

Geschwindigkeiten in Steigungen und Gefällen

Thorsten Koy
Peter Spacek

Forschungsarbeit Nr. VSS 1998/079
des Eidgenössischen Verkehrs- und Energie-
wirtschaftsdepartements (UVEK)

Zürich, August 2003

VORWORT

Die bestehende Projektierungsnorm des Schweizerischen Verbandes der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS) SN 640 138a „Linienführung, Zusatzstreifen in Steigungen und Gefällen“ basiert auf Geschwindigkeitserhebungen zu Beginn der 1980er Jahre. Verschiedene der in den letzten Jahren durchgeführten Untersuchungen des Geschwindigkeitsverhaltens haben angedeutet, dass sich die Bemessungsgrundlagen auch in den Steigungen und Gefällen verändert haben. Die vorliegende Untersuchung soll diese Veränderungen quantitativ aufzeigen. Dabei wurden neben den empirischen Ergebnissen auch jene der Simulationsberechnungen einbezogen.

Aufgrund der gewonnenen Erkenntnisse über das Geschwindigkeitsverhalten ungehindert fahrender Personenwagen und Lastwagen wurden anschliessend neue Bemessungsgrundlagen abgeleitet und Vorschläge für die Anpassung bestehender Normen unterbreitet. Sie konzentrieren sich auf die Erarbeitung neuer Modelle für die fahrdynamische und verkehrstechnische Beurteilung der Zweckmässigkeit von Zusatzstreifen auf Neigungsstrecken. Zu diesem Zweck sind auch die Veränderungen im Lastwagenpark analysiert worden, insbesondere hinsichtlich der bei den dynamischen Gewichtsmessungen erfassten Betriebsgewichte schwerer Motorfahrzeuge.

Die Durchführung der vorliegenden Forschungsarbeit fiel in einen Zeitraum, in welchem sich die äusseren Rahmenbedingungen verändert haben. Vor allem die Herabsetzung der gesetzlichen Mindestnutzleistung und die schrittweise Zulassung von Schwerfahrzeugen mit mehr als 28t Gesamtgewicht machten eine Wiederholung der Feldmessungen erforderlich. Dies führte dazu, dass die Forschungsarbeit zwei Jahre später als geplant abgeschlossen werden konnte.

Bei den Untersuchungsarbeiten haben am IVT die Herren I. Belopitov, Ch. Schwarz und Th. Weber (Messarbeiten) sowie Frau C. Heil (statistische Auswertungen und Berichterstattung) mitgewirkt. Unterstützung haben wir auch von den Verwaltungen mehrerer Kantone (Planunterlagen) und vom ASTRA (WIM-Messungen) erhalten. Besonders zu erwähnen sind die Mitarbeiter des Werkhofs in Sissach, die uns die Durchführung der Messungen auf der Autobahn A2 im Kanton Baselland ermöglicht haben.

Allen, die am Gelingen der Untersuchung mitgewirkt haben, sei an dieser Stelle gedankt.

INHALTSVERZEICHNIS

| | |
|---|-----------|
| 1. EINLEITUNG | 1 |
| 1.1. Ausgangslage | 1 |
| 1.2. Auftrag | 1 |
| 1.3. Forschungsziele..... | 1 |
| 1.4. Untersuchungsvorgehen..... | 3 |
| 2. ERHEBUNGEN UND BERECHNUNGEN..... | 5 |
| 2.1. Untersuchungstrecken | 5 |
| 2.2. Messeinrichtung | 6 |
| 2.3. Fahrzeugarten | 6 |
| 2.4. Messanordnung und -durchführung..... | 7 |
| 2.5. Durchgeführte Auswertungen | 8 |
| 2.6. Ergänzende Radarmessungen | 9 |
| 2.7. Simulationsberechnungen | 10 |
| 2.7.1. Art der Fahrsimulationen | 10 |
| 2.7.2. Umfang der Fahrsimulationen | 11 |
| 3. MESSERGEBNISSE..... | 13 |
| 3.1. Ungehindert fahrende Fahrzeuge..... | 13 |
| 3.2. Personenwagen | 13 |
| 3.2.1. Geschwindigkeitsverteilungen 1999 | 13 |
| 3.2.2. Geschwindigkeitswerte 1999 | 15 |
| 3.2.2.1. <i>Mittlere Geschwindigkeiten V_M</i> | 15 |
| 3.2.2.2. <i>$V_{85\%}$-Geschwindigkeiten</i> | 16 |
| 3.2.3. Geschwindigkeitsverlauf 1999..... | 16 |
| 3.2.3.1. <i>Verlauf der $V_{85\%}$-Geschwindigkeiten</i> | 16 |
| 3.2.3.2. <i>Längsverzögerungen und -beschleunigungen</i> | 17 |
| 3.2.4. Geschwindigkeiten 2002 | 17 |
| 3.3. Lastwagen | 18 |
| 3.3.1. Geschwindigkeitsverteilungen..... | 18 |
| 3.3.1.1. <i>Geschwindigkeitsverteilungen 1999</i> | 18 |
| 3.3.1.2. <i>Geschwindigkeitsverteilungen 2002</i> | 19 |
| 3.3.2. Geschwindigkeitswerte..... | 21 |
| 3.3.2.1. <i>Mittlere Geschwindigkeiten V_M 1999</i> | 21 |
| 3.3.2.2. <i>Mittlere Geschwindigkeiten V_M 2002</i> | 22 |
| 3.3.2.3. <i>$V_{15\%}$-Geschwindigkeiten 1999</i> | 22 |
| 3.3.2.4. <i>$V_{15\%}$-Geschwindigkeiten 2002</i> | 23 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 3.3.3. | Geschwindigkeiten längs der Neigungsstrecke | 24 |
| 3.3.3.1. | Verlauf der $V_{15\%}$ -Geschwindigkeiten 1999 | 24 |
| 3.3.3.2. | Verlauf der $V_{15\%}$ -Geschwindigkeiten 2002 | 24 |
| 3.3.3.3. | Längsverzögerungen und -beschleunigungen 1999 | 25 |
| 3.3.3.4. | Längsverzögerungen und -beschleunigungen 2002 | 25 |
| 3.3.4. | Geschwindigkeitsveränderungen bei den schweren Lastwagen | 26 |
| 4. | ZUSAMMENHÄNGE UND VERGLEICHE..... | 27 |
| 4.1. | Personenwagen | 27 |
| 4.1.1. | Geschwindigkeit und Längsneigung..... | 27 |
| 4.1.1.1. | Regressionsansätze..... | 27 |
| 4.1.1.2. | Regressionsberechnungen | 27 |
| 4.1.1.3. | Vergleich zwischen 1978 und 1999..... | 29 |
| 4.1.2. | Geschwindigkeitsveränderungen entlang der Neigungsstrecke | 30 |
| 4.2. | Lastwagen | 30 |
| 4.2.1. | Geschwindigkeit und Längsneigung..... | 30 |
| 4.2.1.1. | Regressionsansätze..... | 31 |
| 4.2.1.2. | Regressionsberechnungen 1999..... | 31 |
| 4.2.1.3. | Vergleich zwischen 1983 und 1999..... | 32 |
| 4.2.1.4. | Regressionsberechnungen 2002..... | 33 |
| 4.2.1.5. | Vergleich zwischen 1999 und 2002..... | 34 |
| 4.2.2. | Geschwindigkeitsveränderungen entlang der Neigungsstrecke | 35 |
| 5. | STATISTISCHE AUSWERTUNGEN | 37 |
| 5.1. | Lastwagenpark in der Schweiz..... | 37 |
| 5.1.1. | Fahrzeugkategorien..... | 37 |
| 5.1.2. | Gesamtgewichte | 38 |
| 5.1.3. | Herstellerfirmen..... | 39 |
| 5.2. | Ergebnisse der WIM Messungen..... | 40 |
| 5.2.1. | Ergebnisse der Gewichtsmessungen..... | 41 |
| 5.2.2. | Veränderungen in den Gewichtsklassen..... | 42 |
| 5.2.2.1. | WIM-Messstelle Gotthardtunnel | 43 |
| 5.2.2.2. | WIM-Messstelle Plazzastunnel | 43 |
| 5.2.2.3. | WIM-Messstelle Mattstetten | 44 |
| 5.2.3. | Folgerungen | 44 |
| 5.3. | Abschätzung der Weiterentwicklung | 45 |
| 6. | CHARAKTERISTIK DES MASSGEBENDEN LASTWAGENS | 47 |
| 6.1. | Simulationsergebnisse | 47 |
| 6.1.1. | Theoretische Dauergeschwindigkeit in Abhängigkeit der Längsneigung..... | 47 |
| 6.1.2. | Theoretische Dauergeschwindigkeit in Abhängigkeit der Nutzleistung..... | 49 |
| 6.2. | Vergleiche mit den empirischen Messergebnissen | 50 |
| 6.3. | Festlegung des Bemessungslastwagens | 51 |

| | |
|---|-----------|
| 7. GESCHWINDIGKEITSVERLAUF | 53 |
| 7.1. Konstruktion der Geschwindigkeitsprofile..... | 53 |
| 7.1.1. Beschleunigungsvorgänge..... | 53 |
| 7.1.2. Verzögerungsvorgänge..... | 53 |
| 7.2. Vergleich der Geschwindigkeitsverläufe..... | 54 |
| 7.2.1. Gegenüberstellung mit den empirischen Messungen..... | 54 |
| 7.2.2. Vergleich mit der bestehenden Norm..... | 56 |
| 7.2.3. Vergleich mit dem HBS 2001..... | 57 |
| 7.3. Geschwindigkeitsverlauf des Bemessungslastwagens..... | 58 |
| 7.3.1. Hinweise zur Anwendung der Geschwindigkeitsprofile..... | 60 |
| | |
| 8. AUSWIRKUNGEN..... | 62 |
| 8.1. Auswirkungen der Veränderungen auf den Verkehrsablauf..... | 62 |
| 8.2. Auswirkungen auf Normen..... | 62 |
| 8.2.1. Elemente der vertikalen Linienführung (SN 640 110)..... | 62 |
| 8.2.2. Geschwindigkeit als Projektierungselement (SN 640 080b)..... | 63 |
| 8.3. Vergleiche mit ausländischen Untersuchungen und Normen..... | 63 |
| 8.3.1. Personenwagen..... | 63 |
| 8.3.2. Lastwagen..... | 64 |
| | |
| 9. GRUNDLAGEN ZUR ANPASSUNG DER VSS-NORM „ZUSATZSTREIFEN IN STEIGUNGEN UND GEFÄLLEN“ | 67 |
| 9.1. Analyse der bestehenden Norm [3]..... | 67 |
| 9.1.1. Generelle Einflüsse..... | 67 |
| 9.1.2. Fahrdynamische Kriterien..... | 67 |
| 9.1.3. Verkehrstechnische Kriterien..... | 68 |
| 9.2. Vorschläge zur Anpassung der bestehenden Norm..... | 68 |
| 9.2.1. Fahrdynamische Beurteilung..... | 68 |
| 9.2.1.1. Überholbedürfnis auf Strassen mit Gegenverkehr..... | 68 |
| 9.2.1.2. Geschwindigkeitsdifferenzen beim Überholen..... | 70 |
| 9.2.1.3. Vorschlag für ein VSS-Modell..... | 71 |
| 9.2.1.4. Projektierungsgeschwindigkeit in grossen Längsneigungen..... | 72 |
| 9.2.2. Verkehrstechnische Beurteilung für Strassen mit Gegenverkehr..... | 73 |
| 9.2.2.1. Bestehendes VSS-Modell..... | 73 |
| 9.2.2.2. Grundlagen für neues VSS-Modell..... | 75 |
| 9.2.2.3. Vorschlag für neues VSS-Modell..... | 76 |
| 9.2.3. Verkehrstechnische Beurteilung für Autobahnen..... | 81 |
| 9.3. Ausbildung von Zusatzstreifen..... | 81 |
| 9.4. Auswirkungen der Normungsvorschläge..... | 82 |
| 9.4.1. Steigungsstrecke auf Hauptstrasse..... | 82 |
| 9.4.2. Steigungsstrecke auf Autobahn..... | 84 |

| | |
|---|-----------|
| 10. WICHTIGSTE ERGEBNISSE UND EMPFEHLUNGEN | 86 |
| 10.1. Wichtigste Ergebnisse | 86 |
| 10.2. Empfehlungen | 87 |
| 11. VERZEICHNISSE UND QUELLEN | 88 |
| 11.1. Quellenverzeichnis | 88 |
| 11.2. Abbildungsverzeichnis | 90 |
| 11.3. Tabellenverzeichnis | 92 |

ANHANG

ZUSAMMENFASSUNG

Ausgangslage

Das Geschwindigkeitsverhalten von Personenwagen und Lastwagen in Steigungen und Gefällen wurde in der Schweiz letztmals vor über 20 Jahren untersucht. Damals galt auf Strassen ausserorts die generelle Höchstgeschwindigkeit von 100 km/h. Seit der Einführung der generellen Tempolimits von 80 km/h wurden keine umfassenden Erhebungen mehr durchgeführt. Bei den Lastwagen war die Notwendigkeit von neuen Erhebungen auch im Zusammenhang mit der vorgesehenen Zulassung von Fahrzeugen mit bis zu 40 Tonnen Gesamtgewicht begründet. Da die bei den bilateralen Verhandlungen mit der europäischen Union vereinbarten Lastwagenkontingente seit dem 1. Januar 2001 zugelassen sind, ging es zu Beginn dieser Arbeit (1999) auch darum, Erhebungen im Zustand „Vorher“ (Gewichtslimits 28 Tonnen) durchzuführen. Die Einflüsse der erhöhten Gewichtslimits (bzw. der damit reduzierten, gesetzlich vorgeschriebenen Mindestmotorisierung der schweren Motorfahrzeuge) auf das Geschwindigkeitsverhalten wurden im Sommer 2002 (Zustand „Nachher“) durch entsprechende Messungen überprüft.

Forschungsziel

Die Aufgabe des vorliegenden Forschungsvorhabens bestand darin, die Veränderungen des Zusammenhangs zwischen Längsneigung und Geschwindigkeiten von Fahrzeugen zu ermitteln und dadurch allfällige Anpassungen der betreffenden Normen zu ermöglichen. Die Geschwindigkeiten in Steigungen und Gefällen betreffen direkt oder indirekt mehrere Projektierungsnormen. Im Vordergrund stand dabei die Norm „Zusatzstreifen in Steigungen und Gefällen“ (SN 640 138a). Die Ergebnisse dieser Untersuchung basieren auf rund 40 Erhebungen im Verkehrsablauf auf Hochleistungsstrassen und auf Hauptstrassen ausserorts sowie auf ergänzenden Simulationsberechnungen.

Ergebnisse

Bei den *Personenwagen (PW)* zeigte sich bei den Geschwindigkeitsverteilungen von 1999 eine Homogenisierung gegenüber früheren Erhebungen (1978). Die Geschwindigkeitsdifferenzen zwischen den schnellen ($V_{85\%}$) und langsamen ($V_{15\%}$) PW liegen unabhängig von den Neigungsverhältnissen bei rund 20 km/h, während sie 1978 ca. 5 - 10 km/h höher lagen. Zudem zeigte sich auf Steigungsstrecken, im Gegensatz zu Gefällsstrecken, eine leichte Abhängigkeit zwischen Längsneigung und Geschwindigkeit. Die angesprochene Homogenisierung ist primär auf die Reduktion der Geschwindigkeiten von schnellen PW zurückzuführen. Weiter konnte festgestellt werden, dass die Dauergeschwindigkeiten (V_D) von PW in Steigungen bis zu einer Längsneigung von ca. 8 % tiefer liegen als 1978, und zwar bei kleinen Längsneigungen um bis zu 8 km/h. Erst bei sehr grossen Steigungen war eine leichte Zunahme zu verzeichnen. Diese Veränderungen lassen sich durch die herabgesetzte Tempolimits auf Strassen ausserorts erklären.

Bei den *Lastwagen (LW)* zeigten die Erhebungen von 1999 bei zunehmender Längsneigung eine klare Tendenz zur Abnahme der Geschwindigkeiten und damit einen deutlichen Zusammenhang zwischen diesen beiden Parametern. Die Geschwindigkeitsverteilungen der LW fielen dabei leicht weniger homogen aus als jene der PW. Dennoch haben sich 1999 gegenüber 1983 die Geschwindigkeitsdifferenzen zwischen den schnellen ($V_{85\%}$) und langsamen, beladenen ($V_{15\%}$) LW ebenfalls deutlich verringert und damit das Geschwindigkeitsverhalten homogenisiert. Die Erhebungen von 2002 zeigten in Steigungen gegenüber 1999 eine leichte Zunahme der Geschwindigkeitsdifferenzen, in Gefällen konnte eine weitere Abnahme beobachtet werden. Bei den $V_{15\%}$, welche als Dauergeschwindigkeiten für beladene LW repräsentativ sind, konnten sowohl 1999 als auch 2002 teilweise sehr grosse Zunahmen gegenüber 1983 festgestellt werden. Die Messungen der $V_{15\%}$ in Steigungen von 2002 lagen gegenüber 1999 leicht tiefer, während auf Gefällsstrecken eine weitere Zunahme beobachtet werden konnte. Die Abnahme der Dauergeschwindigkeiten 2002 von Lastwagen in Steigungen wies aber nicht das Ausmass auf, welches von verschiedenen Seiten im Vorfeld der Zulassung von LW mit bis zu 40t Gesamtgewicht befürchtet worden war.

Die Dauergeschwindigkeiten (V_D) von freifahrenden LW lagen 1999 sowohl in Steigungen (im Mittel +13.7 km/h) als auch in Gefällen (zwischen +10 km/h bei kleinen und +16 km/h bei grossen Längsneigungen) deut-

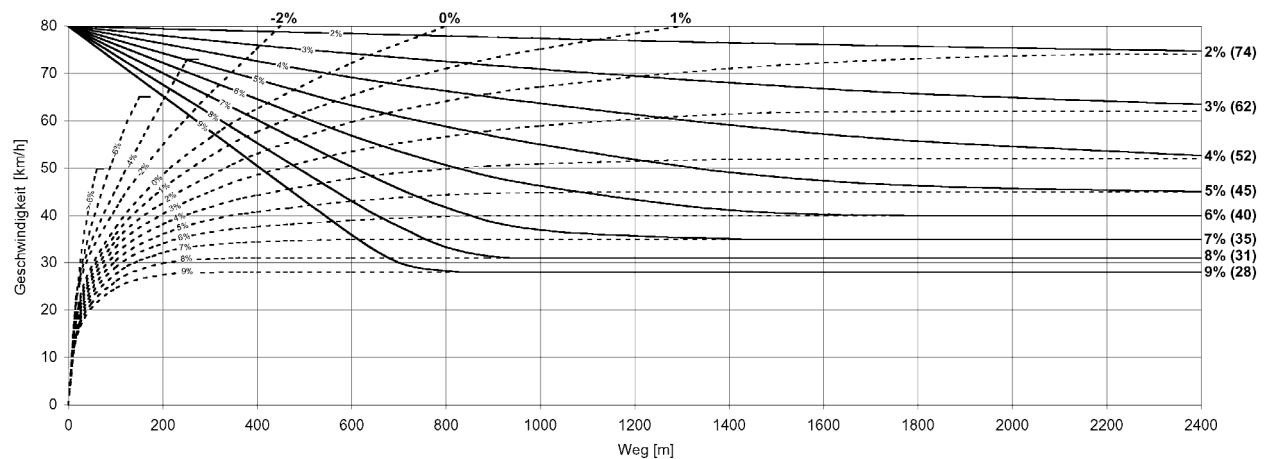
lich höher als 1983. Die Erhebungen von 2002 zeigten gegenüber 1999 in Steigungen eine leichte Abnahme der Dauergeschwindigkeiten (im Mittel -3.8 km/h), während in Gefällen eine weitere Erhöhung der V_D (im Mittel $+4.8$ km/h) zu verzeichnen war. Dennoch liegen die V_D der LW in Steigungen heute (2002) um ca. 10 km/h über den Ergebnissen von 1983. Da die Tempolimiten für LW nicht verändert worden ist, liegt der Grund für die Zunahme bei den Geschwindigkeiten einerseits in technischen Verbesserungen im Lastwagenpark und andererseits in der Tatsache, dass Transportunternehmer für den alpenquerenden Güterverkehr besser motorisierte Fahrzeuge zur Verfügung stellen, welche damit weit über der gesetzlich vorgeschriebenen Mindestnutzleistung von 5.0 KW/t liegen. Diese Vermutung konnte durch die Auswertung der dynamischen Gewichts-Messungen (WIM) am Gotthard bestätigt werden.

Die *statistischen Auswertungen* bzgl. des Lastwagenparks in der Schweiz haben gezeigt, dass seit der Einführung der leistungsabhängigen Schwerverkehrsabgabe (LSVA) die Zahl der Lieferwagen (+5.4%) und vor allem die der Schwerfahrzeuge mit Anhänger (+11.6%) deutlich zugenommen hat. Bei den Betriebsgewichten der in der Schweiz zugelassenen Nutzfahrzeuge konnte nach Einführung der LSVA bei den LW über 26t eine Zunahme von knapp 11% festgestellt werden, während in den kleineren Gewichtsklassen eine Abnahme zu beobachten war.

Die *WIM-Auswertung* zeigte für den Nord-Süd-Verkehr im Sommer 2002 eine deutliche Zunahme bei der Anzahl und dem Anteil von Nutzfahrzeugen mit Betriebsgewichten über der alten Gewichtslimite von 28t gegenüber der Vergleichsperiode im Jahr 1999 (beispielsweise am Gotthard von 6.5% auf 19%). Eine Abschätzung der Weiterentwicklung dieses Trends veranlasste die Forschungsstelle, die für die Normung zu Grunde zu legenden Dauergeschwindigkeiten in Steigungen um 10% gegenüber den Ergebnissen von 2002 zu reduzieren.

Zur Verifizierung der empirischen Messergebnisse wurden *Simulationsberechnungen* durchgeführt. Simuliert wurden Verzögerungs- und Anfahrvorgänge von LW mit unterschiedlichen Nutzleistungen und Hinterachsübersetzungen in verschiedenen Längsneigungen. Anhand einer Gegenüberstellung von empirischen und simulierten Werten konnte ein neuer Bemessungslastwagen festgelegt und ein Normvorschlag für die Dauergeschwindigkeiten von Lastwagen ausgearbeitet werden. Zudem wurde ein Vorschlag für neue Geschwindigkeitsprofile von Lastwagen in Steigungen und Gefällen für die eingangs erwähnte Norm entwickelt (vgl. Abb.). Der neue Bemessungslastwagen beruht auf einer spezifischen Nutzleistung von 11.1 PS/t.

