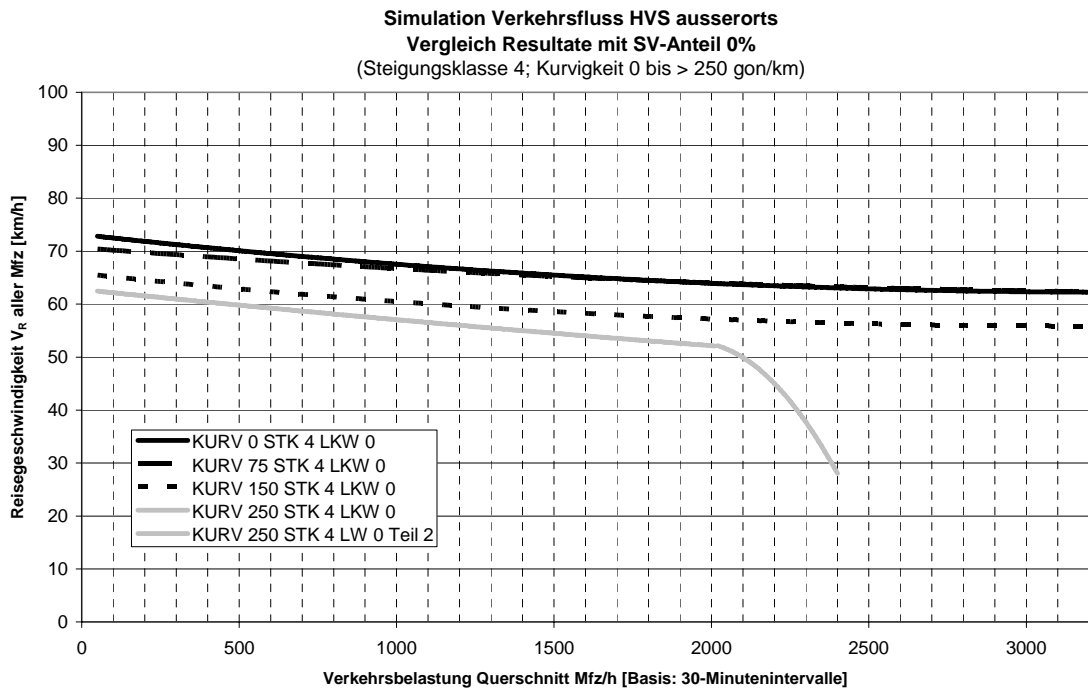


Abbildung 8: Vergleich der Q-V-Kurven aus den Simulationsresultaten für HVS ausserorts für alle Steigungsklassen 4, Lastwagenanteile 0% und variabler Kurvigkeit

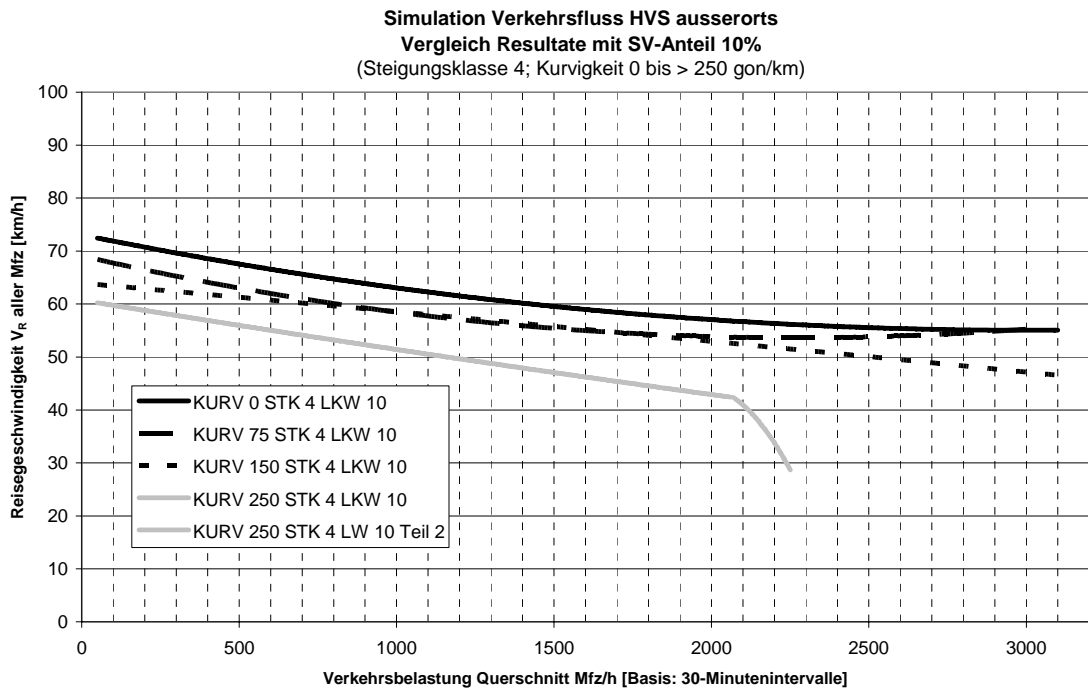


Abbildung 9: Vergleich der Q-V-Kurven aus den Simulationsresultaten für HVS ausserorts für alle Steigungsklassen 4, Lastwagenanteile 10% und variabler Kurvigkeit