Geschwindigkeiten von langsamen Lastwagen in Längsneigungen für Beschleunigungs- und Verzögerungsvorgänge



In einem letzten Schritt wurden weitere Grundlagen zur Anpassung der bestehenden VSS-Norm „Zusatzstreifen in Steigungen und Gefällen“ erarbeitet. Bei den fahrdynamischen Kriterien zur Beurteilung der Notwendigkeit von Zusatzstreifen drängen sich Anpassungen bzgl. der Quotienten zwischen V_{PW} und V_{LW} auf. Bei den verkehrstechnischen Kriterien ergibt sich ebenfalls ein Anpassungsbedarf. Hier lehnt sich der Vorschlag für ein neues Modell an das deutsche Handbuch für die Bemessung von Strassen (HBS 2001) an und berücksichtigt verschiedene Steigungsklassen, Kurvigkeitsklassen und Verkehrsqualitätsstufen.

LES VITESSES DANS LES RAMPES ET LES PENTES (RÉSUMÉ)

Situation de départ

La dernière étude du comportement en matière de vitesse des voitures de tourisme et des poids lourds dans les rampes et dans les pentes en Suisse date d'il y a 20 ans. La limitation générale de vitesse était alors de 100 km/h sur les routes principales hors des localités. Aucun recensement détaillé n'a été mené depuis l'introduction de la limite générale de vitesse de 80 km/h. Or de nouveaux recensements pour les véhicules lents devenaient nécessaires et étaient notamment justifiés par l'autorisation prévue pour les véhicules d'un poids total allant jusqu'à 40 tonnes. Les contingents de poids lourds ayant été autorisés depuis le 1er janvier 2001, conformément aux accords bilatéraux avec l'Union européenne, il s'agissait, au début de ce travail (1999) de mener également des recensements à l'état antérieur („avant“, lorsque le poids maximal était encore de 28 tonnes). Les effets de l'élévation de la limite de poids (en fait la diminution de la motorisation minimale légale des véhicules automobiles lourds) sur le comportement en matière de vitesse ont été contrôlés en été 2002 (état postérieur „après“) en faisant des mesures adéquates.

Objectif de la recherche

L'objectif du projet de recherche ci-joint était de déterminer les changements du rapport entre la déclivité et la vitesse des véhicules afin de permettre l'adaptation des normes qui y sont liées. Les vitesses dans les rampes et dans les pentes ont des effets directs ou indirects sur les normes de projet, en particulier sur la norme „voies additionnelles en rampe et en pente“ (SN 640 138a). Les résultats de cette étude se basent sur 40 recensements, avec une circulation réelle sur des routes à grand débit, sur des routes principales hors des localités ainsi que sur des simulations de calculs.

Résultats

On a constaté une homogénéisation des répartitions des vitesses en 1999 pour les *véhicules de tourisme* par rapport aux recensements antérieurs (1978). Les différences de vitesse entre les véhicules de tourisme rapides ($V_{85\%}$) et lents ($V_{15\%}$) sont – indépendamment des rapports de déclivité – de l'ordre de 20 km/h, alors qu'elles étaient supérieures d'environ 5 - 10 km/h en 1978. En outre, un léger rapport entre la déclivité et la vitesse a été observé sur les tronçons en rampe – contrairement aux tronçons en pente. L'homogénéisation constatée est avant tout liée à la réduction des vitesses des véhicules de tourisme rapides. En outre, il a été mis en évidence que les vitesses soutenues des véhicules de tourisme dans les rampes jusqu'à une déclivité d'environ 8%, étaient plus faibles qu'en 1978, jusqu'à 8 km/h. On a seulement dénoté une légère augmentation sur les rampes très longues. Ces changements s'expliquent par la baisse de la limite de vitesse sur les routes principales hors des localités.

Les recensements de 1999 ont montré que les vitesses des *poids lourds (PL)* diminuaient quand la déclivité augmentait. Il y a donc une relation nette entre la vitesse et la déclivité. Les répartitions des vitesses des poids lourds étaient un peu moins homogènes que celle des véhicules de tourisme. Les différences de vitesse entre les véhicules de tourisme chargés rapides ($V_{85\%}$) et lents ($V_{15\%}$) se sont également nettement réduites entre 1999 et 1983. Les comportements en matière de vitesse ont ainsi été homogénéisés. Les recensements de 2002 montraient une légère augmentation des différences de vitesse dans les rampes par rapport à 1999, on a pu observer qu'elles avaient encore diminué dans les pentes. S'agissant des $V_{15\%}$, vitesses soutenues représentatives pour les PL chargés, on a pu constater en 1999 et également en 2002 en partie une très grande augmentation par rapport à 1983. Les mesures des $V_{15\%}$ dans les rampes étaient en 2002 plus basses qu'en 1999, alors qu'on a observé une augmentation sur les tronçons en rampe. La diminution des vitesses soutenues 2002 des poids lourds dans les pentes n'a pas été aussi forte que ce que certains avaient craint avant que les PL ayant un poids total allant jusqu'à 40 tonnes soient admis.

Les vitesses soutenues des poids lourds circulant sans encombre étaient en 1999, dans les rampes (+13.7 km/h en moyenne) tout comme dans les pentes (entre +10 km/h, pour les déclivités faibles, et +16 km/h, pour les déclivités fortes) nettement supérieures à celles de 1983. Les recensements de 2002 ont mis en évidence une légère diminution des vitesses soutenues dans les rampes (-3.8 km/h en moyenne) par rapport

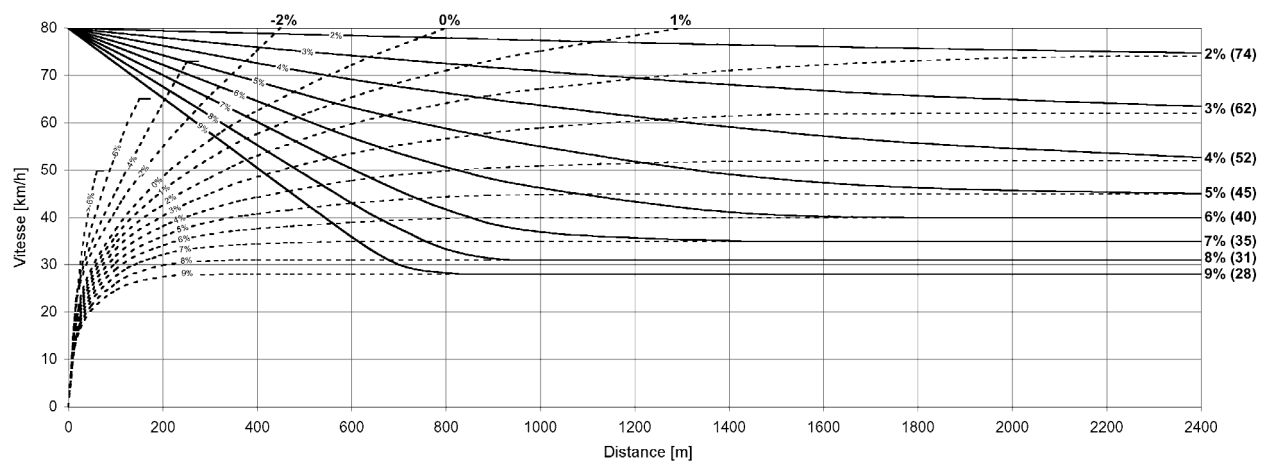
en 1999, alors qu'on a constaté une augmentation des vitesses soutenues dans les pentes (+4.8 km/h en moyenne). Les vitesses soutenues des poids lourds dans les rampes sont cependant actuellement (2002) supérieures d'environ 10 km/h à celles mesurées en 1983. La limite de vitesse pour les poids lourds n'ayant pas changé, l'augmentation des vitesses est due, d'une part, à des améliorations techniques dans le parc de poids lourds. Elle s'explique, d'autre part, par le fait que les entreprises de transport mettent à disposition, pour le transport transalpin de biens, de meilleurs véhicules automobiles dépassant ainsi nettement le minimum légal des puissances spécifiques de 5,0 kW/t. Cette supposition a été confirmée par l'évaluation du recensement dynamique des charges par essieu (WIM) au Gothard.

Les *évaluations statistiques* au sujet de la structure du parc suisse de poids lourds ont montré que depuis l'introduction de la redevance des poids lourds liée aux prestations (RPLP) le nombre des voitures de livraison (+5.4%) et surtout celui des véhicules lourds avec remorque a nettement augmenté (+11.6%). On a constaté pour les poids effectifs des véhicules routiers commerciaux autorisés en Suisse, après l'introduction de la RPLP, une augmentation de 11% du nombre de véhicules ayant un poids supérieur à 26 tonnes. À l'inverse, on a observé une diminution dans les catégories de poids plus légers.

L'*évaluation des mesures WIM* a mis en évidence, pour la circulation nord-sud durant l'été 2002, une nette augmentation du nombre et de la proportion des véhicules routiers commerciaux ayant un poids effectif supérieur à l'ancienne limitation de 28 tonnes, par rapport à la même période en 1999 (on passe, par exemple, de 6.5% à 19% au Gothard). Une estimation de l'évolution de cette tendance nous a amené à réduire, dans les rampes, de 10% les vitesses soutenues sur lesquelles se base la norme, par rapport aux résultats de 2002.

On a effectué des *calculs de simulation* pour vérifier les résultats empiriques des mesures. Les processus de décélération et d'accélération de PL ayant des puissances spécifiques différentes et les transmissions des essieux arrières dans des déclivités diverses ont été simulés. Un nouveau poids lourd de dimensionnement et une recommandation normative pour les vitesses soutenues des poids lourds ont pu être élaborés en comparant les valeurs empiriques et simulées. En outre, une proposition de nouveau profil de vitesse pour les poids lourds dans les rampes et les pentes pour la norme mentionnée au début, a été développé (cf. diagramme). Le nouveau poids lourd de dimensionnement se base sur une puissance spécifique de 11.1 ch/t.

Vitesses de véhicules lents en déclivité



Enfin, d'autres bases pour adapter la norme VSS en vigueur „voies additionnelles dans les rampes et les pentes“ ont été élaborées. Pour les critères relevant de la dynamique de conduite, il faut adapter les quotients entre V_{VT} et V_{PL} afin de pouvoir évaluer s'il faut des voies additionnelles. Les critères relevant de la technique du circulation doivent également être adaptés. La proposition pour un nouveau modèle s'inspire du manuel allemand pour le dimensionnement des routes (HBS 2001) et tient compte des différentes classes de déclivités, classes de sinuosité et des niveaux de qualité du trafic.

SPEED ON UPGRADES AND DOWNGRADES (ABSTRACT)

Background

It has been more than 20 years since the speed behavior of passenger cars and heavy vehicles on upgrades and downgrades was last investigated in Switzerland. At that time rural highways were subject to a general speed limit of 100 km/h. No comprehensive surveys were undertaken after the introduction of the general speed limit of 80 km/h. In the case of heavy vehicles, new surveys were also necessary in view of the plan to allow vehicles of up to 40 metric tons in weight. The heavy vehicle quotas agreed in the bilateral negotiations with the European Union came into effect on 1 January 2001, therefore one of the aims at the start of this study (1999) was to undertake surveys in the „before“ situation (weight limit of 28 tons). The effects of the increased weight limits (or of the thus reduced statutory minimal power to mass ratio for heavy motor vehicles) on speed behavior were investigated through corresponding measurements in the summer of 2002, which represent the „after“ situation.

Research aim

The aim of this research project was to determine the changes in the relationship between vertical alignments and vehicle speed and thus to enable any desirable modifications to the relevant design standards to be made. The speed on upgrades and downgrades relates, directly or indirectly, to several geometric design standards and in particular to the standard for „auxiliary lanes on upgrades and downgrades“ (SN 640 138a). The results of this study are based upon approximately 40 surveys in traffic flow on freeways and main rural highways, and upon complimentary simulation calculations.

Results

In the case of *passenger cars (PCs)*, increased homogeneity was evident in the speed distribution of 1999 compared to earlier surveys of 1978. The speed difference between the fast ($V_{85\%}$) and slow ($V_{15\%}$) PCs is about 20 km/h, irrespective of vertical alignment. In 1978 it was approximately 5 to 10 km/h greater. Moreover, on upgrade stretches, in contrast to downgrade stretches, a slight dependence between vertical alignment and speed was apparent. The increased homogeneity referred to above is due to a reduction in the speed of fast PCs above all. It was also established that the sustained speed of passenger cars on upgrades of up to 8 % is below that of 1978 – by as much as 8 km/h on low upgrades. Only in the case of very considerable upgrades was a slight increase in speed recorded. These changes may be explained by the lower speed limits on rural highways.

In the case of *heavy vehicles (HVs)*, the surveys of 1999 reflected a clear tendency towards a lower speed as vertical alignment increases, and thus a clear correlation between those two parameters. The speed distribution for HVs turned out to be slightly less homogenous than that for PCs. Nevertheless, the speed difference between the fast ($V_{85\%}$) and slow, loaded ($V_{15\%}$) HVs has also declined markedly between 1983 and 1999, resulting in more homogenous speed behavior. The surveys of 2002 showed a slight increase in speed difference on upgrades compared to 1999, while a further reduction was observable on downgrades. In the case of the $V_{15\%}$, which is representative of the crawl speed of loaded HVs, some very large increases were recorded in both 1999 and 2002 compared to 1983. The measurements of the $V_{15\%}$ on upgrades were slightly lower in 2002 than in 1999, while on downgrades a further increase was recorded. The decrease in crawl speed of heavy vehicles on upgrades in 2002 was not, however, as great as had been feared in various quarters in advance of the authorization of HVs of up to 40 tons gross laden weight.

The crawl speed of unhindered heavy vehicles was markedly higher in 1999 than in 1983 both on upgrades (on average +13.7 km/h) and on downgrades (between +10 km/h on low downgrades and +16 km/h on steep ones). The surveys of 2002 revealed a slight reduction in crawl speed (-3.8 km/h on average) on upgrades compared to 1999, whilst a further increase of the crawl speed (+4.8 km/h on average) was recorded on downgrades. Nevertheless, the crawl speed of heavy vehicles on upgrades is today (2002) about 10 km/h higher than the results from 1983. Since the speed limit applicable to HVs has not changed, the increased speed is due partly to technical improvements in the heavy vehicle fleet and partly to the fact that haulage

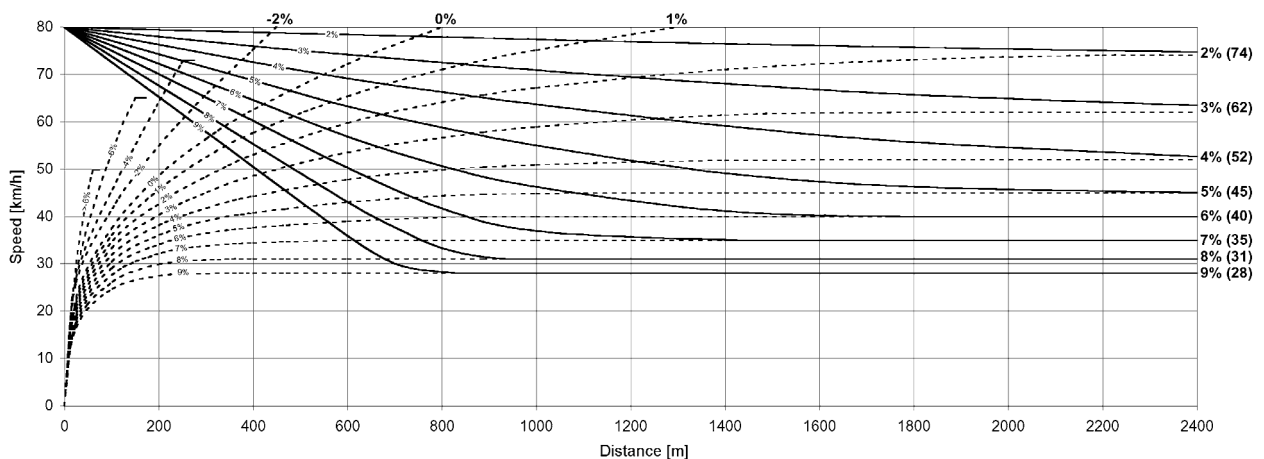
firms supply vehicles with superior engines for transalpine freight traffic. This means that they greatly exceed the statutory minimal power to mass ratio of 5.0 kW/t. This hypothesis was confirmed by analysis of the Weigh-in-Motion (WIM) measurements on the Gotthard route.

The *statistical analyses* concerning the heavy vehicle fleet in Switzerland have shown that since the introduction of the distance-based heavy vehicle fee (LSVA) there have been marked increases in the numbers of light delivery trucks (+5.4%) and particularly of heavy vehicles with trailers (+11.6%). With regard to operating weights (total weight of the vehicle and its load during the journey), an increase of nearly 11% in HVs of over 26 tons was recorded following the introduction of the LSVA, but decreases were evident in the lower weight categories.

The *WIM analysis* for north-south traffic in the summer of 2002 revealed a marked increase in the number and percentage share of commercial vehicles with operating weights above the old weight limit of 28 tons, compared to the corresponding period in 1999 (at the Gotthard, for example, the increase was from 6.5% to 19%). An estimate of the continuing development of this trend caused the research body to reduce the crawl speed on upgrades on which the design standard is based by 10% compared to the 2002 results.

In order to verify the empirical measurement results, *simulation calculations* were undertaken. Deceleration processes and start-up accelerations for HVs with various power to mass ratios and rear-axle ratios on various grades were simulated. By comparing the empirical and simulated values it was possible to define a new typical heavy vehicle and draw up a recommendation for the design standard for heavy vehicle crawl speed. In addition, a recommendation was framed for new speed profiles for heavy vehicles on upgrades and downgrades in the design standard mentioned at the start of this abstract (cf. figure, below). The new typical heavy vehicle is based on a specific power to mass ratio of 11.1 hp/t.

Acceleration and deceleration curves of a typical heavy vehicle on different grades



The final stage of the study involved preparing further foundations for modifying the existing Swiss standards for „auxiliary lanes on upgrades and downgrades“. With regard to the driving-dynamics criteria for assessing the need for auxiliary lanes, adjustments of the ratios between V_{PC} and V_{HV} are certainly necessary. With regard to the traffic engineering criteria there is also an evident need to make adjustments. The recommendation for a new model is based on the German manual for highway measurements (HBS 2001) and takes various grading categories, degrees of curvature and levels of service into account.

1. EINLEITUNG

1.1. Ausgangslage

Die Geschwindigkeiten sind eine wesentliche Grundlage für den Entwurf von Strassen, die nach fahrdynamischen Grundsätzen trassiert werden. Das Geschwindigkeitsmodell in den bestehenden VSS-Normen basiert einerseits auf physikalischen Berechnungen, andererseits dienen die tatsächlich gefahrenen Geschwindigkeiten als Vergleichsgrössen für dieses Modell. Die Fahrgeschwindigkeiten werden vor allem durch die Strassengeometrie und durch die Tempolimiten beeinflusst.

Bezüglich Strassengeometrie interessiert neben dem Zusammenhang zwischen *Kurvenradius* und Geschwindigkeit auch der Einfluss der *Längsneigung* auf das Geschwindigkeitsverhalten. Diese Zusammenhänge sind in verschiedenen Projektierungsnormen berücksichtigt. Der Einfluss der Längsneigung ist direkt in den VSS-Normen SN 640 080b „Geschwindigkeit als Projektierungselement“ [1], SN 640 110 „Elemente der vertikalen Linienführung“ [2] und SN 640 138a „Zusatzstreifen in Steigungen und Gefällen“ [3] enthalten.

Zur Ermittlung der erwähnten Zusammenhänge wurden in der Vergangenheit zwei Forschungsarbeiten (FA 03/77 und FA 21/80) durchgeführt. In FA 03/77 [4] wurde das Geschwindigkeitsverhalten in Steigungen und Gefällen von Personenwagen, in FA 21/80 [5] jenes der Lastwagen untersucht. Die Erhebungen in den beiden Forschungsarbeiten wurden in den Jahren 1978 und 1983 durchgeführt. In dieser Zeit galt auf Strassen ausserorts die generelle Höchstgeschwindigkeit 100 km/h für Personenwagen (80 km/h für Lastwagen bzw. 60 km/h für Lastenzüge und Sattelschlepper). Seit der Einführung der generellen Tempolimite 80 km/h wurden in der Schweiz keine umfassenden Erhebungen in Steigungen und Gefällen durchgeführt.

Bei den Lastwagen war die Notwendigkeit von neuen Erhebungen auch im Zusammenhang mit der vorgesehenen Zulassung der Fahrzeuge mit 40 Tonnen Gesamtgewicht auf schweizerischen Strassen zusätzlich begründet. Da die bei den bilateralen Verhandlungen mit der europäischen Union vereinbarten Lastwagenkontingente seit dem 1. Januar 2001 zugelassen sind, ging es zu Beginn dieser Arbeit (1999) auch darum, Erhebungen im Zustand „Vorher“ (Gewichtslimite 28 Tonnen) durchzuführen. Die Einflüsse der erhöhten Gewichtslimite (bzw. der damit reduzierten, gesetzlich vorgeschriebenen Mindestmotorisierung der schweren Motorfahrzeuge) auf das Geschwindigkeitsverhalten wurden im Sommer 2002 (Zustand „Nachher“) durch entsprechende Messungen überprüft.

1.2. Auftrag

Aufgrund dieser Ausgangslage wurde das Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme (IVT) an der ETH Zürich beauftragt, mittels Erhebungen im Verkehrsablauf auf Strassen ausserorts die Zusammenhänge zwischen der Grösse der Längsneigung und dem Geschwindigkeitsverhalten von Personen- und Lastwagen zu ermitteln und die Veränderungen gegenüber früheren Erhebungen festzustellen. Basierend auf den Ergebnissen sind Empfehlungen für Normanpassungen und – falls es sich als notwendig erweist – bereits konkrete Vorschläge auszuarbeiten. Die eigentliche Erarbeitung der ersten Normentwürfe ist nicht Gegenstand dieses Forschungsvorhabens.

Unter Berücksichtigung des in 1.1. angesprochenen Aspekts der neuen Gewichtslimite für Lastwagen wurde der Auftrag insofern erweitert, als dies bei der Auswahl der Messstrecken berücksichtigt und die Reproduzierbarkeit der Erhebungen gewährleistet werden sollte.

1.3. Forschungsziele

Eines der Hauptziele der Normung besteht darin, neue Erkenntnisse laufend in das Normenwerk einfließen zu lassen. Solche Erkenntnisse betreffen auch die Veränderungen des Zusammenhangs zwischen Längsneigung und Geschwindigkeiten von Fahrzeugen. Die Aufgabe des vorliegenden Forschungsvorhabens besteht grundsätzlich darin, diese *Veränderungen zu ermitteln* und dadurch allfällige Anpassungen der betreffenden Normen zu ermöglichen. Die Geschwindigkeiten in Steigungen und Gefällen betreffen direkt oder indirekt mehrere Projektierungsnormen. Im Vordergrund stehen dabei die SN 640 080b, SN 640 110 und SN 640 138a.