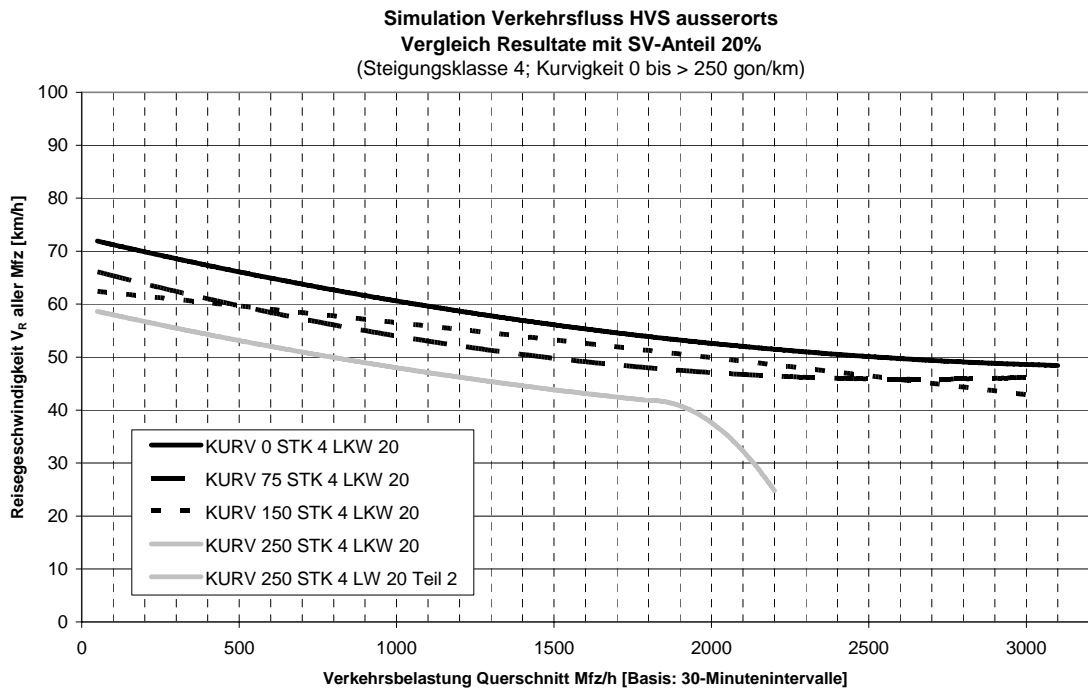


Abbildung 10: Vergleich der Q-V-Kurven aus den Simulationsresultaten für HVS ausserorts für alle Steigungsklassen 4, Lastwagenanteile 20% und variabler Kurvigkeit

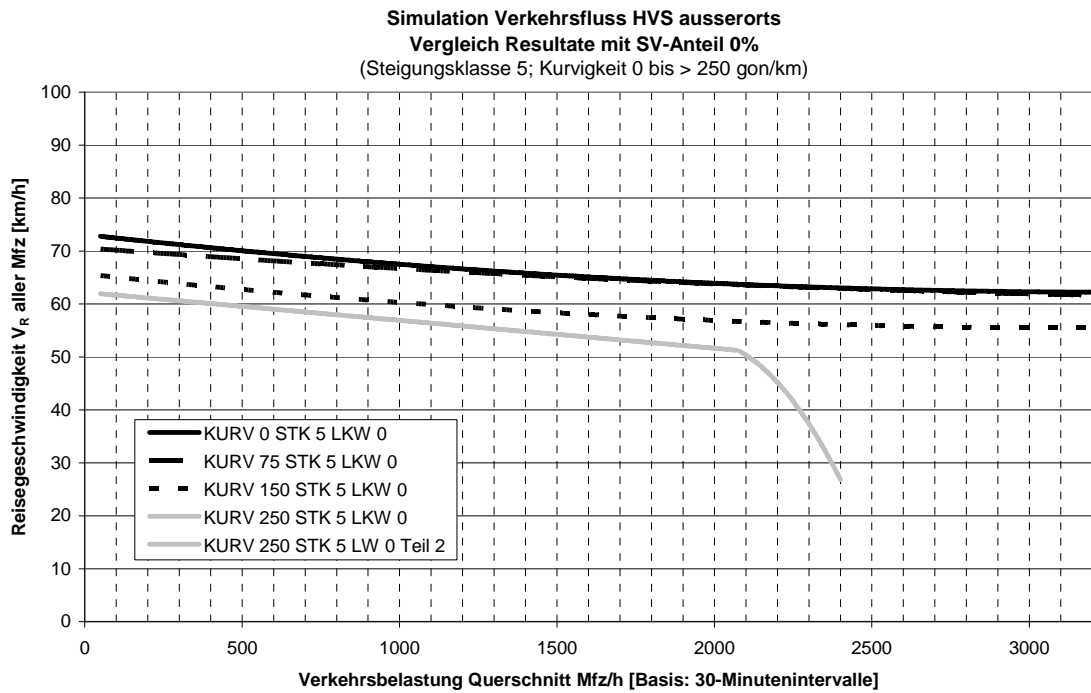


Abbildung 11: Vergleich der Q-V-Kurven aus den Simulationsresultaten für HVS ausserorts für alle Steigungsklassen 5, Lastwagenanteile 0% und variabler Kurvigkeit

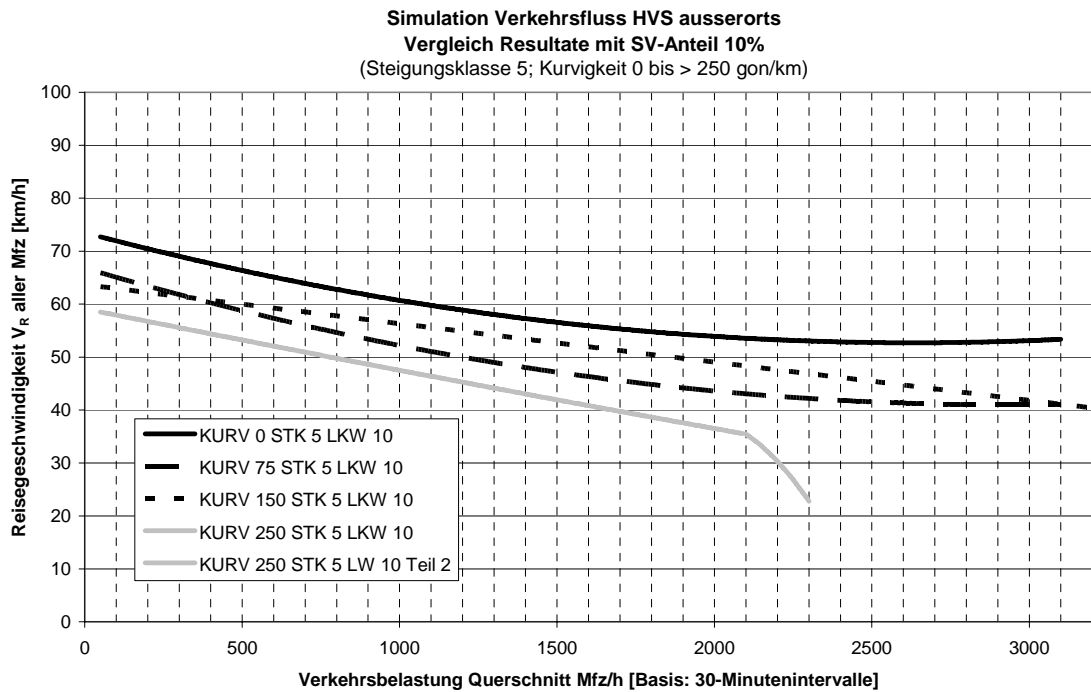


Abbildung 12: Vergleich der Q-V-Kurven aus den Simulationsresultaten für HVS ausserorts für alle Steigungsklassen 5, Lastwagenanteile 10% und variabler Kurvigkeit

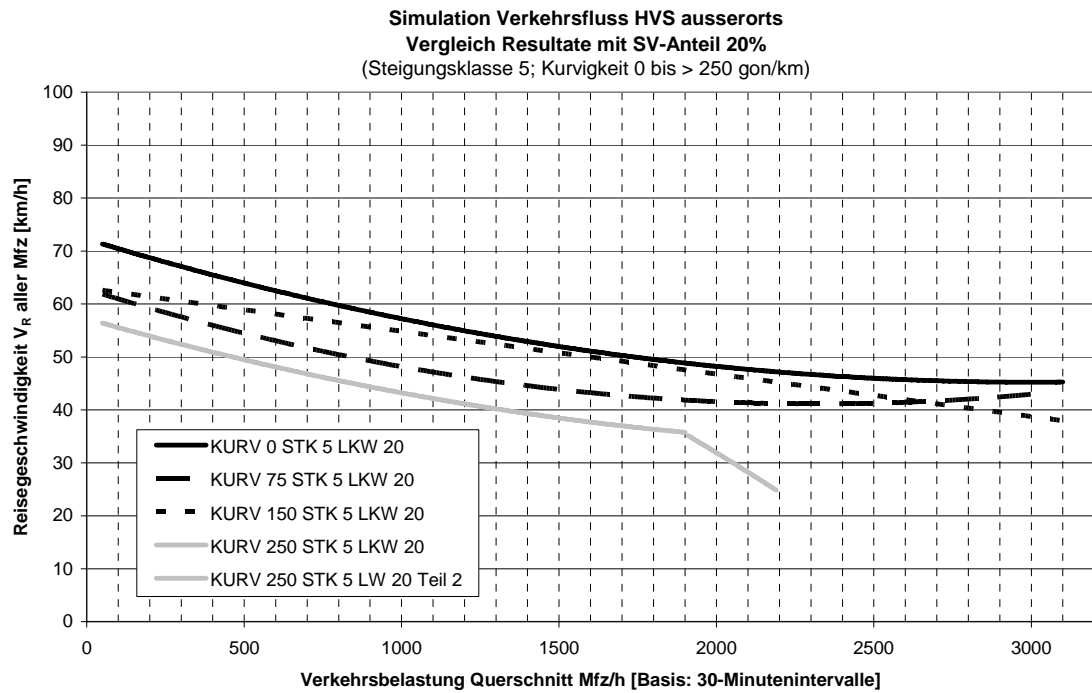


Abbildung 13: Vergleich der Q-V-Kurven aus den Simulationsresultaten für HVS ausserorts für alle Steigungsklassen 5, Lastwagenanteile 20% und variabler Kurvigkeit

VERGLEICH EINFLUSS STEIGUNGEN AUF Q-V-KURVEN

Vergleich der Q-V-Kurven der Regressionen für HVS ausserorts aus Kap. 8.1 anhand deren Einstufung in Steigungsklassen (Einfluss der Änderung der Steigungsklasse bei gleicher Kurvigkeit und gleichem Lastwagenanteil)

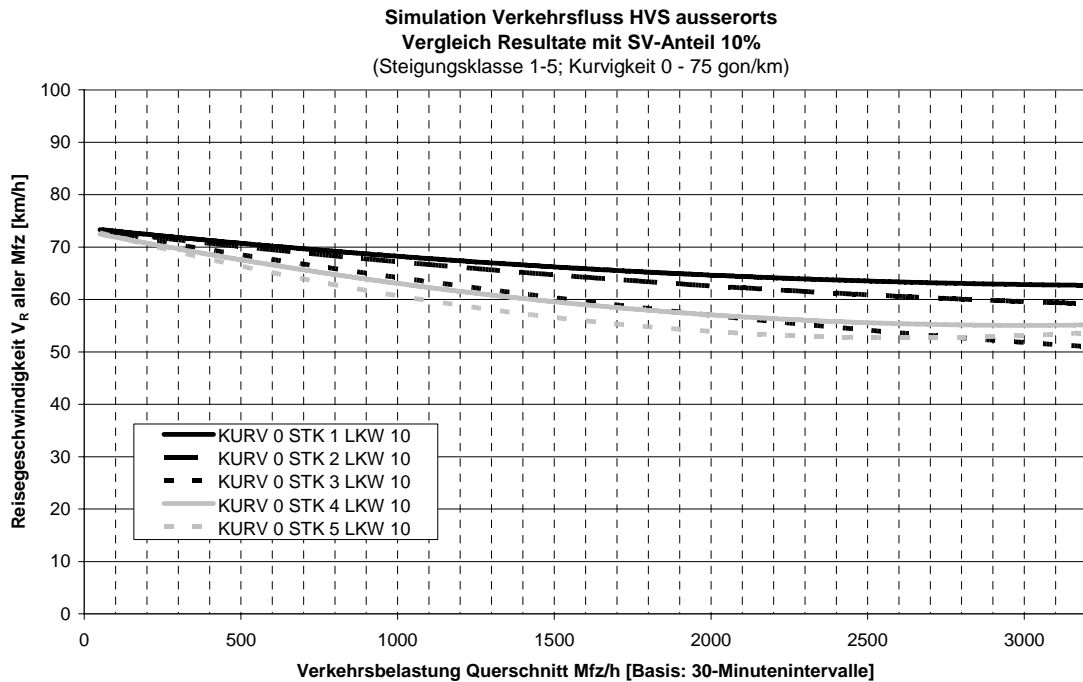


Abbildung 1: Vergleich der Q-V-Kurven aus den Simulationsresultaten für HVS ausserorts für Kurvigkeit 0 – 75 gon/km und Lastwagenanteil 10% und variabler Steigungsklasse