- **Geschwindigkeit als Projektierungselement (SN 640 080b), [1]**

Diese Norm dient zum Entwurf und zur Kontrolle der Trassierung. Sie basiert auf einem vereinfachenden Geschwindigkeitsmodell. In diesem Modell wird angenommen, dass der Einfluss der Längsneigung auf die Projektierungsgeschwindigkeit V_p für Neigungen unter 7% vernachlässigbar sei. Diese Annahme bezieht sich implizit auf Personenwagen. Das Geschwindigkeitsmodell entstand zu Beginn der 1980er Jahre und basiert auf Forschungsarbeiten [4] aus der Zeit mit Tempolimiten ausserorts von 100 km/h. Abzuklären ist somit, ob die erwähnte *Modellannahme auch unter den Bedingungen der Tempolimiten 80 km/h zutrifft*.

Zudem wurde in der Forschungsarbeit „Geschwindigkeiten in Kurven“ [6] empfohlen, die Zweckmässigkeit des Geschwindigkeitsmodells als Mittel zur Projektierung der Linienführung grundsätzlich zu überprüfen. Das entsprechende Forschungsvorhaben (VSS 1999/272) ist auch im VSS-Mehrjahresprogramm enthalten. Wie in [6] empfohlen, müssen für das geplante Forschungsvorhaben auch *neue Erkenntnisse über das Geschwindigkeitsverhalten in Steigungen und Gefällen* herangezogen werden.

- **Elemente der vertikalen Linienführung (SN 640 110), [2]**

In dieser aus dem Jahr 1983 stammenden Norm werden unter anderem Richtwerte der maximalen Längsneigung sowie der Ausrundungsradien angegeben. Die geschwindigkeitsbedingte Überprüfung bezieht sich hier auf die *Ausrundungsradien in Kuppen und Wannen*. Die in [2] empfohlenen Richtwerte sollten nicht unterschritten werden. Sie sind in Funktion der Projektierungsgeschwindigkeit V_p angegeben und auf die Einhaltung der Anhaltesichtweiten S_A ausgelegt.

Da die Anhaltesichtweiten in der inzwischen revidierten Norm SN 640 090a bei den *Hochleistungsstrassen* reduziert wurden, ist eine *Anpassung der Richtwerte für Ausrundungsradien* für diese Strassenkategorie angezeigt. Für eine grundsätzliche Überprüfung der Richtwerte spricht auch die Tatsache, dass in den neuen ausländischen Richtlinien kleinere Ausrundungsradien empfohlen werden. Ein direkter Zusammenhang mit dem vorliegenden Forschungsauftrag ist jedoch bei diesem Aspekt *nicht gegeben*.

- **Zusatzstreifen in Steigungen (SN 640 138a), [3]**

Die Empfehlungen in dieser Norm basieren direkt auf den erhobenen Geschwindigkeitscharakteristiken der Lastwagen. Dabei werden in [5] die schweren, beladenen (und somit langsameren) Lastwagen durch die 15%ige Geschwindigkeit der ungehindert fahrenden Fahrzeuge angenähert. Das Verfahren zur Beurteilung der Notwendigkeit von Zusatzstreifen berücksichtigt zudem das *Verhältnis der Geschwindigkeit von Lastwagen und der Projektierungsgeschwindigkeit von Personenwagen*. Bei den *Erhebungen der Geschwindigkeiten* in diesem Forschungsauftrag muss deshalb *zwischen diesen zwei Fahrzeugkategorien unterschieden* werden.

Im Vergleich zu den Erhebungen in [5] zu Beginn der 1980er Jahre haben sich die gesetzlichen Bestimmungen hinsichtlich der Höchstgeschwindigkeit für einzelne Fahrzeugarten (VRV Art. 5) bis zum Zeitpunkt der „Vorher“ Messungen im Jahr 1999 nicht geändert¹. Theoretisch könnte also angenommen werden, dass hinsichtlich der Geschwindigkeiten von Lastwagen keine wesentlichen Unterschiede zwischen den Zuständen vor und nach der Einführung der aktuellen Tempolimiten vorhanden sind. Da jedoch die letzten Erhebungen mehr als 15 Jahre zurückliegen, könnten *Veränderungen entstanden* sein, z.B. in bezug auf die Beladungszustände, den Anteil von Leerfahrten und die Motorleistung von Lastwagen.

In dieser Norm sind auch Empfehlungen zur Anlage von Zusatzstreifen an Hochleistungsstrassen enthalten. Auf diesen Strassen wurde die generelle zulässige Höchstgeschwindigkeit nur um 10 km/h herabgesetzt, und die gesetzlichen Bestimmungen hinsichtlich der Höchstgeschwindigkeit für die massgebende Lastwagenkategorie sind unverändert geblieben. Da jedoch in [5] *keine Erhebungen auf Hochleistungsstrassen mit baulicher Richtungstrennung (Autobahnen)* durchgeführt wurden, drängt sich auch hier eine *Überprüfung der Normempfehlungen* auf. Aus diesem Grund sind auch Messstrecken auf den Autobahnen einzubeziehen.

Hinsichtlich der Angabe von Normempfehlungen stellte sich im Verlauf dieser Arbeit die Frage, auf welchen Zustand abgestellt werden soll. Beim ursprünglich geplanten Abschluss der vorliegenden Forschungsarbeit im Sommer 2001 verkehrten die Fahrzeuge aus den bewilligten Kontingenten² bereits auf dem schweizerischen Strassennetz; allfällige Veränderungen im Geschwindigkeitsverhalten wären jedoch auf Basis der Erhebungen von 1999 nicht bekannt gewesen. Das Ableiten von Normempfehlungen aus Erhebungen, die

¹ Per 1. Januar 2001 wurde die zulässige Höchstgeschwindigkeit für Lastzüge und Sattelschlepper auf Strassen ausserorts von 60 km/h auf 80 km/h heraufgesetzt.

² Die Anzahl der vereinbarten Bewilligungen stieg zwischen 2001 und 2003 von 300'000 auf 400'000 Lastwagen. Rund 50% der Bewilligungen entfallen auf ausländische Fahrzeuge, welche vorwiegend aus Deutschland und Italien stammen.

im Zustand mit der bis Ende 2000 geltenden Gewichtslimite von 28t durchgeführt wurden, wäre kaum sinnvoll gewesen. Andererseits ist bereits ab dem Jahr 2005 vorgesehen, die vollen Tarife der leistungsabhängigen Schwerverkehrsabgabe (LSVA) einzuführen und den Schwerverkehr weitgehend auf die Bahn zu verlagern. Theoretisch könnten dann die Ergebnisse der im Jahr 1999 durchgeführten Messungen den künftigen Zustand zutreffend beschreiben.

Mit diesen Überlegungen wird eine zweite Gruppe von Forschungszielen angesprochen, die im Zusammenhang mit den *Veränderungen der Gewichtsbegrenzungen* steht. Damit nach der Zulassung von Lastwagen mit einer höheren Gewichtslimite neue Geschwindigkeitserhebungen durchgeführt werden können, um die entsprechenden Veränderungen zu ermitteln, mussten im Rahmen der vorliegenden Untersuchung bereits zu Beginn folgende Aspekte beachtet werden:

- Die Auswirkungen der neuen Gewichtslimite werden sich vor allem im *Nord-Süd-Verkehr* manifestieren. Diesem Umstand war bei der Festlegung der Messstrecken Rechnung zu tragen.
- Die *mutmasslichen* Geschwindigkeitsveränderungen werden sich bei den „*schweren*“ Lastwagen mit einem Gesamtgewicht in der Nähe der neuen Gewichtslimite einstellen. Diese Lastwagengruppe sollte deshalb bei den Erhebungen *gesondert erfasst* werden. Da es sich bei dieser Lastwagengruppe um schwer beladene Lastwagen mit Anhänger (Lastenzüge) und Sattelschlepper handelt, ist eine Erfassung über die Fahrzeuglänge, allenfalls gekoppelt mit Videoaufzeichnung denkbar.
- Die Herabsetzung der generellen *Tempolimiten ausserorts* hat sich primär auf die Geschwindigkeiten der Personenwagen ausgewirkt. Die Beschränkung der Höchstgeschwindigkeit für Lastwagen auf 80 bzw. 60 km/h blieb bis Ende 2000 unverändert. Es ist jedoch anzunehmen, dass das Geschwindigkeitsverhalten der Lastwagen durch die infolge der niedrigeren Tempolimite langsamer fahrenden Personenwagen beeinflusst wird. Dieser Einfluss ist im Zusammenhang mit den Fragen der Verkehrssicherheit und Verkehrsqualität des gesamten Fahrzeugkollektivs von Bedeutung.

Aufgrund eines Antrags der Forschungsstelle an die VSS-Fachkommission 2, welchem an der Sitzung vom 7. Dezember 1999 zugestimmt wurde und der anschliessenden Genehmigung durch das Bundesamt für Strassen wurde das weitere Vorgehen in diesem Forschungsauftrag wie folgt festgelegt:

Im Jahr 2000 wurden die Auswertungen für den Zustand „Vorher“ abgeschlossen, die Veränderungen im Geschwindigkeitsverhalten und ihre Auswirkungen auf die Normung aufgezeigt. Zusätzlich wurden Vergleiche mit neueren ausländischen Forschungsergebnissen angestellt. Diese Arbeiten sind in einem Zwischenbericht dokumentiert [7]. Anschliessend wurden die Untersuchungsarbeiten für zwei Jahre sistiert.

Im Sommer 2002 wurden die Forschungsarbeiten wieder aufgenommen, nachdem die Nachhermessungen im Rahmen des ASTRA-Forschungsprogramms „Auswirkungen der 40T-Limite auf die Strassen“ [8] durchgeführt waren. Der vorliegende Schlussbericht beinhaltet neben den zusätzlichen Auswertungen der Erhebungen aus dem Jahr 2002 und den daraus resultierenden Vorher/Nachher-Vergleichen auch die Erarbeitung von Normungsgrundlagen.

1.4. Untersuchungsvorgehen

Das ursprünglich vorgesehene Untersuchungsvorgehen, wie es im Zwischenbericht [7] dargelegt ist, musste aufgrund der veränderten Rechtsgrundlage leicht angepasst werden (vgl. dazu auch Abbildung 1):

In einem ersten Schritt wurden aufgrund der Analyse der veränderten Rechtsgrundlagen und der Problematik bei der Anwendung der bestehenden Normen die *Forschungsziele* formuliert.

Im zweiten Schritt wurden die *Erhebungen des Geschwindigkeitsverhaltens* durchgeführt. Dazu wurden Kriterien für die Auswahl geeigneter Neigungsstrecken formuliert und Untersuchungsstrecken aus früheren Erhebungen in [5] berücksichtigt. Für die Geschwindigkeitsmessungen musste zudem eine geeignete Messanordnung entwickelt werden. Diese Arbeiten sind in Kapitel 2 beschrieben.

Anschliessend erfolgte die *Auswertung der Messdaten*. Dabei wurden für die einzelnen Strecken die Geschwindigkeitsverteilung in den Messquerschnitten, der Geschwindigkeitsverlauf in der Neigungsstrecke sowie die 15%-Geschwindigkeiten für die Gruppe der Lastwagen bzw. 85%-Geschwindigkeiten für die Gruppe der Personenwagen ermittelt (vgl. Kapitel 3).

Im nächsten Schritt wurden die *Zusammenhänge* zwischen Geschwindigkeit und Längsneigung geprüft (Kapitel 4). Im Vordergrund stand dabei die Funktionsabhängigkeit zwischen sogenannter Dauergeschwindigkeit und Längsneigung sowie die Abhängigkeit zwischen Geschwindigkeit und Länge der Neigungsstrecke. Für die einzelnen Untersuchungsergebnisse wurden jeweils Vergleiche mit den Ergebnissen früherer Erhebungen angestellt.

Basierend auf den Erkenntnissen aus den *statistischen Auswertungen* zum Lastwagenfuhrpark der Schweiz und der Analyse der WIM-Auswertungen (Kapitel 5) sowie den Ergebnissen der *Fahrsimulationen* und dem Vergleich mit den empirischen Messungen (Kapitel 6), wurde in Kapitel 7 für den *massgebenden Lastwagen* das *Geschwindigkeitsdiagramm* hergeleitet.

Im nächsten Arbeitsschritt wurden die *Auswirkungen* der Erkenntnisse aus den Untersuchungen in den Kapiteln 3, 4 und 7 untersucht. Sie beziehen sich auf die Veränderungen im Verkehrsablauf, Vergleiche mit ausländischen Untersuchungsergebnissen und auf bestehende VSS-Normen. Diese Untersuchungen sind in Kapitel 8 enthalten.

Im Vordergrund der Betrachtungen stand die bestehende Norm „Zusatzstreifen in Steigungen und Gefällen“ [3]. Für diese werden in Kapitel 9 entsprechende Anpassungsvorschläge entwickelt.

Kapitel 10 enthält eine Zusammenfassung der wichtigsten Erkenntnisse und Empfehlungen für die weiteren Forschungs- und Normungsarbeiten.

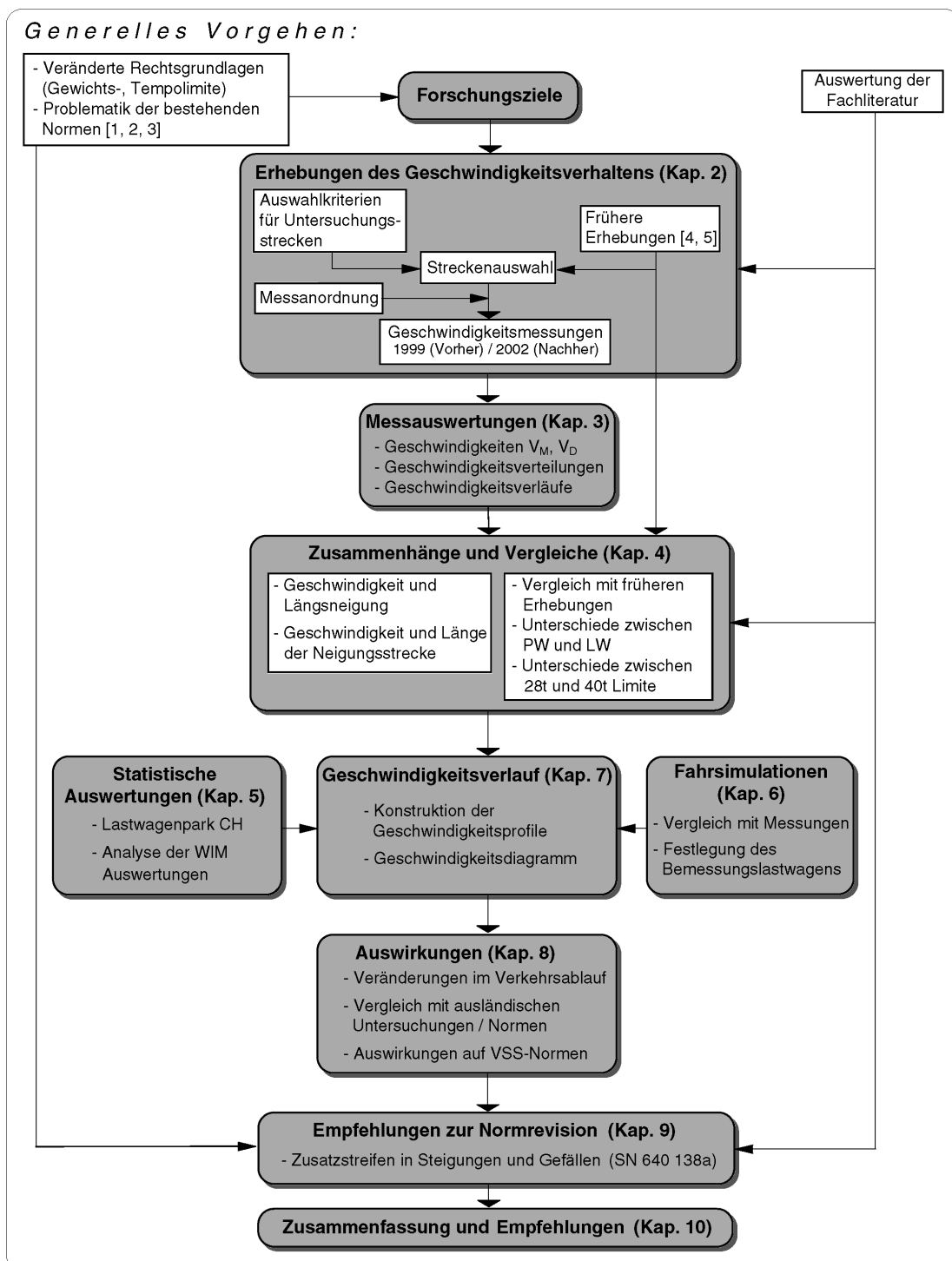


Abb. 1: Ablaufschema des Untersuchungsvorgehens

2. ERHEBUNGEN UND BERECHNUNGEN

2.1. Untersuchungsstrecken

Bei der Auswahl der Steigungs- und Gefällsstrecken wurde von den 11 im Jahr 1983 [5] verwendeten Strecken ausgegangen. Eine Überprüfung ergab, dass einige dieser Strecken für die vorliegende Untersuchung nicht mehr verwendet werden konnten. Bei diesen wurden in den letzten 20 Jahren entweder bauliche Veränderungen vorgenommen, oder sie wiesen ein zu geringes Verkehrsaufkommen mit einem zu geringen LW-Anteil auf. Die verbleibenden 8 Strecken (vgl. Tabelle 1) mussten somit durch neue ergänzt werden (Auswertung von Landeskarten 1:25'000).

Bei der Auswahl wurden folgende Kriterien berücksichtigt:

- möglichst konstante Längsneigung im Bereich von ca. 2 bis 10% mit Abweichungen auf der Strecke von max. $\pm 0.5\%$
- möglichst gestreckte Linienführung mit einer genügenden Länge des Messabschnitts
- nur Messstrecken ausserhalb des Einflussbereichs von Knoten und Kurven
- genügend langer Zufahrtsbereich in der Ebene, von dem angenommen werden kann, dass die Fahrzeuge mit der zulässigen Höchstgeschwindigkeit fahren (Ausnahmen bilden die Strecken, auf denen das Anfahren aus dem Stand erhoben wird)
- keine örtlich abweichende Höchstgeschwindigkeit
- Hauptverkehrsstrassen (HVS) ausserorts mit regionalem Verkehr und möglichst grossem LW-Anteil

Im Rahmen der Erhebungen von 1999 wurden zudem 3 Neigungsstrecken auf der Autobahn A2 (Nord-Süd Achse) ausgewählt, welche hinsichtlich der Angabe von Normempfehlungen zur Anlage von Zusatzstreifen an Hochleistungsstrassen von Interesse sind. Diese Messungen auf der A2 dienten auch als Grundlage für die zweite Gruppe der unter 1.3. aufgeführten Forschungsziele hinsichtlich der Veränderungen der Gewichtsbeschränkungen für Lastwagen (Zustand „Vorher“) [8].

Für die Erhebungen im Zustand „Nachher“ aus dem Jahr 2002 wurden drei weitere Messstrecken auf Hochleistungsstrassen mit einbezogen. Neben Messungen auf der Nordrampe des Gotthards (A2), wurden auch auf der Nord- und Südrampe des San Bernadino (A13) Erhebungen durchgeführt (vgl. Tab. 1). Die Erhebungen von 2002 beschränken sich auf Messstrecken auf HLS oder solche mit grösseren Längsneigungen.

| Nr. | Strecke | i_{massg} [%] | V_{zul} [km/h] | Länge | | Messungen für | | | | Bemerkungen |
|------|----------------------------------|---------------------------|----------------------------|----------|-------|---------------|---------|------|------|--|
| | | | | Messstr. | Total | Steigung | Gefälle | 1999 | 2002 | |
| * 1 | Baar – Sihlbrugg | 2.5 | 80 | 1'460 | 1'680 | x | x | x | | V_d bei i klein (nach Dorfausgang T50), V_d |
| 2 | Tenniken – Diegten (A2) | 2.7 | 120 | 1'910 | 2'450 | x | | x | x | HLS, nur LW, Zulaufstrecke mit i klein |
| 3 | Bremgarten – Wohlen | 3.5 | 80 | 680 | 1'200 | x | | x | | V_d bei i klein |
| 4 | Diegten – Belchen Nord (A2) | 3.7 | 120 | 1'080 | 1'470 | x | x | x | x | HLS, nur LW, Tunnel Oberburg (ASB Nr.31) |
| * 5 | Egg – Scheuren (Forchstrasse) | 4.0 | 100 | 2'380 | 2'685 | x | x | x | | 2+2 AS, nur LW, V_d bei i klein, V_d |
| * 6 | Lottstetten – Rafz | 4.5 | 80 | 280 | 480 | x | | x | x | Anfahrten ab Zoll, ohne V_d |
| * 7 | Ottenbach – Zwillikon | 4.9 | 80 | 860 | 1'075 | x | x | x | | V_d bei i gross (nach Dorfausgang T50), V_d |
| 8 | Amsteg – Wassen (A2) | 4.9 | 80 | 2'625 | 2'750 | x | | | x | HLS, nur LW, Zulaufstrecke mit i klein |
| 9 | Wassen – Göschenen (A2) | 5.0 | 80 | 1'775 | 2'125 | x | | | x | HLS, nur LW, Zulaufstrecke mit $i = 3.9\%$ |
| 10 | Egerkingen – Belchen Süd (A2) | 5.0 | 120 | 1'200 | 2'680 | x | x | x | x | HLS (mit Zusatzstr.), nur LW, Zulaufstr. i klein |
| 11 | Trimmbach – Hauenstein | 5.2 | 80 | 800 | 950 | x | x | x | | V_d bei i gross (nach Wendepatte), V_d |
| 12 | Pfäffikon – Schindellegi (oben) | 6.0 | 80 | 960 | 1'300 | x | x | x | | V_d bei i klein, V_d |
| 13 | Andeer – Sufers (A13) | 6.0 | 100 | 3'140 | 3'140 | x | x | | x | HLS, nur LW, Zulaufstrecke mit i klein |
| 14 | Mesocco – San Bernadino (A13) | 6.0 | 100 | 1'980 | 1'980 | x | x | | x | HLS, nur LW, nur 1 Messquerschnitt |
| * 15 | Regensdorf – Zürich | 6.1 | 80 | 985 | 1'100 | x | | x | | Anfahrten ab LSA, Zusatzstr. aufwärts, V_d |
| 15a | Regensdorf – Zürich | 6.5 | 80 | 985 | 1'100 | x | | x | | Anfahrten ab LSA, Zusatzstr. aufwärts, V_d |
| * 16 | Birmensdorf – Filderen | 6.6 | 80 | 770 | 820 | x | | x | | nach Dorfausgang mit T50/60 |
| 17 | Pfäffikon – Schindellegi (unten) | 7.1 | 80 | 1'000 | 1'400 | x | x | x | | Anfahrten nach Knoten/Kurve, V_d |
| * 18 | Umiken – Unterbözberg | 7.8 | 80 | 465 | 600 | x | x | x | | Zusatzstreifen abwärts, V_d |
| * 19 | Densbüren – Staffelegg | 9.5 | 80 | 380 | 550 | x | x | x | x | V_d bei i klein, V_d |

* Strecken, auf welchen 1983 [5] Messungen durchgeführt wurden

Tab. 1: Ausgewählte Untersuchungsstrecken

2.2. Messeinrichtung

Die zur Erhebung des Geschwindigkeitsverhaltens eingesetzte Messeinrichtung besteht aus 12 unabhängigen Messeinheiten, die in gewöhnlichen Strassenleitpfosten eingebaut sind, sowie einem Steuergerät, mit dem die Messpfosten bedient werden. Die erfassten Daten werden je Messeinheit auf Speicherkarten abgelegt, die dann zur Auswertung im PC eingelesen werden können. Die als Gehäuse der Messeinrichtung verwendeten Leitpfosten dienen zur Tarnung (Abbildung 2). Damit kann gewährleistet werden, dass das Verhalten der Fahrzeuginsassen nicht durch die Anlage der Messung beeinflusst wird.