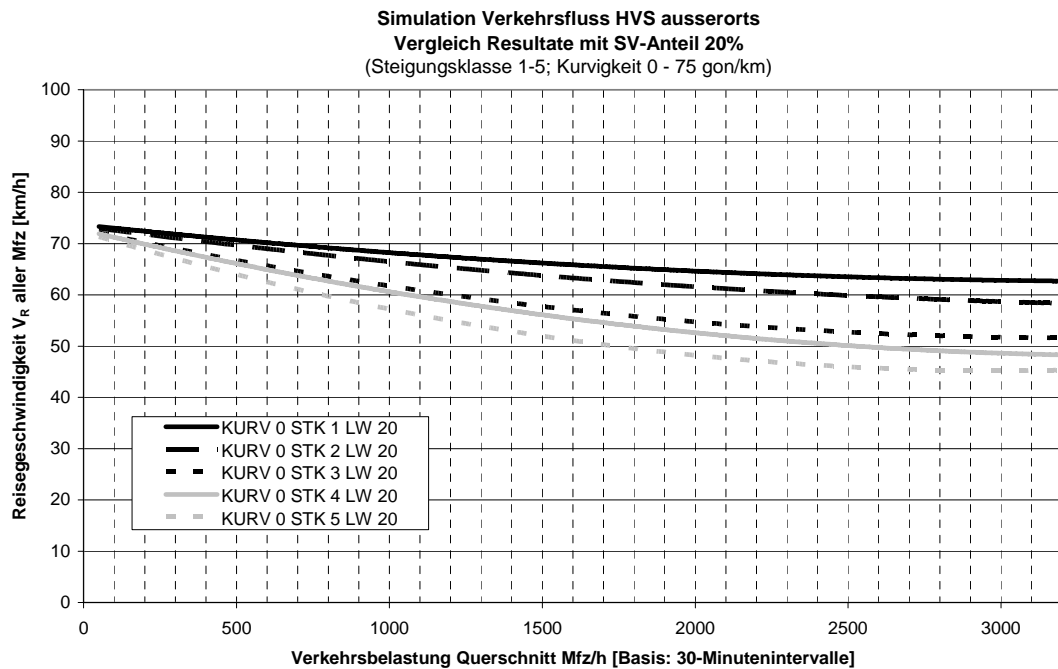


Abbildung 2: Vergleich der Q-V-Kurven aus den Simulationsresultaten für HVS ausserorts für Kurvigkeit 0 – 75 gon/km und Lastwagenanteil 20% und variabler Steigungsklasse

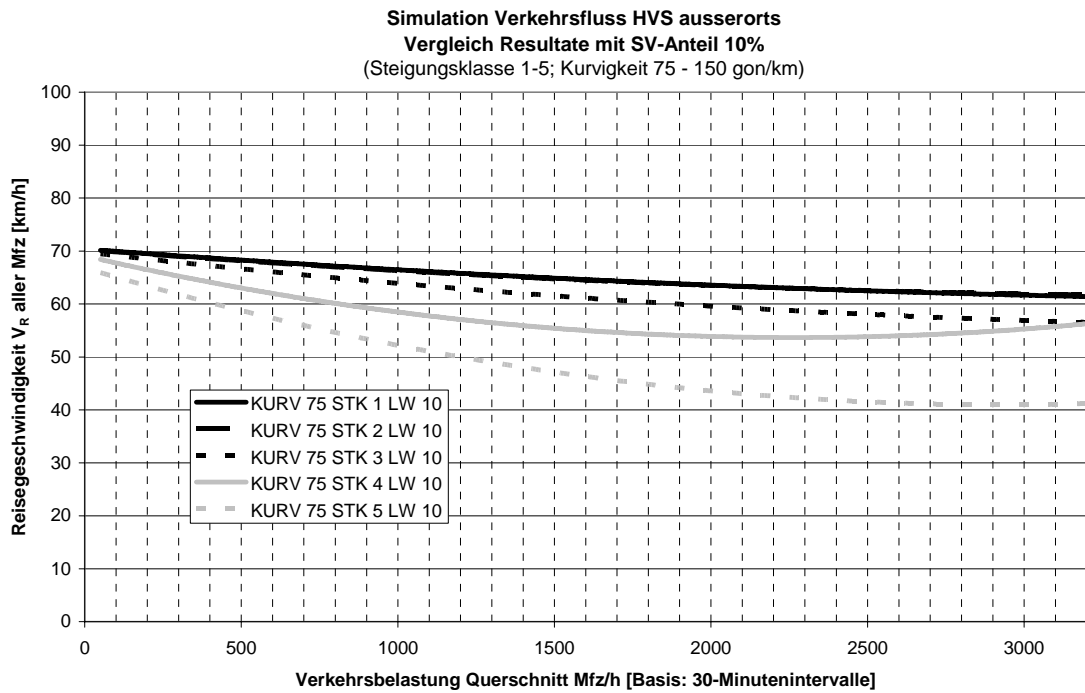


Abbildung 3: Vergleich der Q-V-Kurven aus den Simulationsresultaten für HVS ausserorts für Kurvigkeit 75 - 150 gon/km und Lastwagenanteil 10% und variabler Steigungsklasse