Die einzelnen Messpfosten erfassen folgende Größen:

- Durchfahrtszeiten der Fahrzeuge (in ms)
- Fahrtrichtung der Fahrzeuge (Hin- / Gegenverkehr)
- Fahrzeuglängen (in cm)
- Querabstände der durchfahrenden Fahrzeuge zum Messpfosten (in cm)

Die Ermittlung der Fahrzeuggeschwindigkeiten erfolgt bei der Auswertung der gemessenen Durchfahrtszeiten zwischen den einzelnen Messpfosten, die über einen Zeitgeber synchronisiert werden.

Die Übermittlung der Befehle an die Messpfosten erfolgt mit einem speziellen Steuergerät, das über die serielle Schnittstelle die entsprechenden Steuerbefehle sendet. Ausserdem sorgt es beim Start einer Messung für die zeitliche Synchronisation der Messpfosten untereinander. Das batteriebetriebene Steuergerät ist mit einer zweizeiligen, beleuchtbaren LCD-Anzeige ausgerüstet, auf dem der Benutzer sämtliche Informationen über den Zustand des Geräts und auch des jeweils angeschlossenen Messpfostens ablesen kann.

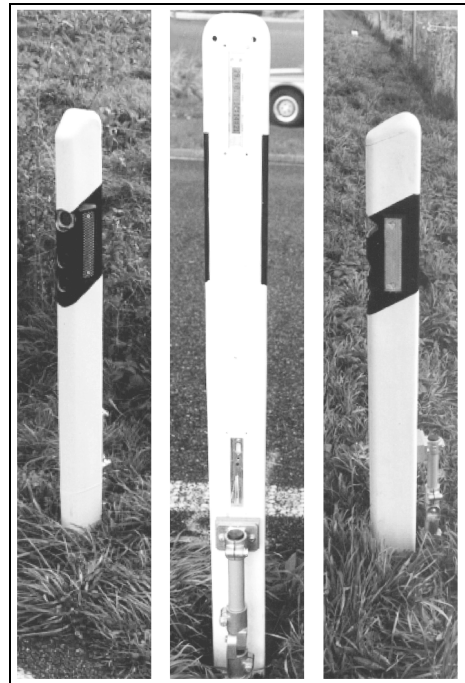


Abb. 2: Verschiedene Ansichten des Messpfostens

Zur Fahrzeugdetektion dienen zwei Paare von Infrarot (IR)-Sendern und -Empfängern, welche ununterbrochen die Fahrbahn überwachen, sowie ein Ultraschall-Distanzmesser, der auf dem Echolot-Prinzip basiert. Der Ultraschallsensor dient zur Distanzmessung der Querabstände vorbeifahrender Fahrzeuge³.

Die Messgenauigkeit ist bei den Geschwindigkeiten vergleichbar mit jener der Induktionsschleifen. Entsprechende Untersuchungen wurden hierzu in [9] und [10] durchgeführt.

2.3. Fahrzeugarten

Bei der Auswertung der Messungen im Verkehrsablauf muss zwischen verschiedenen Fahrzeugkategorien unterschieden werden. Im Hinblick auf das fahrdynamische Verhalten in Steigungen und Gefällen steht dabei die Unterscheidung von, im Vergleich zu den Personenwagen untermotorisierten, „langsameren“ Fahrzeugen im Vordergrund. Zu solchen gehören neben Lastwagen und Bussen auch Personenwagen mit Anhänger. Fahrzeuge für den Gütertransport bis 3,5 t Gesamtgewicht (Lieferwagen) zählen nicht dazu.

In dieser Forschungsarbeit wird zwischen zwei Fahrzeuggruppen unterschieden. Die Gruppe der Lastwagen (LW) umfasst alle Fahrzeuge mit einer Länge von mehr als 6,5 m. Zu dieser Gruppe gehören sämtliche schweren Lastwagen sowie Personen- und Lieferwagen mit Anhänger. Zur Gruppe der Personenwagen (PW, Fahrzeuglänge unter 6,5 m) werden sämtliche Personenwagen sowie alle Fahrzeuge für den Gütertransport mit einem Gesamtgewicht unter 3,5 t zugeordnet.

Die unter 2.2. beschriebene Messvorrichtung und das EDV-Programmsystem ermöglichen die Zuordnung der Fahrzeuge in die beiden Fahrzeuggruppen anhand der gemessenen Längen, welche jedoch anlagebedingt nicht immer exakt erhoben werden können. Für die Überprüfung der korrekten Zuordnung der Fahrzeuge in die beiden Gruppen wurde bei ausgewählten Messungen der Verkehrsablauf zusätzlich per Video aufgezeichnet (vgl. 2.5.).

³ Eine ausführliche Beschreibung der Messanlage ist in [10] enthalten.

2.4. Messanordnung und -durchführung

Die Anordnung der Messpfosten entlang der Neigungsstrecken richtete sich nach der jeweiligen Länge der Untersuchungsstrecke. Pro Messquerschnitt wurden jeweils zwei Messpfosten benötigt, welche 10 m vor bzw. nach dem eigentlichen Querschnitt aufgestellt wurden⁴. In Steigungsstrecken wurden zwischen 3 bis 6 Messquerschnitte⁵, in Gefällsrichtung zwischen 1 bis 4 Messquerschnitte angeordnet, wobei in der Regel der erste Messquerschnitt die Zufahrtsgeschwindigkeit vor der Neigungsstrecke erfasste. Die restlichen Messquerschnitte wurden entlang der Untersuchungsstrecke so verteilt, dass zu Beginn der Neigung (nach Ende der Ausrundung), wo mit einer ausgeprägten Geschwindigkeitsänderung gerechnet werden kann, eine dichtere Anordnung erfolgte, als gegen Ende der Neigungsstrecke, wenn sich bereits eine entsprechende Dauergeschwindigkeit eingestellt hat. Die prinzipielle Anordnung der Messpfosten (als Beispiel eine Messung in Steigungsrichtung) ist in Abbildung 3 dargestellt. Die Lage der einzelnen Messquerschnitte auf den Untersuchungsstrecken ist in Anhang 1 (Beilagen 1.1 – 1.39) ersichtlich.

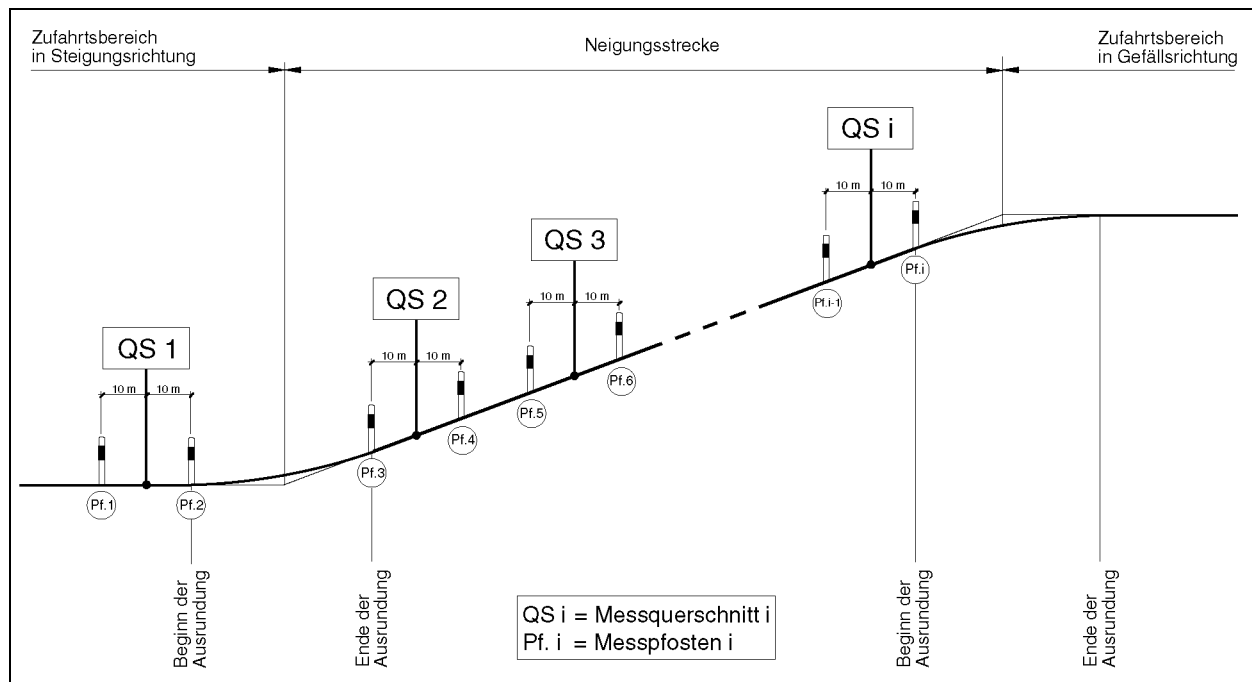


Abb. 3: Prinzip der Messanordnung für Geschwindigkeitsmessungen in Steigungsrichtung

Für die Durchführung der Messung mussten im Feld zunächst die Messquerschnitte aufgrund von Planunterlagen und der vor Ort vorhandenen Fixpunkte abgesteckt und dauerhaft mit Bolzen und Farbe markiert werden. Anschliessend wurde, vom jeweiligen Messquerschnitt ausgehend, die Lage der beiden Messpfosten (10 m vor bzw. nach dem Messquerschnitt) genau festgelegt und ebenfalls markiert. Die Absteckungsarbeiten wurden in der Regel vorgängig durchgeführt.

Die Messungen für den Zustand „Vorher“ wurden in der Zeit von April bis September 1999, diejenigen für den Zustand „Nachher“ zwischen Juli und Oktober 2002 durchgeführt. Die Erhebungen fanden jeweils bei Tag, trockener Fahrbahn und ausserhalb der Morgen- und Abendspitze statt. Nach dem Aufstellen der Messeinrichtung wurden die einzelnen Messpfosten mit dem Steuergerät aufgestartet, auf ihre Funktionsfähigkeit überprüft und anschliessend per Zeituhr auf einen vorgängig festgelegten Messbeginn programmiert. Die entlang der Messstrecke vorhandenen Leitpfosten wurden für die Messdauer so entfernt, dass keine auffällige Massierung der Leiteinrichtungen auftrat.

Bei allen Autobahnmessungen sowie einzelnen Untersuchungsstrecken auf HVS a.o. wurde während der Messung das Verkehrsgeschehen im Zufahrtbereich mit einer Videokamera erfasst (beispielhaft dargestellt in Abbildung 4). Diese Aufnahmen dienen einerseits zur Überprüfung der Messungen, anhand derer sich Fehler in der Unterscheidung von Lastwagen und Lieferwagen durch die Messpfosten (Fahrzeugtypisierung

⁴ Vereinzelt wurden pro Messquerschnitt 3 Messpfosten verwendet (bei -10m, 0m, +10m), um die Zuverlässigkeit der Messung zu erhöhen.

⁵ Eine Ausnahme bildet die Messung auf der Südrampe des San Bernadino (Messstrecke Nr. 14) mit nur einem Messquerschnitt.

anhand der erfassten Länge) ausschliessen lassen konnten, andererseits wurden die Videoaufnahmen der Autobahnmessungen für die Charakterisierung der Lastwagen (Herkunft, Typ, Silhouette, Bereifungsart) in [8] verwendet.

Die Messdaten der Speicherkarten der einzelnen Messpfosten wurden nach der Rückkehr im Büro mittels Computer ausgelesen. Anschliessend standen die Speicherkarten für einen weiteren Messeinsatz wieder zur Verfügung. Nach jedem Messeinsatz mussten auch die Akkus der einzelnen Messpfosten aufgeladen werden.

Insgesamt wurden mehrere tausend Fahrzeuge erfasst. Auf Autobahnen und Autostrassen betrug die Menge der pro Querschnitt erfassten Fahrzeuge zwischen ca. 1'000 und 3'000, auf den übrigen Strassen zwischen ca. 400 und 2'000 Fahrzeuge. Von dieser Gesamtmenge konnten pro Messung als *ungehindert* fahrende Lastwagen (vgl. in 3.1.) ca. 120 bis 300 Fahrzeuge auf HLS und ca. 40 bis 160 Fahrzeuge auf den übrigen Strassen ausgewertet werden. Für die Gruppe der Personewagen konnten pro Messung zwischen 150 bis 600 Fahrzeuge als *freifahrend* ausgewertet werden.



Abb. 4: Messpfosten und Videokamera im Einsatz

2.5. Durchgeführte Auswertungen

Das für die Messpfosten entwickelte EDV-Programmsystem erlaubt eine Vielzahl von Auswertungen. Neben statistischen Berechnungen können auch Geschwindigkeitsverläufe entlang der Messpfosten berechnet werden. Dies bedingt jedoch eine gleichmässige Verteilung der Messpfosten entlang der Messstrecke in Abständen von maximal 80 bis 100 m. Bei grösseren Abständen ist die Fahrzeugzuordnung nicht mehr gewährleistet.

Bei den vorliegenden Untersuchungstrecken lagen die Querschnitte in der Regel mehr als die „verträglichen“ 80 bis 100 m voneinander entfernt, so dass eine Verfolgung der Fahrzeuge über die gesamte Messstrecke und damit die Berechnung des Geschwindigkeitsverlaufs mit diesem Programm nicht opportun war. Aus diesem Grund musste jeder Messquerschnitt bestehend aus mindestens zwei Messpfosten separat ausgewertet werden. Die Berechnung und Darstellung der Geschwindigkeitsverläufe erfolgte anschliessend jeweils getrennt für die beiden Gruppen PW und LW mit Hilfe des Tabellenkalkulationsprogramms Excel (Abb. 5).

Für jeden Messquerschnitt liessen sich für die beiden Gruppen PW und LW die üblichen Geschwindigkeitswerte ($V_{5\%}$, $V_{15\%}$, $V_{50\%}$, $V_{85\%}$, $V_{95\%}$, V_m und s) berechnen. Die Standardabweichung s wurde nach folgender Beziehung ermittelt:

$$s = \frac{\sqrt{\sum (V_i - V_m)^2}}{n - 1}$$

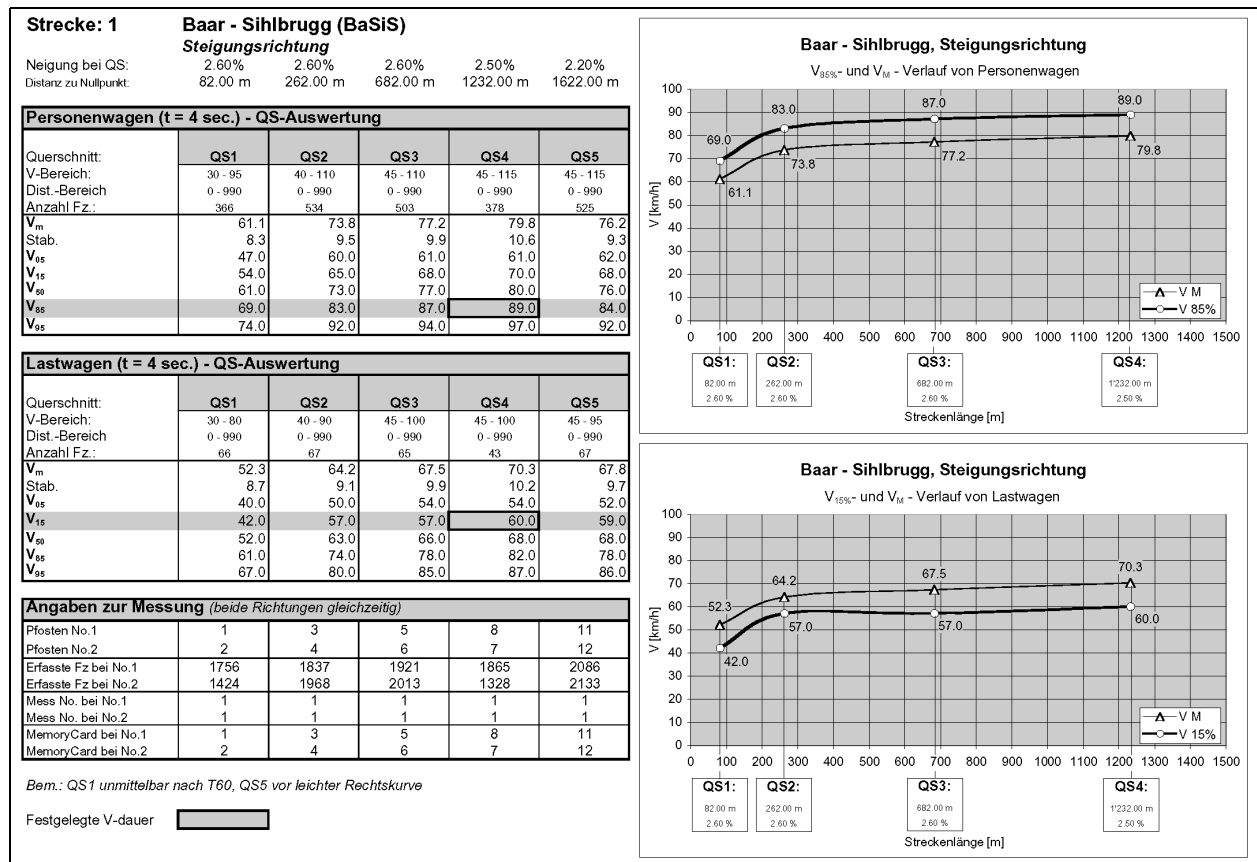
- V_i = Einzelwert der quasi lokalen Geschwindigkeit
 V_m = arithmetisches Mittel aller Einzelgeschwindigkeiten
 n = Anzahl Messwerte

Die Zuordnung der Fahrzeuge in die Gruppe der PW oder LW erfolgte anhand der gemessenen Länge. Um Fehlzuordnungen ausschliessen zu können, wurde der untere Schwellenwert für LW von den üblichen 6 m Länge auf 6,5 m erhöht.

Um die korrekte Zuordnung der gemessenen Fahrzeuge durch das Auswerteprogramm in die Gruppen PW oder LW überprüfen zu können, wurden die Videoaufnahmen mit den Messwerten verglichen. Aufgrund von Zeitlückenvergleichen konnten die per Video erfassten Fahrzeuge eindeutig den jeweiligen Messwerten zugeordnet werden. Der Vergleich hat bestätigt, dass in der Längensklasse $< 6,5$ m keine Lastwagen mit 3,5 t

und mehr Gesamtgewicht bei der Messung zugeordnet wurden. Umgekehrt wurden in der Längenklasse > 6.5 m keine Lieferwagen als Solofahrzeuge registriert.

Die folgende Abbildung zeigt beispielhaft die Auswertung der Geschwindigkeitsverläufe und -verteilungen für eine Strecke.



2.7. Simulationsberechnungen

Zur Verifizierung der empirischen Messergebnisse, insbesondere der Geschwindigkeitsverläufe entlang der Steigungsstrecken (vgl. Kapitel 7) wurden auch Simulationsberechnungen durchgeführt. Diese Untersuchungsarbeiten erfolgten in Zusammenarbeit mit der Firma DaimlerChrysler AG in Stuttgart. Lastwagen dieser Firma haben in der Gesamtmenge der auf schweizerischen Strassen verkehrenden schweren Güterfahrzeuge einen dominierenden Anteil (vgl. 5.1.3.).

2.7.1. Art der Fahrsimulationen

Simuliert wurden Verzögerungsfahrten (mit einer Zufahrtsgeschwindigkeit von $V = 80 \text{ km/h}$) und Beschleunigungsfahrten (Anfahren aus dem Stillstand, $V = 0 \text{ km/h}$), und zwar für

- verschiedene *Längsneigungen* auf geraden Strassenabschnitten mit konstanter Längsneigung und
- Fahrzeuge mit verschiedenen *Nutzleistungen* (in PS oder kW/t Betriebsgewicht).

Für die Geschwindigkeiten sind neben der Motorleistung auch Getriebeverhältnisse wesentlich, insbesondere die *Anzahl der Gänge* und die *Hinterachsübersetzung*.

Mit einer grösseren Gangzahl kann die Geschwindigkeitsanpassung an die jeweilige Steigung besser abgestuft werden als bei einer geringeren Gangzahl. Moderne Lastwagengetriebe weisen in der Regel 9 oder mehr Gänge auf. In den vorliegenden Fahrsimulationen wurden einheitlich solche Fahrzeuge verwendet, die mit 12 Gängen ausgestattet sind. Dies entspricht dem oberen Bereich des marktüblichen Standards.

Die Achsübersetzung beeinflusst die Höchstgeschwindigkeit vor allem in kleineren Neigungen. Innerhalb einer Nutzleistungsklasse wurden deshalb zwei Fahrzeugmodelle berücksichtigt, die sich jeweils in der Achsübersetzung deutlich unterscheiden. Damit wurden bezüglich der erreichbaren Höchstgeschwindigkeit zwei Fälle (günstig / ungünstig) angenähert. Mit dieser Differenzierung sollte der mögliche Schwankungsbereich der erreichbaren Geschwindigkeiten in Steigungen aufgezeigt werden.