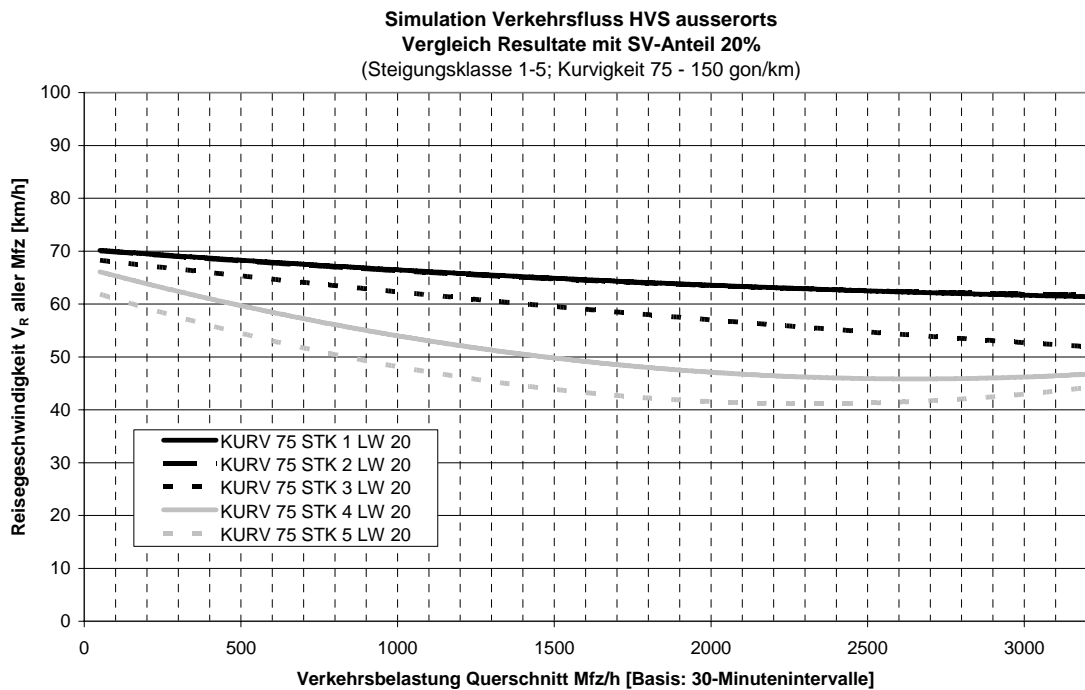


Abbildung 4: Vergleich der Q-V-Kurven aus den Simulationsresultaten für HVS ausserorts für Kurvigkeit 75 - 150 gon/km und Lastwagenanteil 20% und variabler Steigungsklasse

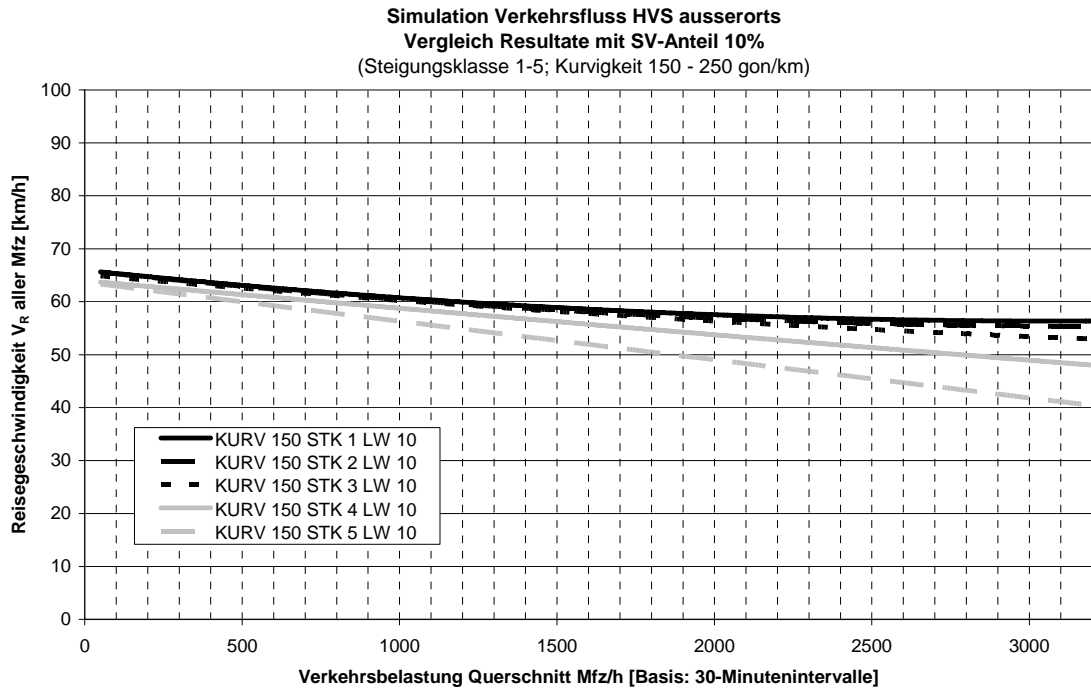


Abbildung 5: Vergleich der Q-V-Kurven aus den Simulationsresultaten für HVS ausserorts für Kurvigkeit 150 - 250 gon/km und Lastwagenanteil 10% und variabler Steigungsklasse