Der Zweck dieser Berechnungen besteht darin, mit der jeweils installierten Leistung eine möglichst hohe Geschwindigkeit zu erreichen. Dazu wurde eine zügige Fahrweise über die *Schaltzeit* simuliert. Sie wurde zwischen 0.6 und 0.8 s pro Gangwechsel festgelegt. Der *Anfahrvorgang* erfolgt mit „schleifender“ Kupplung bei derjenigen Drehzahl, die dem maximalen Drehmoment des Motors entspricht. Solange das Fahrzeug die leistungsbedingte Höchstgeschwindigkeit nicht erreicht hat, wird unter Volllast beschleunigt. Beim Erreichen der oberen Schaltdrehzahl wird hochgeschaltet, sofern im höheren Gang noch eine Beschleunigungsreserve vorhanden ist und die neue Drehzahl im Betriebsbereich liegt. Analog dazu wird beim *Verzögerungsvorgang* jeweils heruntergeschaltet (der LW trifft zu Beginn der Steigung mit einer Geschwindigkeit von 80 km/h ein und wird durch die Steigungswiderstände verlangsamt).

Im Simulationsmodell weisen die Steigungsabschnitte eine „*unendliche*“ *Länge* auf. Die Berechnung kann dann abgebrochen werden, wenn in der jeweils simulierten Steigung die höchstmögliche Dauer- bzw. Beharrungsgeschwindigkeit erreicht wurde.

Die Berechnungsergebnisse wurden in Diagrammen festgehalten, in welchen die Zusammenhänge zwischen Geschwindigkeit, Zeit und Weg dargestellt sind. Die Abbildung 6 auf der nächsten Seite zeigt eine Fahrsimulation für einen LW mit 40 t Gesamtgewicht und einer spezifischen Nutzleistung von ungefähr 9.9 PS/t, der aus dem Stillstand in einer Steigung von 5% bis zum Erreichen der Dauergeschwindigkeit beschleunigt.

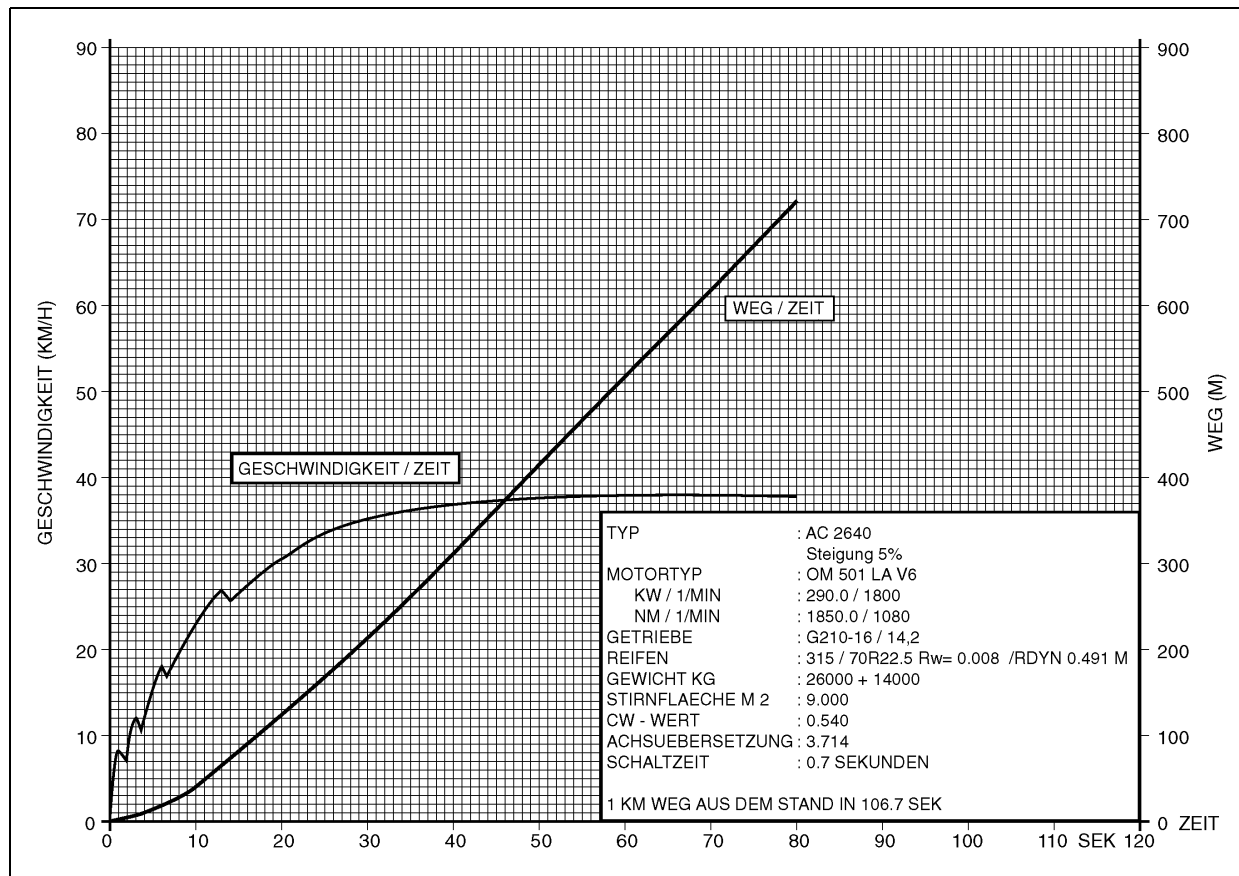


Abb. 6: Darstellung der Ergebnisse der Simulationsberechnungen (Beispiel)

2.7.2. Umfang der Fahrsimulationen

Innerhalb des vorgegebenen Kredit- und Zeitrahmens mussten die Berechnungen auf das Wesentliche begrenzt werden. Dabei wurden auch Qualität und Umfang der empirischen Messungen berücksichtigt, die es mit Hilfe der Simulationsberechnungen zu ergänzen galt.

Bei den *Längsneigungen* (i) wurde das Schwergewicht auf grössere Steigungen gelegt. Sie wurden wie folgt festgelegt:

i (%) von +4, +5, +6, +7 und +8

Bei den Fahrvorgängen standen Beschleunigungsfahrten (Anfahren aus dem Stillstand) im Vordergrund, Verzögerungsvorgänge wurden nur für Steigungen von +4, +6 und +8% simuliert.

Die *Nutzleistung* (Motorisierung) wird als Verhältnis zwischen installierter Antriebsleistung (in kW bzw. PS) und dem jeweiligen Betriebsgewicht (Gewicht Fahrzeug und Ladung in t) definiert. Sie hat einen massgeblichen Einfluss auf die Fahrzeuggeschwindigkeiten. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit kommt diesem Aspekt eine besondere Bedeutung zu⁶. Unter den vorgegebenen Umständen ging es darum, geeignete Nutzleistungen auszuwählen, die den möglichen Bereich der Nutzleistungen von auf unseren Strassen verkehrenden LW abdecken. Für die Fahrsimulation von Beschleunigungs- bzw. Anfahrten wurden folgende vier Nutzleistungsklassen ausgewählt:

Nutzleistung (kW/t) von 5,3, 7,2, 9,7 und 10,6

Die Nutzleistung von 5,3 kW/t (7,2 PS/t) liegt im Bereich der derzeitigen gesetzlichen Mindestnutzleistung, jene von 10,6 kW/t (14,4 PS/t) ergibt sich aus dem zulässigen Gesamtgewicht von 40t und einer Motor-

⁶ Herabsetzung der gesetzlichen Mindestnutzleistung von 7,5 kW/t (10 PS/t) auf 5,0 kW/t (6,8 PS/t) sowie Zulassung höherer Gesamtgewichte (stufenweise, Kontingente mit über 28t seit 1. Januar 2001, ab 2005 generell bis 40t).

leistung von ca. 425 kW (580 PS). Diese Motorleistung entspricht dem obersten Bereich, der auf dem Markt angebotenen Lastwagen. Die Fahrsimulation von Verzögerungsvorgängen erfolgte nur für eine Nutzleistung von 5,7 kW/t (7,8 PS/t).

In der folgenden Tabelle sind die Fahrzeugcharakteristiken der für die Simulationsberechnungen verwendeten Lastwagen zusammengestellt.

| LW-Typ (DaimlerChrysler) | Motorleistung kW (PS) | Betriebsgewicht (t) | Nutzleistung kW/t (PS/t) | Übersetzung 1 | Übersetzung 2 |
|-----------------------------|--------------------------|------------------------|-----------------------------|---------------|---------------|
| AT 1823 | 170 (231) | 32 | 5.3 (7.2) | 5.143 | 5.857 |
| AC 2640 | 290 (394) | 40 | 7.2 (9.9) | 3.714 | 4.333 |
| AC 2653 | 390 (530) | 40 | 9.7 (13.3) | 3.977 | 4.833 |
| AC 3348 | 350 (476) | 33 | 10.6 (14.4) | 4.571 | 6.000 |
| AT 1828 ¹⁾ | 205 (279) | 36 | 5.7 (7.8) | — | 5.857 |

¹⁾ Für Simulation von Verzögerungsvorgängen

Tab. 3: Charakteristiken der Lastwagen für die Fahrsimulation von Beschleunigungsfahrten (Anfahren aus dem Stillstand)

3. MESSERGEBNISSE

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse der Geschwindigkeitsmessungen beschrieben. Sie basieren auf den Grunddaten, welche in Anhang 1 (Beilagen 1.1 – 1.39) zusammengestellt sind. In einem ersten Teil (3.2.) wird auf die Geschwindigkeiten von Personenwagen, in 3.3. auf jene von Lastwagen eingegangen.

3.1. Ungehindert fahrende Fahrzeuge

Die Projektierungsnormen für den Entwurf der Linienführung basieren sowohl im In- als auch im Ausland grundsätzlich auf Geschwindigkeiten von sogenannten frei- oder ungehindert fahrenden Fahrzeugen. Mit dieser Betrachtungsweise sollen die Verkehrseinflüsse auf die Geschwindigkeitswahl ausgeschlossen werden. Die Festlegung eines solchen Teilkollektivs von Fahrzeugenkern erfolgt üblicherweise mit Hilfe von Zeitlücken (Δt). Wird ein bestimmter Wert des zeitlichen Abstands eines Fahrzeuges zum vorausfahrenden Fahrzeug („Frontzeitlücke“) überschritten, so wird davon ausgegangen, dass die Geschwindigkeit des nachfolgenden Fahrzeugs nur noch durch die geometrischen Gegebenheiten des Strassenabschnitts und durch die zulässige Höchstgeschwindigkeit beeinflusst wird.

In Anlehnung an den Forschungsauftrag „Geschwindigkeiten in Kurven“ [6], wo sich die Frage der Zeitlückengrösse für freifahrende Fahrzeuge ebenfalls gestellt hat, wird hier auf eine neuerliche Untersuchung des Einflusses der Zeitlücken auf die Geschwindigkeiten verzichtet. Aufgrund der in [6] gewonnenen Erkenntnisse werden die *ungehindert fahrenden Fahrzeuge* in dieser Untersuchung ebenfalls *mit einer Zeitlücke von ≥ 4 Sekunden charakterisiert*. Dieser Wert wurde auch in der früheren Untersuchung auf Neigungsstrecken [5] verwendet.

3.2. Personenwagen

Die Messergebnisse für die Gruppe der Personenwagen beziehen sich ausschliesslich auf Strecken ausserorts mit einer Tempolimiten von 80 km/h. Die Erhebungen für die Gruppe der Personenwagen stammen aus dem Jahr 1999. Zu Kontrollzwecken wurden im Rahmen der „Nachher“-Messungen aus dem Jahr 2002 lediglich auf den Messstrecken Nr. 19 (Staffellegg) und Nr. 6 (Rafz, Anfahrten ab Zoll) wiederholt Erhebungen durchgeführt. Die Autobahn-Messstrecken sind nicht enthalten, da auf diesen Strecken nur der rechte Fahrstreifen erfasst wurde und die Geschwindigkeiten von Lastwagen im Vordergrund stand. Die Autobahnmessungen wurden für die Gruppe der Personenwagen nicht ausgewertet.

3.2.1. Geschwindigkeitsverteilungen 1999

Zur Beurteilung der Homogenität der Geschwindigkeiten dienen die Geschwindigkeitsverteilungen. Für die vorliegende Untersuchung wurden vereinfachte Summenlinien auf Basis der $V_{5\%}$, $V_{15\%}$, $V_{50\%}$, $V_{85\%}$, und $V_{95\%}$ auf allen Steigungs- und Gefällsstrecken ausgewertet. Abbildung 7 (auf der nächsten Seite) zeigt die Verteilungen auf Steigungsstrecken, Abbildung 8 jene auf Gefällsstrecken. Die Verteilungen beziehen sich jeweils auf den letzten Messquerschnitt der Neigungsstrecke in Fahrtrichtung (vgl. dazu auch Anhang 1).

Beide Abbildungen zeigen, dass sich aus der Lage der Summenlinien sowohl für die Steigungsrichtung als auch für die Gefällsrichtung keine einheitliche Tendenz für die Gruppe der Personenwagen hinsichtlich der Beziehung Geschwindigkeit – Längsneigung ablesen lässt. Jedoch ist aus den Abbildungen weiter ersichtlich, dass die Homogenität der Geschwindigkeiten in Steigungs- und Gefällsrichtung ähnlich ist.

Diese Erkenntnis deckt sich für die Gruppe der Personenwagen mit jener, die bereits im Jahre 1978 in [4] gewonnen werden konnte.

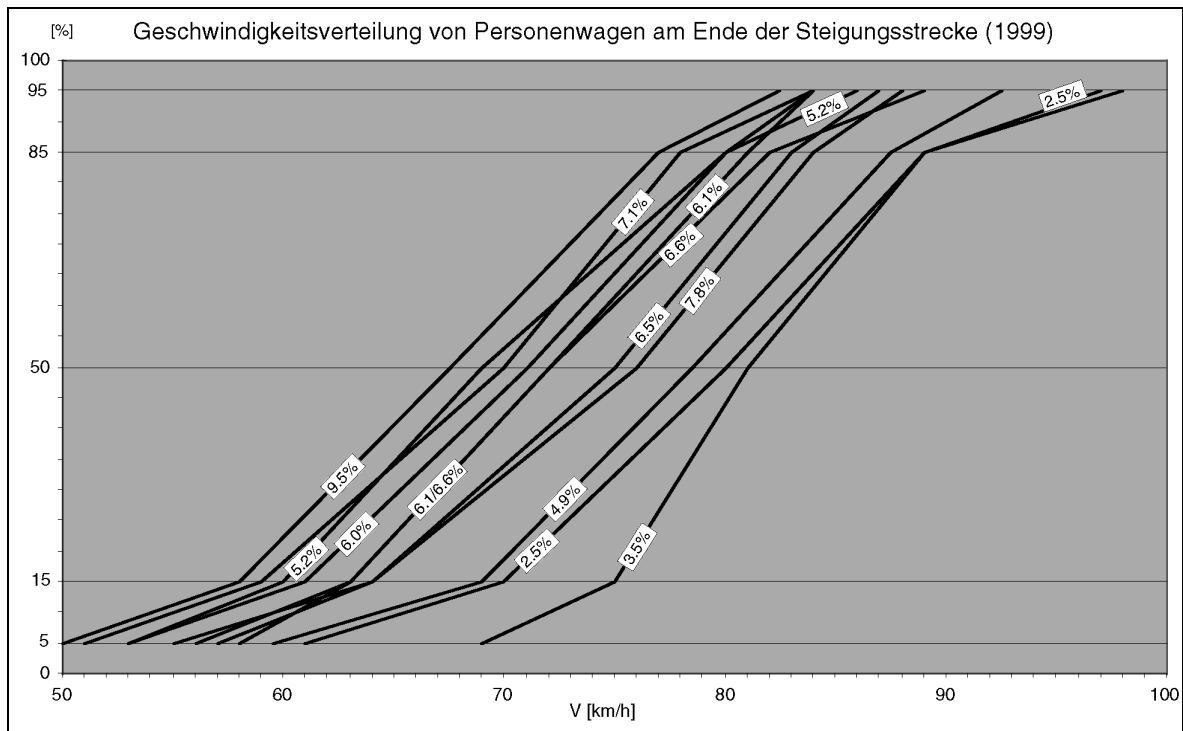


Abb. 7: Geschwindigkeitsverteilungen von Personenwagen am Ende der Steigungsstrecken (1999)

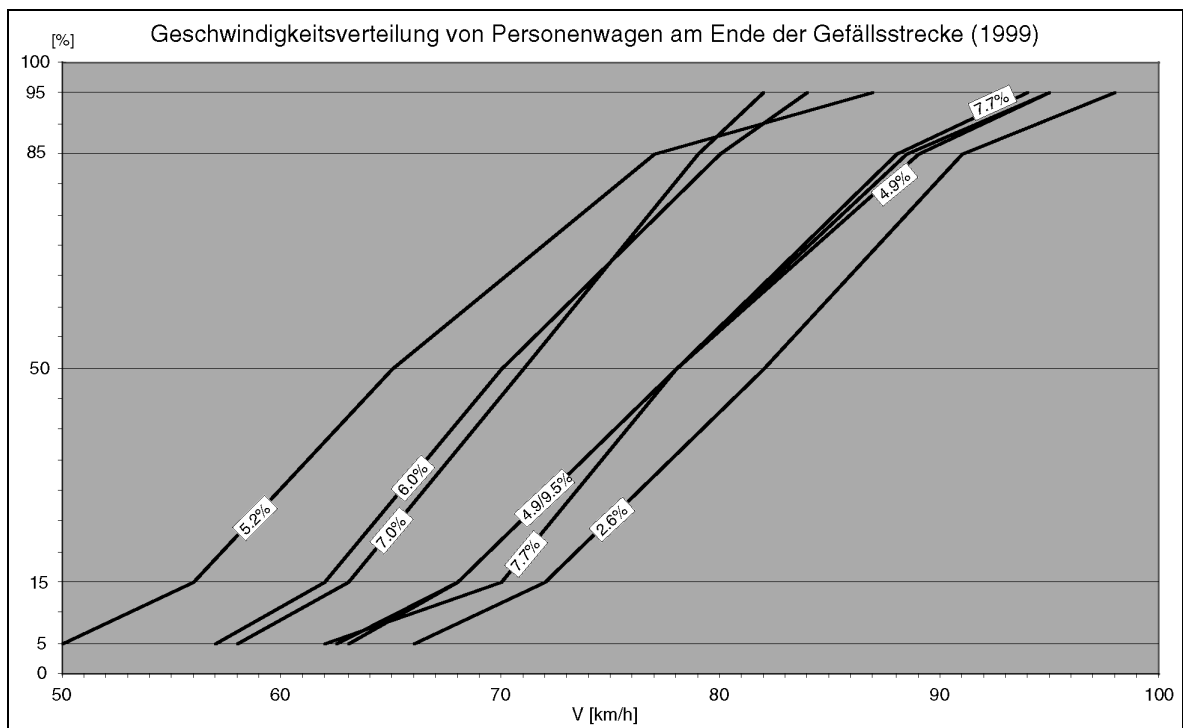


Abb. 8: Geschwindigkeitsverteilungen von Personenwagen am Ende der Gefällsstrecken (1999)

In Tabelle 4 auf der folgenden Seite sind die Differenzen der Geschwindigkeiten am Ende der Neigungsstrecke zwischen den Gruppen „schnellere“ Fahrzeuge ($V_{85\%}$) und „langsamere“ Fahrzeuge ($V_{15\%}$) zusammengestellt. Unabhängig von den Neigungsverhältnissen bewegen sich die Geschwindigkeitsdifferenzen bei praktisch allen Messstrecken im Bereich von 20 km/h, was die aus den Abbildungen 7 und 8 ersichtliche Homogenität der Geschwindigkeitsverteilungen unterstreicht.

Im Mittel liegen die Differenzen bei den 1999 durchgeführten Erhebungen in Steigungsrichtung bei 18.6 km/h, in Gefällsrichtung bei 19.1 km/h.

Bei vier Untersuchungsstrecken, auf welchen auch im Jahre 1978 [4] gemessen wurde, kann ein direkter Vergleich angestellt werden. Daraus ist ersichtlich, dass sich die Differenzen der Geschwindigkeiten $V_{85\%}$ und $V_{15\%}$ (ΔV) am Ende der Neigungsstrecke bei Temporegime 80 (1999) deutlich verringert haben. Im Mittel beträgt die Abnahme für die entsprechenden Messstrecken von 1999 in Steigungsrichtung 9.8 km/h. In Gefällsrichtung ist die Reduktion mit 4.7 km/h weniger ausgeprägt.

| Untersuchungsstrecke | | Geschwindigkeitsdifferenzen $V_{85\%} - V_{15\%}$ in km/h | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------|------------------------------|---|------------|------------|------------|------------|---------|--------------------|------------|------------|------------|----|----|----|----|
| | | in Steigungsrichtung | | | | | | in Gefällsrichtung | | | | | | | |
| | | Neigung | 1999 | | 1978 | | Neigung | 1999 | | 1978 | | | | | |
| $V_{85\%}$ | $V_{15\%}$ | | ΔV | ΔV | $V_{85\%}$ | $V_{15\%}$ | | ΔV | ΔV | $V_{85\%}$ | $V_{15\%}$ | | | | |
| 1 | Baar – Sihlbrugg | 2.5 % | 89 | 70 | 19 | 27 | 92 | 65 | - 2.6 % | 91 | 72 | 19 | — | — | — |
| 3 | Bremgarten – Wohlen | 3.5 % | 89 | 75 | 14 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 7 | Ottenbach – Zwillikon | 4.9 % | 88 | 69 | 19 | 29 | 95 | 66 | - 4.9 % | 89 | 68 | 21 | 27 | 94 | 67 |
| 11 | Trimbach – Hauenstein | 5.2 % | 80 | 60 | 20 | 31 | 86 | 55 | - 5.2 % | 77 | 56 | 21 | 26 | 84 | 58 |
| 12 | Pfäffikon – Schindellegi (o) | 6.0 % | 80 | 61 | 19 | — | — | — | - 6.0 % | 80 | 62 | 18 | — | — | — |
| 15 | Regensdorf – Zürich | 6.1 % | 81 | 63 | 18 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 15a | Regensdorf – Zürich | 6.5 % | 83 | 64 | 19 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 16 | Birmensdorf – Filderen | 6.6 % | 82 | 63 | 19 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 17 | Pfäffikon – Schindellegi (u) | 7.1 % | 78 | 59 | 19 | — | — | — | - 7.0 % | 79 | 63 | 16 | — | — | — |
| 18 | Umiken – Unterbözberg | 7.8 % | 84 | 64 | 20 | — | — | — | - 7.7 % | 88 | 70 | 18 | — | — | — |
| 19 | Densbüren – Staffelegg | 9.5 % | 77 | 58 | 19 | 29 | 83 | 54 | - 9.5 % | 89 | 68 | 21 | 24 | 85 | 61 |

Tab. 4: Vergleich der Geschwindigkeitsdifferenzen $V_{85\%} - V_{15\%}$ von PW zwischen 1978 [4] und 1999

3.2.2. Geschwindigkeitswerte 1999

3.2.2.1. Mittlere Geschwindigkeiten V_M

In Tabelle 5 sind die mittleren Geschwindigkeiten und ihre Standardabweichungen im jeweils letzten Querschnitt der Neigungsstrecke dargestellt. Eine gewisse Abhängigkeit zwischen Geschwindigkeit und Längsneigung ist für die Gruppe der Personenwagen nur in Steigungsrichtung ersichtlich. Über alle Untersuchungsstrecken gemittelt liegt die V_M in Steigungsrichtung bei 73.5 km/h, in Gefällsrichtung bei 75.0 km/h. Die Standardabweichungen der mittleren Geschwindigkeiten betragen sowohl in Steigungs- wie auch in Gefällsrichtung im Durchschnitt 9.6 km/h.