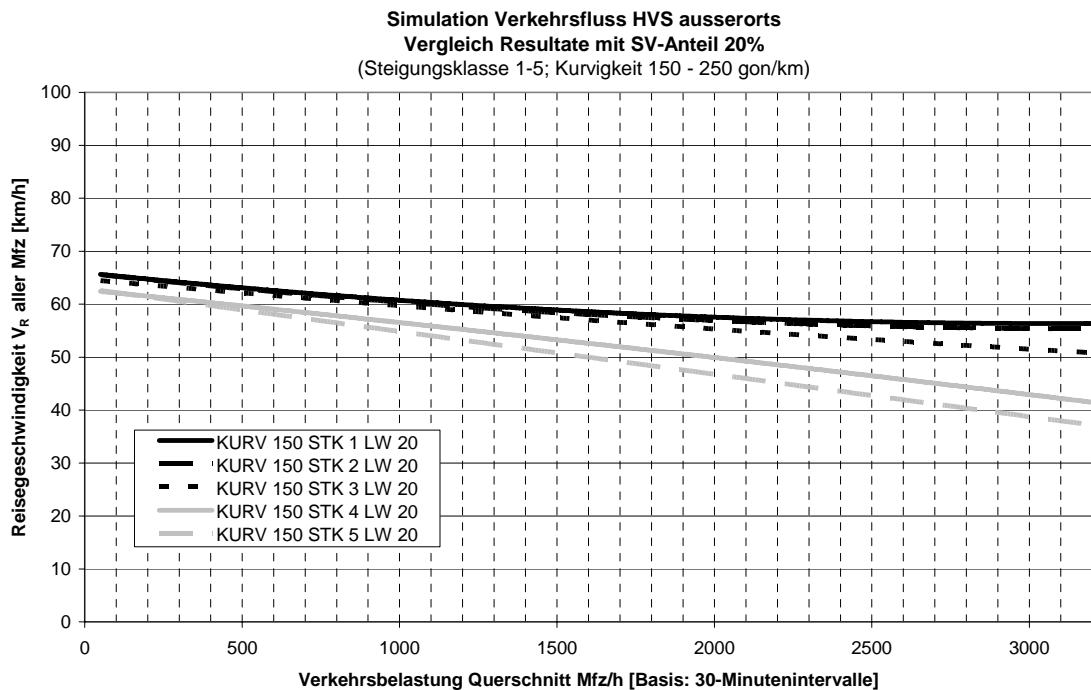


Abbildung 6: Vergleich der Q-V-Kurven aus den Simulationsresultaten für HVS ausserorts für Kurvigkeit 150 - 250 gon/km und Lastwagenanteil 20% und variabler Steigungsklasse

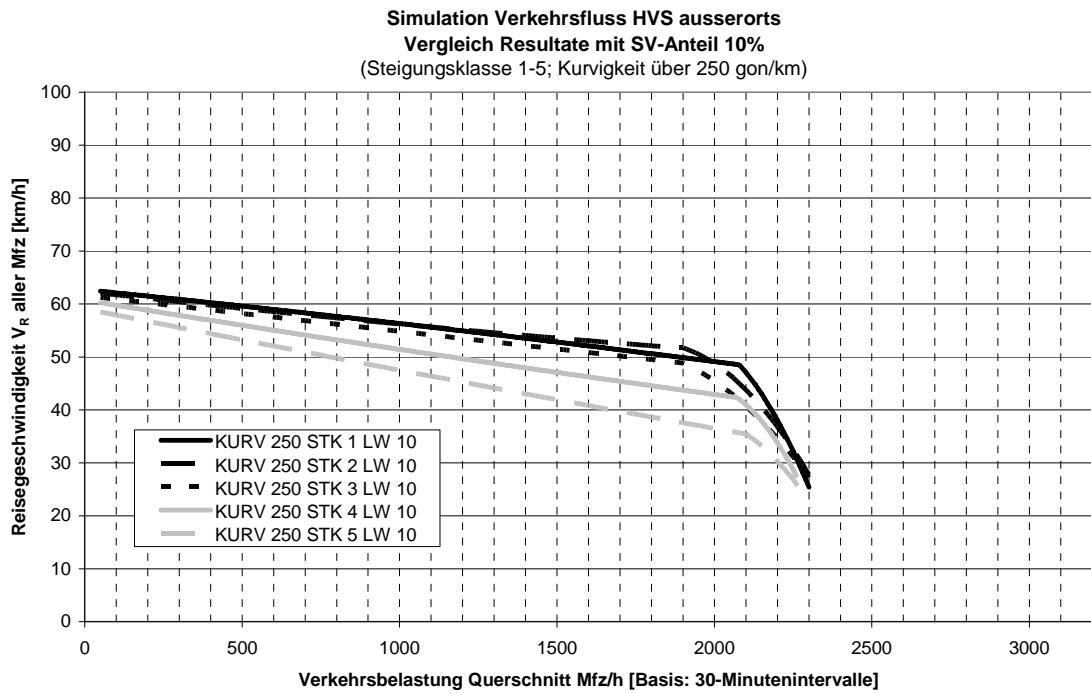


Abbildung 7: Vergleich der Q-V-Kurven aus den Simulationsresultaten für HVS ausserorts für Kurvigkeit > 250 gon/km und Lastwagenanteil 10% und variabler Steigungsklasse

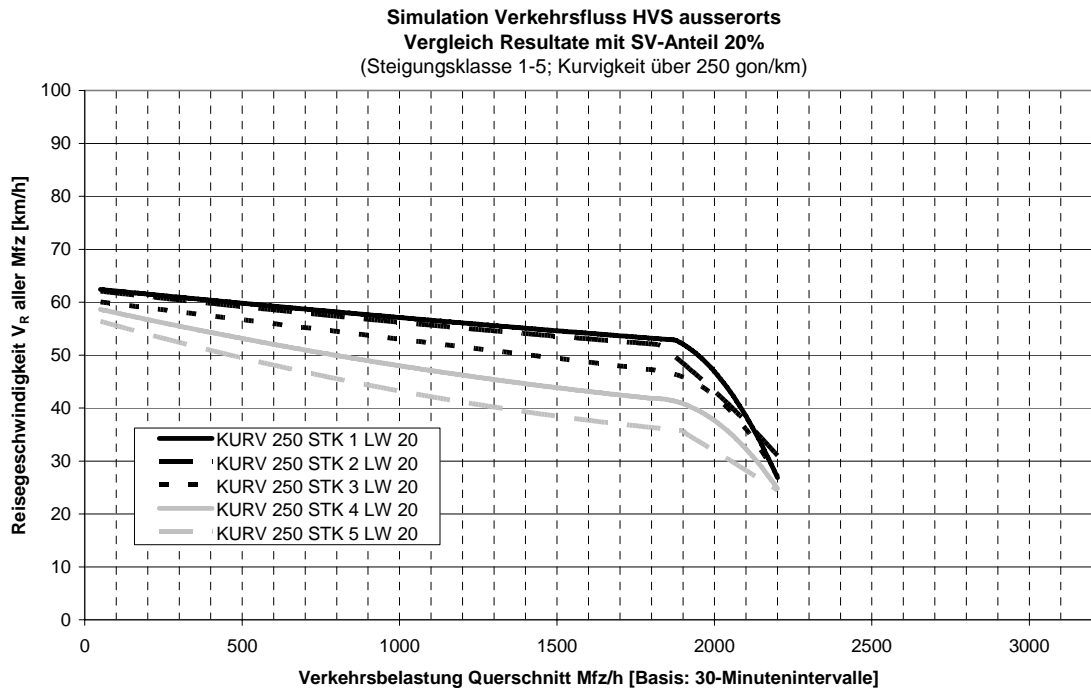


Abbildung 8: Vergleich der Q-V-Kurven aus den Simulationsresultaten für HVS ausserorts für Kurvigkeit > 250 gon/km und Lastwagenanteil 20% und variabler Steigungsklasse