Bei vier Messstrecken, auf welchen bereits 1978 [4] Erhebungen durchgeführt wurden, kann wiederum ein direkter Vergleich angestellt werden. Für die ΔV_M lassen sich keine einheitlichen Tendenzen ablesen. Die Veränderungen gegenüber 1978 bewegen sich zwischen - 4.1 bis + 4.4 km/h. Jedoch war die Streuung bei den damals erhobenen Geschwindigkeiten im Mittel um 3.2 km/h grösser als 1999, was die in 3.2.1. festgestellte Erkenntnis der Homogenisierung der Geschwindigkeiten ebenfalls bestätigt.

| Untersuchungsstrecke | | Mittlere Geschwindigkeiten V_M und Standardabweichung s in km/h | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------|------------------------------|---|-------|------|--------------|------------|----------------------------|--------------------|---------|-------|------|--------------|------------|----------------------------|------|
| | | in Steigungsrichtung | | | | | | in Gefällsrichtung | | | | | | | |
| | | Neigung | 1999 | | 1978 | | Veränderung gegenüber 1978 | | Neigung | 1999 | | 1978 | | Veränderung gegenüber 1978 | |
| V_M | s | | V_M | s | ΔV_M | Δs | V_M | s | | V_M | s | ΔV_M | Δs | | |
| 1 | Baar – Sihlbrugg | 2.5 % | 79.8 | 10.6 | 77.8 | 12.8 | +2.0 | -2.2 | - 2.6 % | 81.6 | 9.6 | — | — | — | — |
| 3 | Bremgarten – Wohlen | 3.5 % | 82.0 | 8.4 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 7 | Ottenbach – Zwillikon | 4.9 % | 77.9 | 9.4 | 81.2 | 14.3 | -3.3 | -4.9 | - 4.9 % | 78.3 | 9.8 | 80.8 | 14.0 | -2.5 | -4.2 |
| 11 | Trimbach – Hauenstein | 5.2 % | 70.1 | 10.4 | 70.0 | 14.5 | +0.1 | -4.1 | - 5.2 % | 66.1 | 10.6 | 70.2 | 12.7 | -4.1 | -2.1 |
| 12 | Pfäffikon – Schindellegi (o) | 6.0 % | 70.4 | 9.6 | — | — | — | — | - 6.0 % | 71.2 | 9.1 | — | — | — | — |
| 15 | Regensdorf – Zürich | 6.1 % | 71.6 | 8.6 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 15a | Regensdorf – Zürich | 6.5 % | 73.7 | 9.1 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 16 | Birmensdorf – Filderen | 6.6 % | 72.3 | 9.6 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 17 | Pfäffikon – Schindellegi (u) | 7.1 % | 68.8 | 10.3 | — | — | — | — | - 7.0 % | 70.7 | 7.9 | — | — | — | — |
| 18 | Umiken – Unterbözberg | 7.8 % | 74.2 | 10.4 | — | — | — | — | - 7.7 % | 78.7 | 9.7 | — | — | — | — |
| 19 | Densbüren – Staffelegg | 9.5 % | 67.4 | 10.0 | 68.8 | 12.5 | -1.4 | -2.5 | - 9.5 % | 78.3 | 10.5 | 73.9 | 13.2 | +4.4 | -2.7 |

Tab. 5: Vergleich der mittleren Geschwindigkeiten (V_M) und Standardabweichungen (s) von Personenwagen zwischen 1978 [4] und 1999

3.2.2.2. $V_{85\%}$ -Geschwindigkeiten

Analog zum vorhergehenden Abschnitt sind in Tabelle 6 die $V_{85\%}$ -Geschwindigkeiten aus den Erhebungen dieser Arbeit abgebildet. Dieser statistische Geschwindigkeitswert repräsentiert die Gruppe der schneller fahrenden Fahrzeuge. Dementsprechend wird die generelle Tempolimite vor allem bei kleineren Neigungen in Steigungsrichtung sowie bei der Mehrheit der Gefällsstrecken überschritten. Für die Steigungsrichtung kann grundsätzlich eine gewisse Neigungsabhängigkeit festgestellt werden. Der über alle Strecken gemittelte $V_{85\%}$ -Wert beträgt für die Steigungsrichtung 82.8 km/h, für die Gefällsrichtung 84.7 km/h.

| Untersuchungsstrecke | | $V_{85\%}$ -Geschwindigkeiten in km/h | | | | | | | |
|----------------------|------------------------------|---------------------------------------|------|------|-------------------|--------------------|------|------|-------------------|
| | | in Steigungsrichtung | | | | in Gefällsrichtung | | | |
| | | Neigung | 1999 | 1978 | $\Delta V_{85\%}$ | Neigung | 1999 | 1978 | $\Delta V_{85\%}$ |
| 1 | Baar – Sihlbrugg | 2.5 % | 89 | 92 | -3 | -2.6 % | 91 | — | — |
| 3 | Bremgarten – Wohlen | 3.5 % | 89 | — | — | — | — | — | — |
| 7 | Ottensbach – Zwillikon | 4.9 % | 88 | 95 | -7 | -4.9 % | 89 | 94 | -5 |
| 11 | Trimbach – Hauenstein | 5.2 % | 80 | 86 | -6 | -5.2 % | 77 | 84 | -7 |
| 12 | Pfäffikon – Schindellegi (o) | 6.0 % | 80 | — | — | -6.0 % | 80 | — | — |
| 15 | Regensdorf – Zürich | 6.1 % | 81 | — | — | — | — | — | — |
| 15a | Regensdorf – Zürich | 6.5 % | 83 | — | — | — | — | — | — |
| 16 | Birmensdorf – Filderen | 6.6 % | 82 | — | — | — | — | — | — |
| 17 | Pfäffikon – Schindellegi (u) | 7.1 % | 78 | — | — | -7.0 % | 79 | — | — |
| 18 | Umiken – Unterbözberg | 7.8 % | 84 | — | — | -7.7 % | 88 | — | — |
| 19 | Densbüren – Staffelegg | 9.5 % | 77 | 83 | -6 | -9.5 % | 89 | 85 | -6 |

Tab. 6: Vergleich der $V_{85\%}$ -Geschwindigkeiten von PW zwischen 1978 [4] und 1999

Vergleicht man die Werte mit den in [4] (1978) erhobenen Werten (Tempo 100), kann bei allen Strecken eine deutliche Reduktion festgestellt werden im Gegensatz zu den V_M -Werten, welche zum Teil eine Zunahme zu verzeichnen haben. Die Homogenisierung der Geschwindigkeitsverteilungen ist somit primär auf die Reduktion der Geschwindigkeiten von „schnellen“ Personenwagen zurückzuführen.

3.2.3. Geschwindigkeitsverlauf 1999

3.2.3.1. Verlauf der $V_{85\%}$ -Geschwindigkeiten

Die Geschwindigkeitsverläufe für die einzelnen Untersuchungsstrecken sind für die Geschwindigkeitswerte V_x im Anhang 1 dargestellt. Für einen Vergleich aller Untersuchungsstrecken wurden schematisierte Geschwindigkeitsverläufe der $V_{85\%}$ -Werte verwendet. Die Geschwindigkeitsverläufe sind in Abbildung 9 dargestellt. Die Knickpunkte der Linien markieren die Lage der Messquerschnitte. Die Abbildungen zeigen die Verläufe für die jeweils ersten bis zu 1'000 m der Messstrecke.

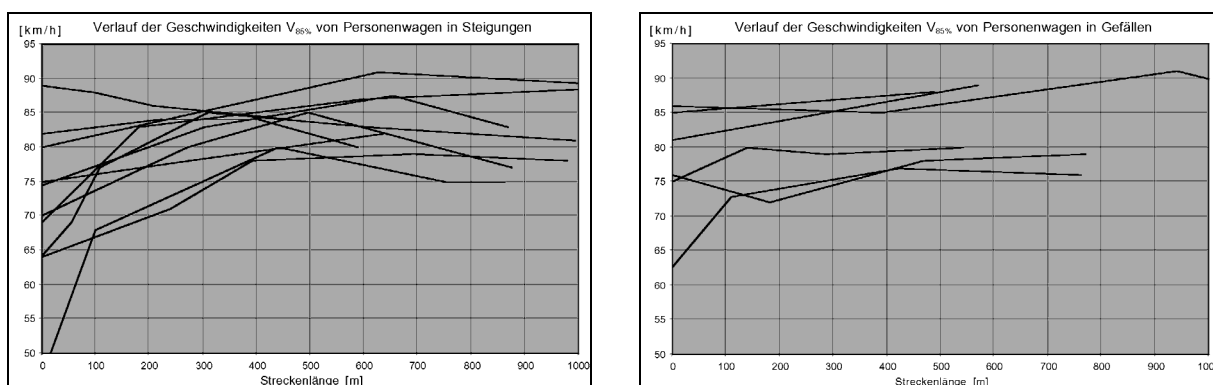


Abb. 9: Schematische Geschwindigkeitsverläufe in den Untersuchungsstrecken für $V_{85\%}$

Es fällt auf, dass sowohl auf Steigungsstrecken wie auch auf Gefällsstrecken zu Beginn zum grössten Teil beschleunigt wird. Dieser Beschleunigungsvorgang wird im Verlauf der Steigung bzw. des Gefälles fortgesetzt. Dies erklärt sich durch die Tatsache, dass sich die Messquerschnitte im Zufahrtsbereich teilweise nach Kurven oder kurz nach Ende einer örtlich begrenzten Tempolimite befanden⁷. Hinsichtlich ver-

⁷ An einigen Steigungsstrecken wurden Anfahrvorgänge gemessen.

schiedener Neigungen weisen die Geschwindigkeitsverläufe eine sehr starke Streuung auf und lassen keine einheitliche Tendenz erkennen.

3.2.3.2. Längsverzögerungen und -beschleunigungen

In Anlehnung an 3.2.3.1. wurden für die Steigungs- bzw. Gefällsrichtung die mittleren Längsverzögerungen (Vorzeichen -) bzw. Längsbeschleunigungen (Vorzeichen +) ermittelt. Hierzu wurden die $V_{85\%}$ -Werte verwendet. Die Berechnungen wurden jeweils für den Bereich zwischen dem letzten und dem vorletzten Messquerschnitt in Fahrtrichtung durchgeführt, in welchem die massgebende Längsneigung vorhanden war. Diese theoretischen Beschleunigungs- bzw. Verzögerungswerte wurden anhand der folgenden Beziehung berechnet:

$$a_v = \frac{v_n^2 - v_{n-1}^2}{2L}$$

- a_v = mittlere Beschleunigung (+) bzw. Verzögerung (-) in m/s^2
 v_n = $V_{85\%}$ -Geschwindigkeit im letzten Messquerschnitt in m/s
 v_{n-1} = $V_{85\%}$ -Geschwindigkeit im vorletzten Messquerschnitt in m/s
 L = Länge des Abschnitts in m

| Untersuchungsstrecke | | Längsverzögerungen und -beschleunigungen in m/s^2 | | | | | | | | | |
|----------------------|------------------------------|---|-----------|-------|-------|--------------|--------------------|-----------|-------|-------|-------------|
| | | in Steigungsrichtung | | | | | in Gefällsrichtung | | | | |
| | | Neigung | v_{n-1} | v_n | L [m] | a_v | Neigung | v_{n-1} | v_n | L [m] | a_v |
| 1 | Baar – Sihlbrugg | 2.5 % | 87 | 89 | 550 | 0.02 | -2.6 % | 85 | 91 | 550 | 0.07 |
| 3 | Bremgarten – Wohlen | 3.5 % | 91 | 89 | 455 | -0.03 | — | — | — | — | — |
| 7 | Ottenbach – Zwillikon | 4.9 % | 83 | 88 | 350 | 0.08 | -4.9 % | 84 | 89 | 350 | 0.10 |
| 11 | Trimmbach – Hauenstein | 5.2 % | 68 | 80 | 340 | 0.20 | -5.2 % | 73 | 77 | 312 | 0.08 |
| 12 | Pfäffikon – Schindellegi (o) | 6.0 % | 84 | 80 | 186 | -0.14 | -6.0 % | 79 | 80 | 256 | 0.02 |
| 15 | Regensdorf – Zürich | 6.1 % | 83 | 81 | 385 | -0.03 | — | — | — | — | — |
| 15a | Regensdorf – Zürich | 6.5 % | 85 | 83 | 300 | -0.04 | — | — | — | — | — |
| 16 | Birmensdorf – Filderen | 6.6 % | 78 | 82 | 360 | 0.07 | — | — | — | — | — |
| 17 | Pfäffikon – Schindellegi (u) | 7.1 % | 79 | 78 | 288 | -0.02 | -7.0 % | 78 | 79 | 300 | 0.02 |
| 18 | Umiken – Unterbözberg | 7.8 % | 86 | 84 | 250 | -0.05 | -7.7 % | 85 | 88 | 488 | 0.04 |
| 19 | Densbüren – Staffelegg | 9.5 % | 85 | 77 | 380 | -0.13 | -9.5 % | * | 89 | — | — |

* nur 1 Messquerschnitt in Gefällsrichtung

Tab. 7: Theoretische Verzögerungs- und Beschleunigungswerte von „schnellen“ Personenwagen ($V_{85\%}$) am Ende der Neigungsstrecke

Aus Tabelle 7 geht hervor, dass in Steigungsrichtung vorwiegend verzögert wird, vor allem bei grösseren Längsneigungen. In Gefällsrichtung können auf sämtlichen Strecken nur Beschleunigungen festgestellt werden. Die Beschleunigungs- bzw. Verzögerungswerte für die Gruppe der Personenwagen sind indessen sehr gering, sodass sich am Ende der Neigungsstrecken in etwa ein ziemlich gleichmässiger Geschwindigkeitsverlauf der $V_{85\%}$ über alle Strecken gesamthaft betrachtet ergibt.

Diese Erkenntnis deckt sich mehrheitlich mit den Ergebnissen von 1978 in [4], wobei die Beschleunigungs- und Verzögerungswerte damals eine leicht grössere Streuung aufwiesen.

3.2.4. Geschwindigkeiten 2002

Wie unter 3.2. bereits erwähnt, beschränken sich die Erhebungen aus dem Jahr 2002 für die Gruppe der PW auf die Messstrecke Densbüren – Staffelegg, welche mit 9.5% die grösste Längsneigung im Rahmen dieser Untersuchung aufweist, sowie die Strecke Lottstetten – Rafz, welche jedoch nur zur Erfassung von Anfahrvorgängen diente. Erwartungsgemäss konnte bei den PW keine massgebenden Veränderungen bei den Dauergeschwindigkeiten gegenüber den Erhebungen von 1999 festgestellt werden, wie auch aus der nachfolgenden Tabelle ersichtlich ist.

| Untersuchungsstrecke | | $V_{85\%}$ -Geschwindigkeiten in km/h | | | | | | | |
|----------------------|------------------------|---|------|------|-------------------|--------------------|------|------|-------------------|
| | | in Steigungsrichtung | | | | in Gefällsrichtung | | | |
| | | Neigung | 2002 | 1999 | $\Delta V_{85\%}$ | Neigung | 2002 | 1999 | $\Delta V_{85\%}$ |
| 19 | Densbüren – Staffelegg | 9.5 % | 76 | 77 | -1 | -9.5 % | 90 | 89 | +1 |

Tab. 8: Vergleich der $V_{85\%}$ -Geschwindigkeiten von PW zwischen 2002 und 1999

3.3. Lastwagen

3.3.1. Geschwindigkeitsverteilungen

Analog zu Kapitel 3.2.1. wird in diesem Abschnitt auf die Geschwindigkeitsverteilung der Lastwagen eingegangen, welche wiederum Aussagen über die Homogenität der Geschwindigkeiten zulassen. Messstrecken auf Hochleistungsstrassen sind durch breitere Linien gekennzeichnet. Dort wurden nur Fahrzeuge auf dem rechten Normalfahrstreifen erfasst und Auswertungen nur für die Gruppe der Lastwagen durchgeführt.

3.3.1.1. Geschwindigkeitsverteilungen 1999

Die beiden nachfolgenden Abbildungen zeigen die schematischen Geschwindigkeitsverteilungen gemäss den Erhebungen im Zustand „Vorher“.

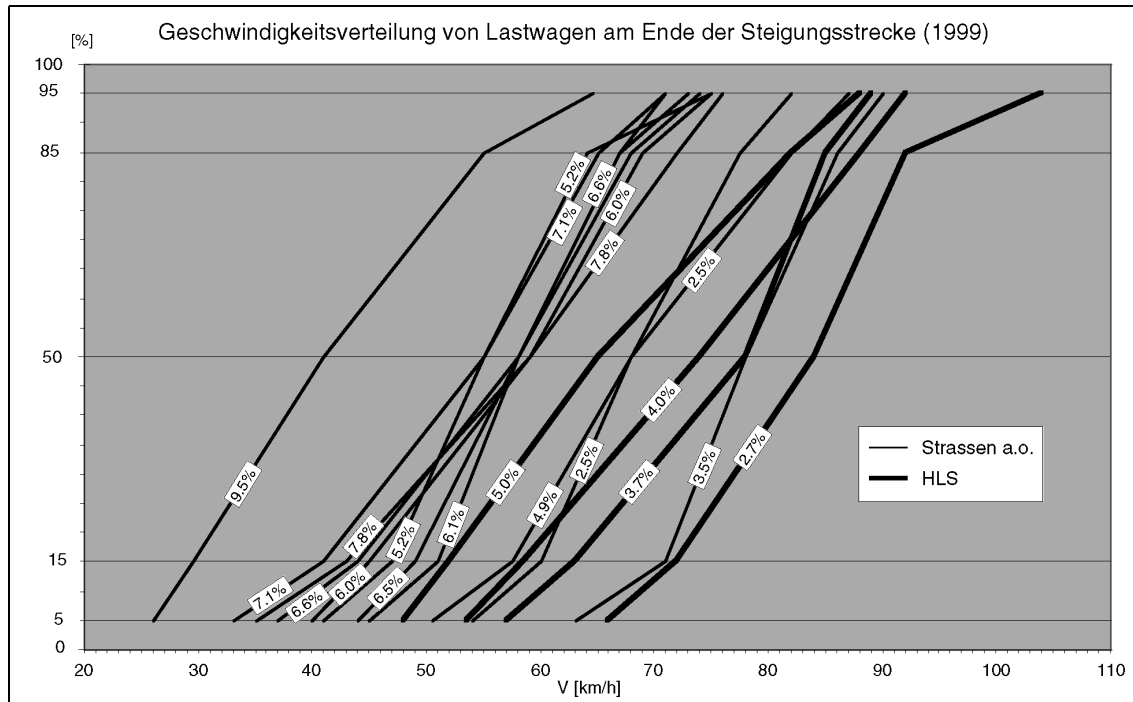


Abb. 10: Geschwindigkeitsverteilung von Lastwagen am Ende der Steigungsstrecken (1999)

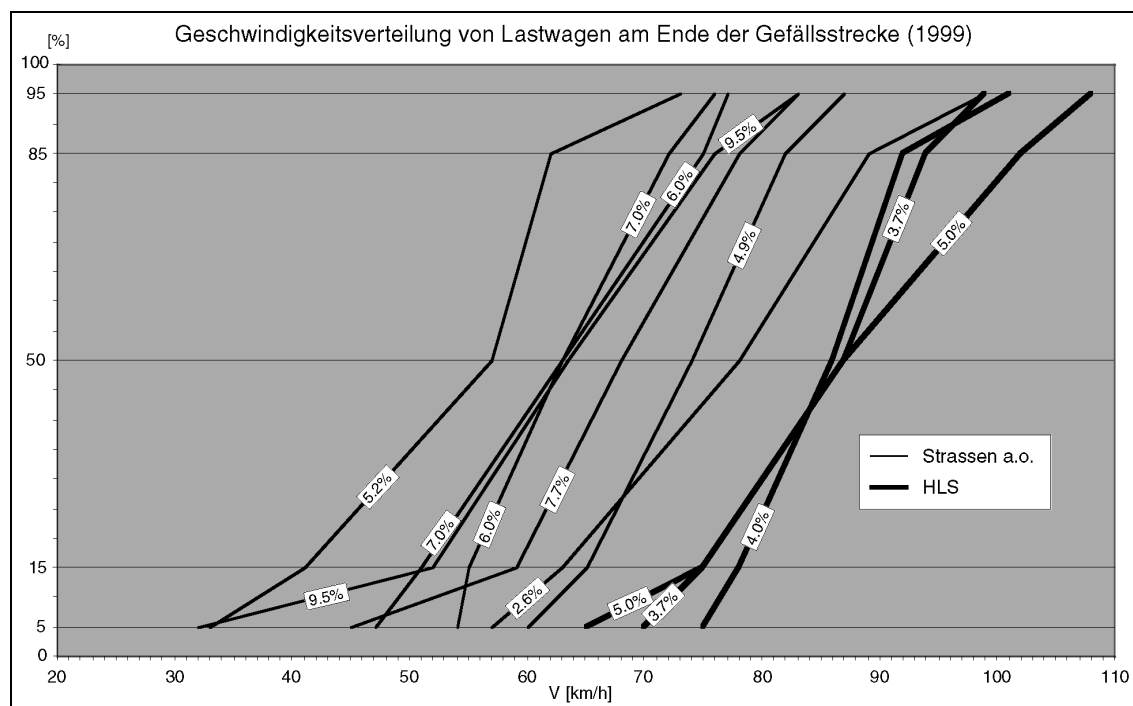


Abb. 11: Geschwindigkeitsverteilung von Lastwagen am Ende der Gefällsstrecken (1999)

Die einzelnen Verteilungskurven beziehen sich auf den jeweils letzten Messquerschnitt der Neigungsstrecke in Fahrtrichtung. Die Ergebnisse der übrigen Messquerschnitte sind in Anhang 1 enthalten.

Hinsichtlich der *Beziehung Geschwindigkeit – Längsneigung* ist für die Steigungsrichtung bei zunehmender Längsneigung eine *klare Tendenz zur Abnahme der Geschwindigkeiten* zu erkennen. Die Geschwindigkeiten in grösseren Steigungen sind zudem homogener, was durch die leicht steileren Verteilungskurven zum Ausdruck kommt. In Gefällsrichtung ist diese Tendenz etwas weniger ausgeprägt ebenfalls vorhanden. Auf diese Zusammenhänge wird in Kapitel 4 detailliert eingegangen.

Im Vergleich zur Gruppe der Personenwagen weisen die Geschwindigkeitsverteilungen für die Gruppe der Lastwagen einen etwas weniger homogenen Verlauf auf. Dies zeigt sich deutlich, wenn man die in Tabelle 9 dargestellten Geschwindigkeitsdifferenzen (1999) zwischen den schnellen Lastwagen ($V_{85\%}$) und den langsameren, gemäss Annahme beladenen Lastwagen ($V_{15\%}$) betrachtet. Die Differenzen bewegen sich unabhängig von der Grösse der Längsneigung für Steigungsstrecken im Bereich von 15 bis 30 km/h, für Gefällsstrecken im Bereich von 14 bis 27 km/h. Im Mittel liegen die Differenzen bei den 1999 durchgeführten Erhebungen für alle Messstrecken in Steigungsrichtung bei 22.3 km/h (PW 18.6), in Gefällsrichtung bei 20.4 km/h (PW 19.1), und liegen über den für die Gruppe der Personenwagen berechneten Ergebnissen (vgl. 3.2.1.).

| Untersuchungsstrecke | | Geschwindigkeitsdifferenzen $V_{85\%} - V_{15\%}$ in km/h | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------|-------------------------------|---|------------|------------|------------|------------|---------|------------|------------|--------------------|------------|------------|------------|----|----|
| | | in Steigungsrichtung | | | | | | | | in Gefällsrichtung | | | | | |
| | | Neigung | 1999 | | 1983 | | Neigung | 1999 | | 1983 | | | | | |
| $V_{85\%}$ | $V_{15\%}$ | | ΔV | ΔV | $V_{85\%}$ | $V_{15\%}$ | | $V_{85\%}$ | $V_{15\%}$ | ΔV | ΔV | $V_{85\%}$ | $V_{15\%}$ | | |
| 1 | Baar – Sihlbrugg | 2.5 % | 82 | 60 | 22 | 27 | 80 | 53 | - 2.6 % | 89 | 63 | 26 | 25 | 80 | 55 |
| 2 | Tenniken – Diegten (HLS) | 2.7 % | 92 | 72 | 20 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 3 | Bremgarten – Wohlen | 3.5 % | 86 | 71 | 15 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 4 | Diegten – Belchen N. (HLS) | 3.7 % | 85 | 63 | 22 | — | — | — | - 3.7 % | 94 | 75 | 19 | — | — | — |
| 5 | Egg – Scheuren (AS) | 4.0 % | 88 | 59 | 29 | 39 | 86 | 47 | - 4.0 % | 92 | 78 | 14 | 33 | 90 | 57 |
| 7 | Ottenbach – Zwillikon | 4.9 % | 78 | 58 | 20 | 27 | 69 | 42 | - 4.9 % | 82 | 65 | 17 | 28 | 78 | 50 |
| 10 | Egerkingen – Belchen S. (HLS) | 5.0 % | 82 | 52 | 30 | — | — | — | - 5.0 % | 102 | 75 | 27 | — | — | — |
| 11 | Trimmbach – Hauenstein | 5.2 % | 64 | 47 | 17 | — | — | — | - 5.2 % | 62 | 41 | 21 | — | — | — |
| 12 | Pfäffikon – Schindellegi (o) | 6.0 % | 69 | 45 | 24 | — | — | — | - 6.0 % | 75 | 55 | 20 | — | — | — |
| 15 | Regensdorf – Zürich | 6.1 % | 68 | 51 | 17 | 27 | 61 | 34 | - 6.1 % | — | — | — | 26 | 82 | 56 |
| 15a | Regensdorf – Zürich | 6.5 % | 67 | 49 | 18 | 30 | 63 | 33 | — | — | — | — | — | — | — |
| 16 | Birmensdorf – Filderen | 6.6 % | 67 | 44 | 23 | 28 | 58 | 30 | - 6.6 % | — | — | — | 18 | 76 | 58 |
| 17 | Pfäffikon – Schindellegi (u) | 7.1 % | 65 | 41 | 24 | — | — | — | - 7.0 % | 72 | 51 | 21 | — | — | — |
| 18 | Umiken – Unterbözberg | 7.8 % | 72 | 43 | 29 | 27 | 54 | 27 | - 7.7 % | 78 | 59 | 19 | 40 | 63 | 23 |
| 19 | Densbüren – Staffelegg | 9.5 % | 55 | 30 | 25 | 25 | 44 | 19 | - 9.5 % | 76 | 52 | 24 | — | — | — |

Tab. 9: Vergleich der Geschwindigkeitsdifferenzen $V_{85\%} - V_{15\%}$ von LW zwischen 1983 [5] und 1999

Bei acht Untersuchungsstrecken, auf welchen im Jahr 1983 [5] ebenfalls Erhebungen durchgeführt worden sind, kann ein direkter Vergleich angestellt werden. Daraus ist ersichtlich, dass sich die Geschwindigkeitsdifferenzen gegenüber 1983 *deutlich verringert* haben und die Geschwindigkeitsverteilungen somit homogener geworden sind. Im Mittel beträgt die Abnahme in den Geschwindigkeitsdifferenzen für die entsprechenden Messstrecken von 1999 in Steigungsrichtung 5.9 km/h (PW 9.8). Die Abnahme ist in etwa halb so gross wie bei den PW's (Einfluss Herabsetzung Tempolimite von 100 auf 80 km/h). In Gefällsrichtung ist die Reduktion um durchschnittlich 12.5 km/h besonders deutlich (PW 4.7).

3.3.1.2. Geschwindigkeitsverteilungen 2002

Die Geschwindigkeitsverteilungen von Lastwagen, die im Zustand „Nachher“ im Jahr 2002 erhoben wurden, sind in den beiden nachfolgenden Abbildungen dargestellt. Wie bereits in 2.1. erwähnt, beschränken sich die Erhebungen von 2002 auf Messstrecken auf HLS oder solche mit grösseren Längsneigungen. Zusätzlich zu den HLS Messstrecken im Bereich des Belchentunnels wurden drei weitere Messstrecken auf Hochleistungsstrassen mit einbezogen (Nordrampe des Gotthards (A2), Nord- und Südrampe des San Bernadino (A13)).

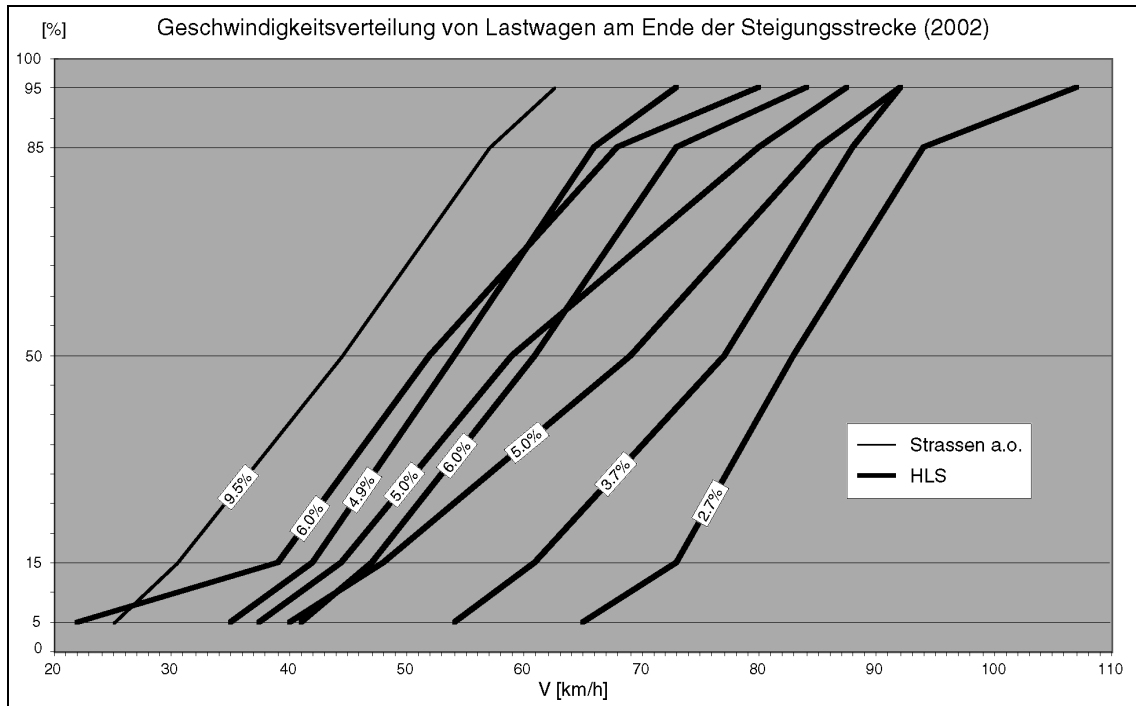


Abb. 12: Geschwindigkeitsverteilung von Lastwagen am Ende der Steigungsstrecken (2002)

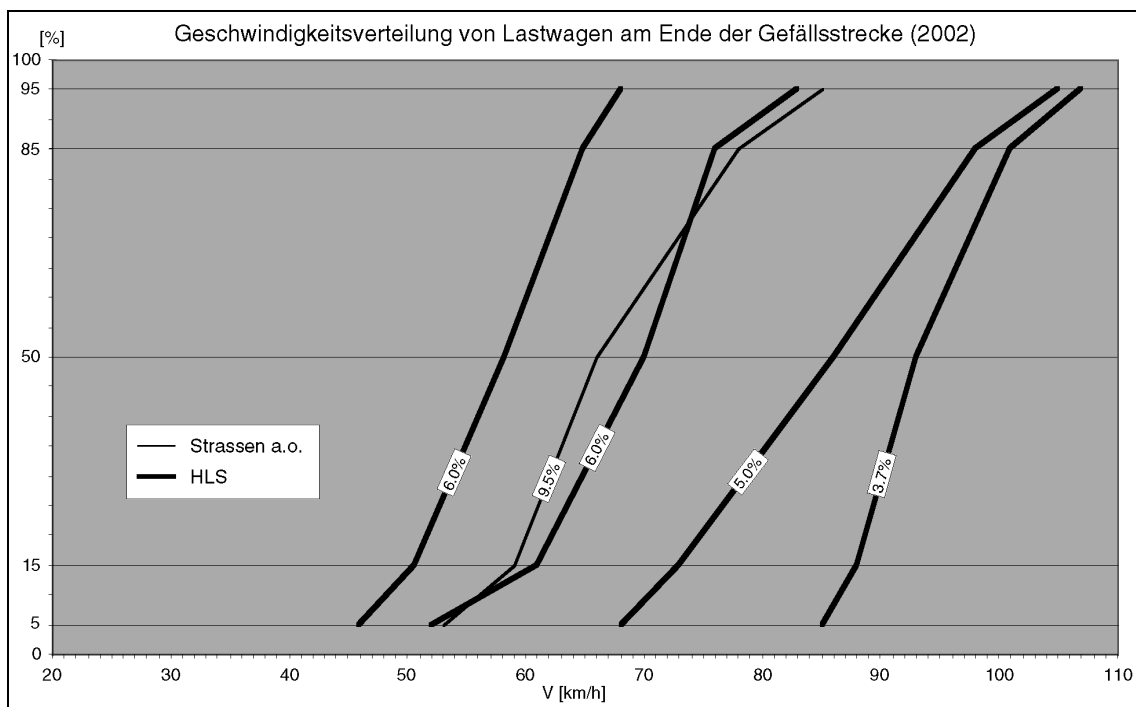


Abb. 13: Geschwindigkeitsverteilung von Lastwagen am Ende der Gefällsstrecken (2002)

Wie bereits bei den Erhebungen aus dem Jahr 1999 festgestellt, lässt sich *auch für den Zustand „Nachher“* ein Zusammenhang hinsichtlich der Beziehung Geschwindigkeit – Längsneigung sowohl für die Steigungs- wie auch für die Gefällsrichtung ablesen. Mit zunehmender Längsneigung nehmen die Geschwindigkeiten ab. In grösseren Längsneigungen ist zudem eine Homogenisierung der Geschwindigkeitsverteilungen festzustellen.

Die Geschwindigkeitsdifferenzen zwischen den schnellen Lastwagen ($V_{85\%}$) und den langsamen Lastwagen ($V_{15\%}$) bewegen sich für die Steigungsrichtung im Bereich von 21 bis 37 km/h und für die Gefällsrichtung von 13 bis 25 km/h (vgl. Tab. 10). Im Mittel liegen die Differenzen bei den 2002 durchgeführten Erhebungen für alle Messstrecken in Steigungsrichtung bei 28.1 km/h, in Gefällsrichtung bei 17.2 km/h.

| Untersuchungsstrecke | | Geschwindigkeitsdifferenzen $V_{85\%} - V_{15\%}$ in km/h | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------|------------------------------|---|------------|------------|------------|------------|------------|--------------------|------------|------------|---------|------------|------------|------------|------------|
| | | in Steigungsrichtung | | | | | | in Gefällsrichtung | | | | | | | |
| | | Neigung | 2002 | | 1999 | | ΔV | ΔV | $V_{85\%}$ | $V_{15\%}$ | Neigung | 2002 | | 1999 | |
| $V_{85\%}$ | $V_{15\%}$ | | ΔV | ΔV | $V_{85\%}$ | $V_{15\%}$ | | | | | | ΔV | ΔV | $V_{85\%}$ | $V_{15\%}$ |
| 2 | Tenniken – Diegten (A2) | 2.7 % | 94 | 73 | 21 | 20 | 92 | 72 | — | — | — | — | — | — | |
| 4 | Diegten – Belchen N. (A2) | 3.7 % | 88 | 61 | 27 | 22 | 85 | 63 | -3.7 % | 101 | 88 | 13 | 19 | 94 | 75 |
| 8 | Amsteg – Wassen (A2) | 4.9 % | 66 | 42 | 24 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | |
| 9 | Wassen – Göschenen (A2) | 5.0 % | 80 | 45 | 35 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | |
| 10 | Egerkingen – Belchen S. (A2) | 5.0 % | 85 | 48 | 37 | 30 | 82 | 52 | -5.0 % | 98 | 73 | 25 | 27 | 102 | 75 |
| 13 | Andeer – Sufers (A13) | 6.0 % | 73 | 47 | 26 | — | — | — | -6.0 % | 76 | 61 | 15 | — | — | — |
| 14 | Mesocco – S. Bernadino (A13) | 6.0 % | 68 | 39 | 29 | — | — | — | -6.0 % | 65 | 51 | 14 | — | — | — |
| 19 | Densbüren – Staffelegg | 9.5 % | 57 | 31 | 26 | 25 | 55 | 30 | -9.5 % | 78 | 59 | 19 | 24 | 76 | 52 |

Tab. 10: Vergleich der Geschwindigkeitsdifferenzen $V_{85\%} - V_{15\%}$ von LW zwischen 1999 und 2002

Für vier *Untersuchungsstrecken* lässt sich in Steigungsrichtung ein direkter Vergleich zwischen den Zuständen „Vorher“ und „Nachher“ anstellen. Während für die Gefällsrichtung (drei Strecken) im Vergleich zu 1999 eine weitere Abnahme der Differenzen festgestellt werden kann, verzeichnen die Steigungsstrecken wieder eine Zunahme. Im Mittel beträgt die Abnahme in Gefällsrichtung 4.3 km/h, was auf eine nochmals ausgeprägtere Homogenisierung hinweist, als dies bereits beim Vergleich der Erhebungen von 1999 und 1983 [5] der Fall war. Für die Steigungsrichtung hingegen, wo im Mittel eine Zunahme von 3.5 km/h zu verzeichnen ist, zeigt der Trend in die umgekehrte Richtung.

3.3.2. Geschwindigkeitswerte

3.3.2.1. Mittlere Geschwindigkeiten V_M 1999

In Tabelle 11 sind die mittleren Geschwindigkeiten und ihre Standardabweichungen im jeweils letzten Querschnitt der Neigungsstrecke für den Zustand „Vorher“ dargestellt. Sowohl in Steigungs- wie auch in Gefällsrichtung ist eine deutliche Abhängigkeit zwischen Geschwindigkeit und Längsneigung vorhanden. Mit zunehmender Längsneigung werden die mittleren Geschwindigkeiten tendenziell kleiner. In Gefällsrichtung tritt die Reduktion erst ab $i > -5\%$ ein. Über alle Untersuchungsstrecken gemittelt liegt die V_M für die Gruppe der Lastwagen in Steigungen bei 63.8 km/h, in Gefällen bei 72.1 km/h. Die Standardabweichung der mittleren Geschwindigkeiten beträgt im Durchschnitt in Steigungsrichtung 11.4 km/h, in Gefällsrichtung 9.9 km/h.

| Untersuchungsstrecke | | Mittlere Geschwindigkeiten V_M und Standardabweichung s in km/h | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------|-------------------------------|---|-------|------|--------------|------------|----------------------------|--------------------|---------|-------|------|--------------|------------|----------------------------|------|
| | | in Steigungsrichtung | | | | | | in Gefällsrichtung | | | | | | | |
| | | Neigung | 1999 | | 1983 | | Veränderung gegenüber 1983 | | Neigung | 1999 | | 1983 | | Veränderung gegenüber 1983 | |
| V_M | s | | V_M | s | ΔV_M | Δs | V_M | s | | V_M | s | ΔV_M | Δs | | |
| 1 | Baar – Sihlbrugg | 2.5 % | 70.3 | 10.2 | 66.0 | 14.5 | +4.3 | -4.3 | -2.6 % | 77.2 | 11.7 | 67.6 | 12.3 | +9.6 | -0.6 |
| 2 | Tenniken – Diegten (HLS) | 2.7 % | 83.5 | 11.2 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 3 | Bremgarten – Wohlen | 3.5 % | 77.9 | 8.4 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 4 | Diegten – Belchen N. (HLS) | 3.7 % | 75.9 | 10.2 | — | — | — | — | -3.7 % | 85.8 | 8.8 | — | — | — | — |
| 5 | Egg – Scheuren (AS) | 4.0 % | 74.4 | 12.7 | 68.3 | 16.6 | +6.1 | -3.9 | -4.0 % | 86.1 | 7.5 | 76.0 | 15.8 | +10.1 | -8.3 |
| 7 | Ottenbach – Zwillikon | 4.9 % | 67.2 | 9.1 | 55.5 | 11.6 | +11.7 | -2.5 | -4.9 % | 73.1 | 8.7 | 66.6 | 14.5 | +6.5 | -5.8 |
| 10 | Egerkingen – Belchen S. (HLS) | 5.0 % | 66.7 | 12.5 | — | — | — | — | -5.0 % | 87.5 | 12.6 | — | — | — | — |
| 11 | Trimbach – Hauenstein | 5.2 % | 56.0 | 9.4 | — | — | — | — | -5.2 % | 54.8 | 10.1 | — | — | — | — |
| 12 | Pfäffikon – Schindellegi (o) | 6.0 % | 57.8 | 10.1 | — | — | — | — | -6.0 % | 64.3 | 7.5 | — | — | — | — |
| 15 | Regensdorf – Zürich | 6.1 % | 58.9 | 8.8 | 49.2 | 13.2 | +9.7 | -4.4 | -6.1 % | — | — | 67.1 | 15.8 | — | — |
| 15a | Regensdorf – Zürich | 6.5 % | 57.6 | 8.5 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 16 | Birmensdorf – Filderen | 6.6 % | 56.1 | 11.2 | 45.3 | 13.2 | +10.8 | -2.0 | -6.6 % | — | — | 66.4 | 11.1 | — | — |
| 17 | Pfäffikon – Schindellegi (u) | 7.1 % | 53.3 | 11.7 | — | — | — | — | -7.0 % | 62.9 | 8.7 | — | — | — | — |
| 18 | Umiken – Unterbözberg | 7.8 % | 58.2 | 12.1 | 41.5 | 12.8 | +16.7 | -0.7 | -7.7 % | 67.3 | 10.0 | 39.5 | 19.4 | +27.8 | -9.4 |
| 19 | Densbüren – Staffelegg | 9.5 % | 42.6 | 12.0 | 31.4 | 13.1 | +11.2 | -1.1 | -9.5 % | 62.4 | 13.5 | — | — | — | — |

Tab. 11: Vergleich der mittleren Geschwindigkeiten und Standardabweichungen von Lastwagen zwischen 1983 [5] und 1999

Für sieben Untersuchungsstrecken, auf welchen 1983 [5] gemessen wurde, kann wiederum ein direkter Vergleich angestellt werden. Auf sämtlichen Messstrecken konnte eine *deutliche Zunahme der mittleren Geschwindigkeiten* bei gleichzeitig reduzierter Standardabweichung beobachtet werden. Es kann somit von einem homogeneren Verkehrsablauf für die Gruppe der Lastwagen gegenüber 1983 gesprochen werden. Die Zunahmen bei den mittleren Geschwindigkeiten liegen im Bereich von +4.3 bis +16.7 km/h in Steigungsrichtung, bzw. von +6.5 bis +27.8 km/h in Gefällsrichtung.

Mit zunehmender Längsneigung ist zudem eine Zunahme bei den Geschwindigkeitsunterschieden (ΔV_M) feststellbar; für die Standardabweichungen trifft dies nicht zu. Im Mittel beträgt die Zunahme gegenüber 1983 in Steigungsrichtung 10.1 km/h, in Gefällsrichtung liegt sie mit 13.5 km/h noch deutlich höher.

Die durchschnittliche Veränderung der Standardabweichungen beträgt für die Steigungsrichtung -2.7 km/h, für die Gefällsrichtung -6.0 km/h.