VERKEHRSELASTUNGEN AUF ZWEISTREIFIGEN STRASSEN

Auswertung der Kennziffern 1./30./50./100./200.Stunde der Dauerkurven der ASTRA-Zählstellen aus den Jahren 2003 – 2006

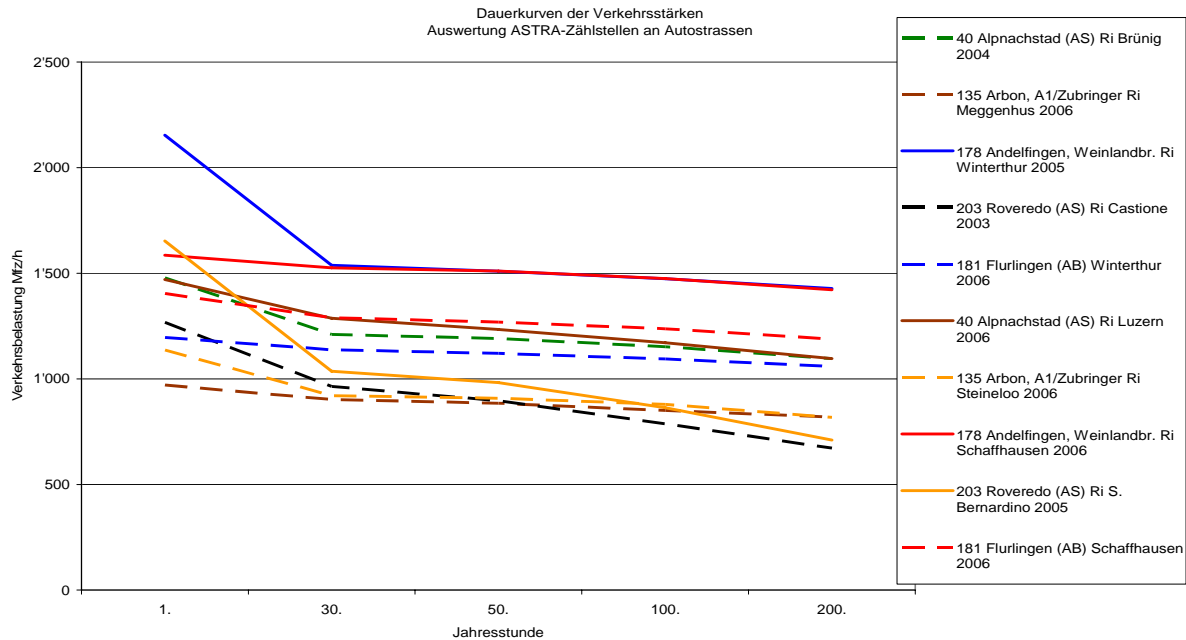


Abbildung 1: Auswertungen ASTRA-Zählstellen an Hochleistungsstrassen (Typen HLS 2x1)

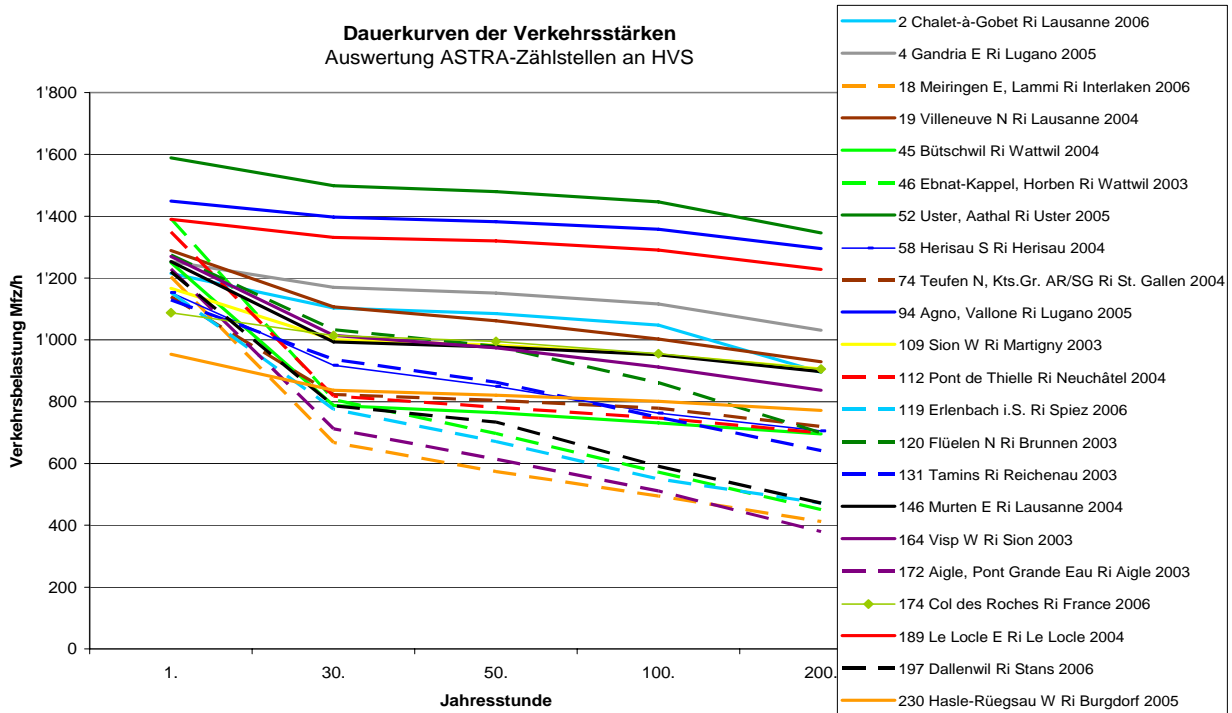


Abbildung 2: Auswertungen ASTRA-Zählstellen an Hauptverkehrsstrassen (HVS)

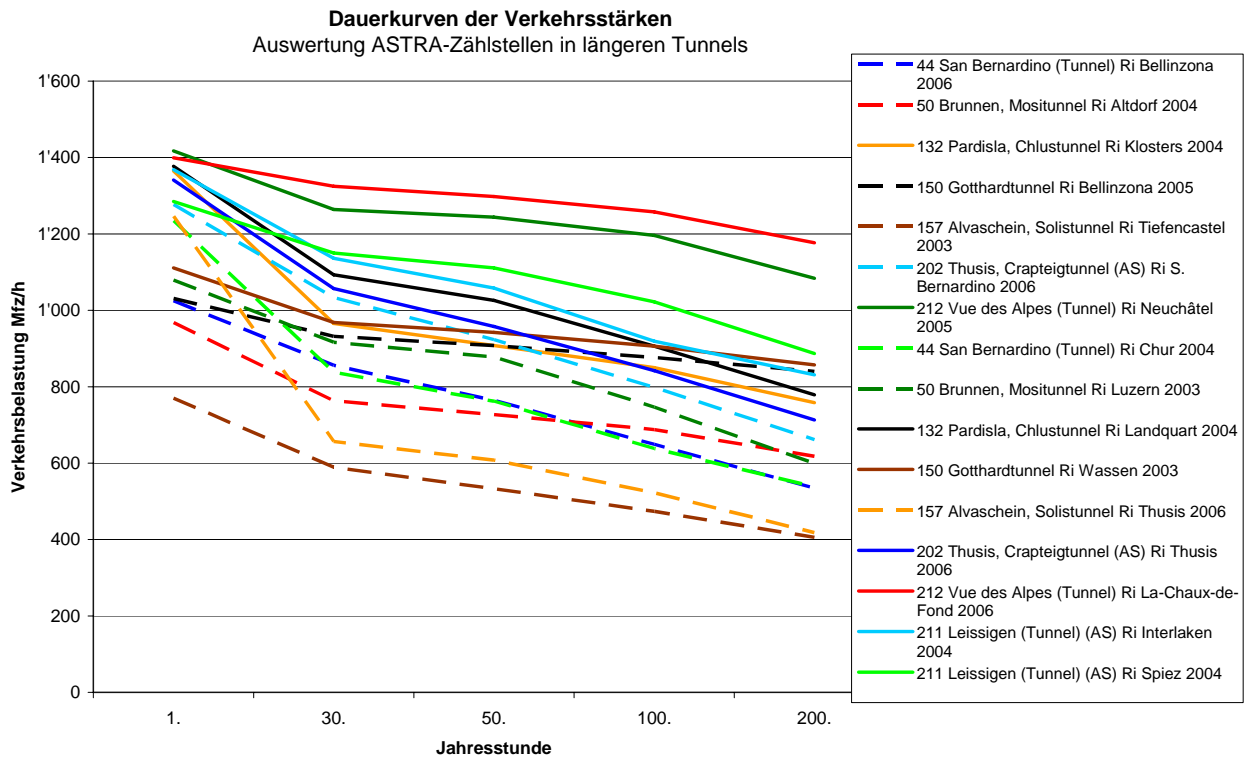


Abbildung 3: Auswertungen ASTRA-Zählstellen in langen Tunnels (2x1)

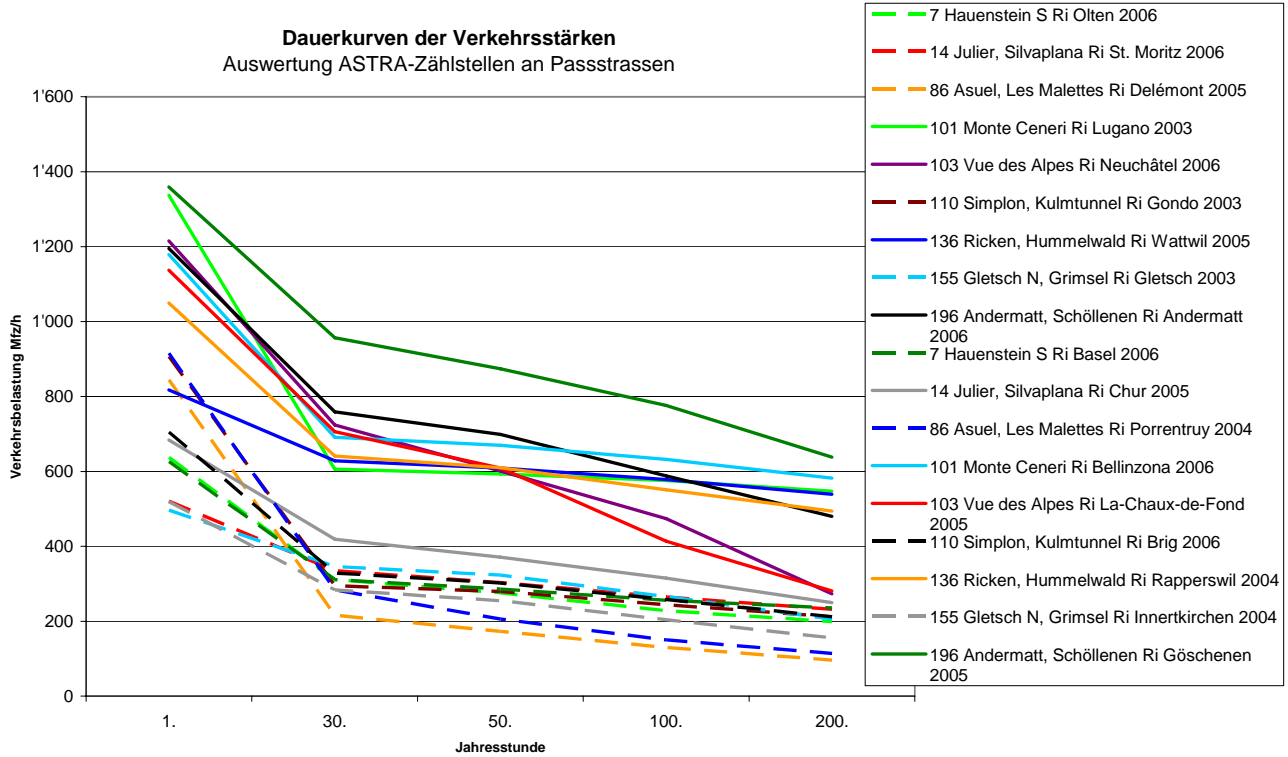


Abbildung 3: Auswertungen ASTRA-Zählstellen auf Passstrassen (Hauptverkehrsstrassen)