3.3.2.2. Mittlere Geschwindigkeiten V_M 2002

In Tabelle 12 sind die mittleren Geschwindigkeiten und ihre Standardabweichungen der Erhebungen im Zustand „Nachher“ abgebildet. Wie bereits für die Messergebnisse aus dem Jahr 1999 festgestellt wurde, zeigt sich auch bei den Erhebungen aus dem Jahr 2002 *eine deutliche Abhängigkeit zwischen Geschwindigkeit und Längsneigung in Steigungs- wie auch in Gefällsstrecken*. Über alle Untersuchungsstrecken gemittelt liegt die V_M für die Gruppe der Lastwagen in Steigungen bei 62.6 km/h, in Gefällen bei 74.8 km/h. Die Standardabweichung der mittleren Geschwindigkeiten beträgt im Durchschnitt in Steigungsrichtung 13.6 km/h, in Gefällsrichtung 8.9 km/h.

| Untersuchungsstrecke | | Mittlere Geschwindigkeiten V_M und Standardabweichung s in km/h | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------|------------------------------|---|-------|------|--------------|------------|----------------------------|-------|---------|--------------------|------|--------------|------------|----------------------------|-------|---|
| | | in Steigungsrichtung | | | | | | | | in Gefällsrichtung | | | | | | |
| | | Neigung | 2002 | | 1999 | | Veränderung gegenüber 1999 | | Neigung | 2002 | | 1999 | | Veränderung gegenüber 1999 | | |
| V_M | s | | V_M | s | ΔV_M | Δs | V_M | s | | V_M | s | ΔV_M | Δs | | | |
| 2 | Tenniken – Diegten (A2) | 2.7 % | 83.4 | 11.7 | 83.5 | 11.2 | - 0.1 | + 0.5 | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 4 | Diegten – Belchen Nord (A2) | 3.7 % | 75.2 | 11.9 | 75.9 | 10.2 | - 0.7 | + 1.7 | - 3.7 % | 94.3 | 7.8 | 85.8 | 8.8 | + 8.5 | - 1.0 | — |
| 8 | Amsteg – Wassen (A2) | 4.9 % | 53.7 | 11.5 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 9 | Wassen – Göschenen (A2) | 5.0 % | 61.8 | 15.9 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 10 | Egerkingen – Belchen S.(A2) | 5.0 % | 67.4 | 16.4 | 66.7 | 12.5 | + 0.7 | + 3.9 | - 5.0 % | 85.6 | 11.7 | 87.5 | 12.6 | - 1.9 | - 0.9 | — |
| 13 | Andeer – Sufers (A13) | 6.0 % | 60.8 | 12.2 | — | — | — | — | - 6.0 % | 68.9 | 8.5 | — | — | — | — | — |
| 14 | Mesocco – S. Bernadino (A13) | 6.0 % | 54.2 | 17.0 | — | — | — | — | - 6.0 % | 57.4 | 7.1 | — | — | — | — | — |
| 19 | Densbüren – Staffelegg | 9.5 % | 44.3 | 12.1 | 42.6 | 12.0 | + 1.7 | + 0.1 | - 9.5 % | 67.6 | 9.5 | 62.4 | 13.5 | + 5.2 | - 4.0 | — |

Tab. 12: Vergleich der mittleren Geschwindigkeiten und Standardabweichungen von Lastwagen zwischen 1999 und 2002

Für vier Untersuchungsstrecken lässt sich ein direkter Vergleich zwischen den Zuständen „Vorher“ und „Nachher“ anstellen. Demnach haben sich die V_M auf Steigungsstrecken *praktisch nicht verändert*. Die Unterschiede im Vorher-/Nachher-Vergleich liegen in einem Bereich zwischen -0.7 und $+1.7$ km/h. Für die Gefällsrichtung hingegen konnten Veränderungen zwischen -1.9 und $+8.5$ km/h festgestellt werden, was tendenziell auf eine weitere Zunahme der Geschwindigkeiten in Gefällen hindeutet.

Während für die Steigungsrichtung wieder eine Zunahme in der Streuung (Standardabweichung s) der Geschwindigkeiten von im Mittel 1.6 km/h zu beobachten ist, nahm die Streuung in Gefällsstrecken im Mittel um weitere 1.9 km/h ab.

3.3.2.3. $V_{15\%}$ -Geschwindigkeiten 1999

In Tabelle 13 sind die $V_{15\%}$ -Geschwindigkeiten aus den Erhebungen im jeweils letzten Querschnitt der Neigungsstrecke dargestellt. Gemäss [5] wird dieser Geschwindigkeitswert zur Beschreibung der Geschwindigkeitsverläufe eines Kollektivs verwendet. Die Festlegung dieser Grösse entspricht der üblichen Tendenz, bei der Normung ungünstige, jedoch nicht extreme Verhältnisse abzudecken. Die $V_{15\%}$ ist kennzeichnend für die innerhalb des Lastwagenkollektivs langsameren Fahrzeuge. Es wird angenommen, dass diese Geschwindigkeit für beladene Lastwagen repräsentativ ist.

Bei den $V_{15\%}$ kann für die Steigungsrichtung (wie schon bei den V_M) eine Neigungsabhängigkeit festgestellt werden. Für die Gefällsrichtung tritt eine Reduktion der $V_{15\%}$ erst bei Längsneigungen grösser als -5% ein. Die durchschnittliche $V_{15\%}$ Geschwindigkeit beträgt in Steigungsrichtung 52.3 km/h, in der Gefällsrichtung liegt sie bei 61.4 km/h.

| Untersuchungsstrecke | | $V_{15\%}$ -Geschwindigkeiten in km/h | | | | | | | |
|----------------------|------------------------------|---------------------------------------|------|------|-------------|--------------------|------|------|-------------|
| | | in Steigungsrichtung | | | | in Gefällsrichtung | | | |
| | | Neigung | 1999 | 1983 | ΔV | Neigung | 1999 | 1983 | ΔV |
| 1 | Baar – Sihlbrugg | 2.5 % | 60 | 53 | + 7 | - 2.6 % | 63 | 55 | + 8 |
| 2 | Tenniken – Diegten (HLS) | 2.7 % | 72 | — | — | — | — | — | — |
| 3 | Bremgarten – Wohlen | 3.5 % | 71 | — | — | — | — | — | — |
| 4 | Diegten–Belchen Nord (HLS) | 3.7 % | 63 | — | — | - 3.7 % | 75 | — | — |
| 5 | Egg – Scheuren (AS) | 4.0 % | 59 | 47 | + 12 | - 4.0 % | 78 | 57 | + 21 |
| 7 | Ottenbach – Zwillikon | 4.9 % | 58 | 42 | +16 | - 4.9 % | 65 | 50 | +15 |
| 10 | Egerkingen – Belchen S.(HLS) | 5.0 % | 52 | — | — | - 5.0 % | 75 | — | — |
| 11 | Trimbach – Hauenstein | 5.2 % | 47 | — | — | - 5.2 % | 41 | — | — |
| 12 | Pfäffikon – Schindellegi (o) | 6.0 % | 45 | — | — | - 6.0 % | 55 | — | — |
| 15 | Regensdorf – Zürich | 6.1 % | 51 | 34 | +17 | - 6.1 % | — | 56 | — |
| 15a | Regensdorf – Zürich | 6.5 % | 49 | 33 | +16 | — | — | — | — |
| 16 | Birmensdorf – Filderen | 6.6 % | 44 | 30 | +13 | - 6.6 % | — | 58 | — |
| 17 | Pfäffikon – Schindellegi (u) | 7.1 % | 41 | — | — | - 7.0 % | 51 | — | — |
| 18 | Umiken – Unterbözberg | 7.8 % | 43 | 27 | +16 | - 7.7 % | 59 | 23 | + 36 |
| 19 | Densbüren – Staffelegg | 9.5 % | 30 | 19 | +11 | - 9.5 % | 52 | — | — |

Tab. 13: Vergleich der $V_{15\%}$ -Geschwindigkeiten von LW zwischen 1983 [5] und 1999

Vergleicht man die entsprechenden Ergebnisse mit den Erhebungen aus dem Jahre 1983, kann für alle Untersuchungsstrecken eine teilweise *sehr grosse Zunahme der $V_{15\%}$ -Geschwindigkeit* festgestellt werden. Im Mittel beträgt die Zunahme in Steigungsrichtung gegenüber 1983 13.5 km/h, in Gefällsrichtung sogar 20 km/h. Diese Zunahme ist noch um einiges ausgeprägter, als dies bereits für die mittleren Geschwindigkeiten festgestellt werden konnte.

3.3.2.4. $V_{15\%}$ -Geschwindigkeiten 2002

In Tabelle 14 sind die $V_{15\%}$ -Geschwindigkeiten aus den Erhebungen im Zustand „Nachher“ abgebildet. Wie bereits für die Ergebnisse von 1999 festgestellt wurde, zeigen auch die Erhebungen von 2002 eine Neigungsabhängigkeit. Die durchschnittlichen $V_{15\%}$ -Geschwindigkeiten betragen in Steigungsrichtung 48.3 km/h, in Gefällsrichtung 66.4 km/h.

| Untersuchungsstrecke | | $V_{15\%}$ -Geschwindigkeiten in km/h | | | | | | | |
|----------------------|------------------------------|---------------------------------------|------|------|------------|--------------------|------|------|-------------|
| | | in Steigungsrichtung | | | | in Gefällsrichtung | | | |
| | | Neigung | 2002 | 1999 | ΔV | Neigung | 2002 | 1999 | ΔV |
| 2 | Tenniken – Diegten (A2) | 2.7 % | 73 | 72 | + 1 | — | — | — | — |
| 4 | Diegten – Belchen Nord (A2) | 3.7 % | 61 | 63 | - 2 | - 3.7 % | 88 | 75 | + 13 |
| 8 | Amsteg – Wassen (A2) | 4.9 % | 42 | — | — | — | — | — | — |
| 9 | Wassen – Göschenen (A2) | 5.0 % | 45 | — | — | — | — | — | — |
| 10 | Egerkingen – Belchen S.(A2) | 5.0 % | 48 | 52 | - 4 | - 5.0 % | 73 | 75 | - 2 |
| 13 | Andeer – Sufers (A13) | 6.0 % | 47 | — | — | - 6.0 % | 61 | — | — |
| 14 | Mesocco – S. Bernadino (A13) | 6.0 % | 39 | — | — | - 6.0 % | 51 | — | — |
| 19 | Densbüren – Staffelegg | 9.5 % | 31 | 30 | + 1 | - 9.5 % | 59 | 52 | + 7 |

Tab. 14: Vergleich der $V_{15\%}$ -Geschwindigkeiten von LW zwischen 1999 und 2002

Im Vergleich zu den Erhebungen von 1999 bietet sich ein ähnliches Bild wie bereits der Vorher-/Nachher-Vergleich der mittleren Geschwindigkeiten in 3.3.2.2 gezeigt hat. Während auf Steigungsstrecken die $V_{15\%}$ -Geschwindigkeiten teilweise nur wenig tiefer liegen, können auf Gefällsstrecken zum Teil erhebliche Zunahmen festgestellt werden.

3.3.3. Geschwindigkeiten längs der Neigungsstrecke

3.3.3.1. Verlauf der $V_{15\%}$ -Geschwindigkeiten 1999

Die Geschwindigkeitsverläufe für die einzelnen Untersuchungsstrecken sind für die Geschwindigkeitswerte V_x im Anhang 1 dargestellt. Für einen Vergleich aller Untersuchungsstrecken wurden schematisierte Geschwindigkeitsverläufe der $V_{15\%}$ -Werte verwendet. Die Geschwindigkeitsverläufe sind in Abbildung 14 dargestellt. Die Knickpunkte der Linien markieren die Lage der Messquerschnitte.

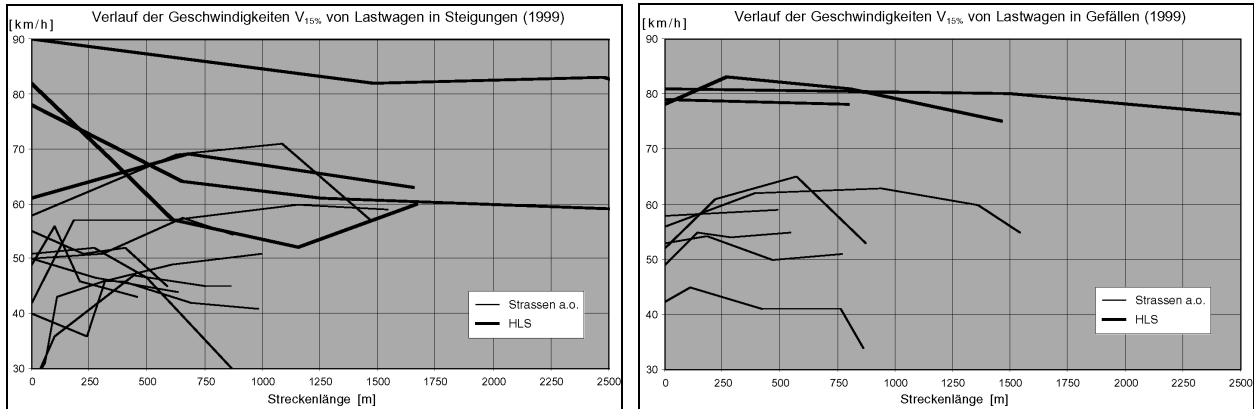


Abb. 14: Schematische Geschwindigkeitsverläufe in den Untersuchungsstrecken für $V_{15\%}$ (1999)

In *Steigungen* kann generell eine Verzögerung auf Autobahnen und Autostrassen (HLS) festgestellt werden, während auf den übrigen Messstrecken teilweise auch in der Steigung noch beschleunigt wird. Dies hängt vor allem mit den unterschiedlichen Linienführungen und Längsneigungen auf den einzelnen Strecken vor dem Bereich mit der massgebenden Längsneigung zusammen⁸. Zudem ist das anfängliche Geschwindigkeitsniveau auf Hochleistungsstrassen grösser als auf den übrigen Strecken.

In *Gefällen* wird zu Beginn der Messstrecke mehrheitlich beschleunigt, während anschliessend im Bereich der massgebenden Längsneigung eine Verzögerung stattfindet. Auch hier kann das unterschiedliche Geschwindigkeitsniveau zwischen den beiden Strassenkategorien beobachtet werden.

Generell sind die Gegebenheiten im Zufahrtsbereich der Messstrecken, sowie die Längsneigungsverhältnisse im Anschluss daran, bevor der Bereich mit der massgebenden Längsneigung erreicht wird, zu unterschiedlich, als dass für die einzelnen Untersuchungsstrecken auf diese Art Aussagen gemacht werden können.

3.3.3.2. Verlauf der $V_{15\%}$ -Geschwindigkeiten 2002

Für die Erhebungen im Zustand „Nachher“ wurden ebenfalls schematische Geschwindigkeitsverläufe konstruiert (Abbildung 15). Die Verläufe zeigen deutlich die ausgeprägten Verzögerungsvorgänge der „schweren“ Lastwagen entlang von Steigungstrecken auf Autobahnen.

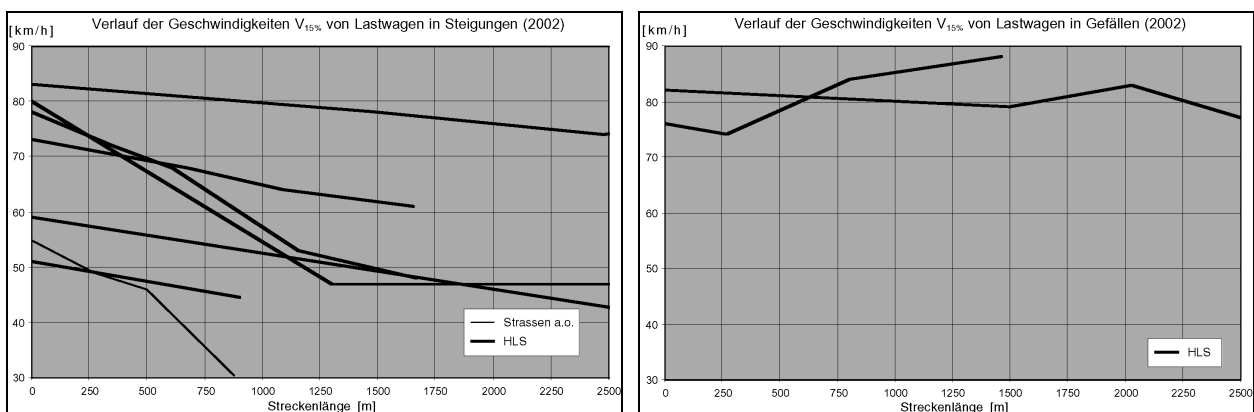


Abb. 15: Schematische Geschwindigkeitsverläufe in den Untersuchungsstrecken für $V_{15\%}$ (2002)

⁸ An einigen Steigungstrecken wurden Anfahrvorgänge gemessen.

3.3.3.3. Längsverzögerungen und -beschleunigungen 1999

Analog zu Kapitel 3.2.3.2., wo die Längsverzögerungen und -beschleunigungen für die Gruppe der Personenwagen berechnet wurden, wird in diesem Abschnitt auf die Gruppe der Lastwagen eingegangen. Für die Berechnungen wurden die $V_{15\%}$ -Werte im jeweils letzten und vorletzten Messquerschnitt (Abschnitt mit der massgebenden Längsneigung) in Fahrtrichtung verwendet.

| Untersuchungsstrecke | | Längsverzögerungen und -beschleunigungen in m/s^2 (1999) | | | | | | | | | |
|----------------------|------------------------------|--|-----------|-------|-------|--------------|--------------------|-----------|-------|-------|--------------|
| | | in Steigungsrichtung | | | | | in Gefällsrichtung | | | | |
| | | Neigung | v_{n-1} | v_n | L [m] | a_v | Neigung | v_{n-1} | v_n | L [m] | a_v |
| 1 | Baar – Sihlbrugg | 2.5 % | 57 | 60 | 550 | 0.03 | - 2.6 % | 62 | 63 | 550 | 0.01 |
| 2 | Tenniken – Diegten (HLS) | 2.7 % | 83 | 72 | 911 | -0.07 | — | — | — | — | — |
| 3 | Bremgarten – Wohlen | 3.5 % | 69 | 71 | 455 | 0.02 | — | — | — | — | — |
| 4 | Diegten–Belchen Nord (HLS) | 3.7 % | 69 | 63 | 977 | -0.03 | - 3.7 % | 81 | 75 | 660 | -0.06 |
| 5 | Egg – Scheuren (AS) | 4.0 % | 61 | 59 | 1547 | -0.01 | - 4.0 % | 79 | 78 | 800 | 0.01 |
| 7 | Ottenbach – Zwillikon | 4.9 % | 51 | 58 | 350 | 0.08 | - 4.9 % | 61 | 65 | 350 | 0.06 |
| 10 | Egerkingen – Belchen S.(HLS) | 5.0 % | 57 | 52 | 546 | -0.04 | - 5.0 % | 80 | 75 | 1332 | -0.02 |
| 11 | Trimbach – Hauenstein | 5.2 % | 36 | 47 | 340 | 0.10 | - 5.2 % | 45 | 41 | 312 | -0.04 |
| 12 | Pfäffikon – Schindellegi (o) | 6.0 % | 52 | 45 | 186 | -0.14 | - 6.0 % | 54 | 55 | 256 | 0.02 |
| 15 | Regensdorf – Zürich | 6.1 % | 49 | 51 | 385 | 0.02 | — | — | — | — | — |
| 15a | Regensdorf – Zürich | 6.5 % | 46 | 49 | 300 | 0.04 | — | — | — | — | — |
| 16 | Birmensdorf – Filderen | 6.6 % | 47 | 44 | 360 | -0.02 | — | — | — | — | — |
| 17 | Pfäffikon – Schindellegi (u) | 7.1 % | 42 | 41 | 288 | -0.01 | - 7.0 % | 50 | 51 | 300 | 0.01 |
| 18 | Umiken – Unterbözberg | 7.8 % | 46 | 43 | 250 | -0.04 | - 7.7 % | 58 | 59 | 488 | 0.01 |
| 19 | Densbüren – Staffelegg | 9.5 % | 47 | 30 | 380 | -0.13 | - 9.5 % | * | 52 | — | — |

* nur 1 Messquerschnitt in Gefällsrichtung

Tab. 15: Theoretische Verzögerungs- und Beschleunigungswerte von Lastwagen (1999)

Aus Tabelle 15 ist ersichtlich, dass die Beschleunigungen auch für die Gruppe der Lastwagen stark unterschiedlich sind. So wird auf einzelnen Steigungsstrecken teilweise noch beschleunigt (+), auf anderen hingegen verzögert (-). Dasselbe gilt auch für die Gefällsrichtung. Die Beschleunigungs- bzw. Verzögerungswerte sind ähnlich wie bei den Personenwagen jedoch sehr gering. Eine Ausnahme bilden die Messstrecken auf HLS, wo generell nur Verzögerungen feststellbar sind.

3.3.3.4. Längsverzögerungen und -beschleunigungen 2002

Tabelle 16 zeigt die Berechnungsergebnisse für den Zustand „Nachher“. Auf den Steigungsstrecken können generell nur Verzögerungen festgestellt werden, welche jedoch wiederum nur von geringem Ausmass sind. Auf Gefällsstrecken wird teilweise auch beschleunigt.

| Untersuchungsstrecke | | Längsverzögerungen und -beschleunigungen in m/s^2 (2002) | | | | | | | | | |
|----------------------|------------------------------|--|-----------|-------|-------|---------------|--------------------|-----------|-------|-------|---------------|
| | | in Steigungsrichtung | | | | | in Gefällsrichtung | | | | |
| | | Neigung | v_{n-1} | v_n | L [m] | a_v | Neigung | v_{n-1} | v_n | L [m] | a_v |
| 2 | Tenniken – Diegten (A2) | 2.7 % | 74 | 73 | 911 | - 0.01 | — | — | — | — | — |
| 4 | Diegten – Belchen Nord (A2) | 3.7 % | 64 | 61 | 570 | - 0.03 | - 3.7% | 84 | 88 | 660 | 0.04 |
| 8 | Amsteg – Wassen (A2) | 4.9 % | 59 | 42 | 2625 | - 0.03 | — | — | — | — | — |
| 9 | Wassen – Göschenen (A2) | 5.0 % | 51 | 45 | 900 | - 0.03 | — | — | — | — | — |
| 10 | Egerkingen – Belchen S.(A2) | 5.0 % | 68 | 48 | 1061 | - 0.08 | - 5.0 % | 79 | 73 | 1332 | - 0.03 |
| 13 | Andeer – Sufers (A13) | 6.0 % | 47 | 47 | 1840 | 0.00 | - 6.0 % | * | 61 | — | — |
| 14 | Mesocco – S. Bernadino (A13) | 6.0 % | * | 39 | — | — | - 6.0 % | * | 51 | — | — |
| 19 | Densbüren – Staffelegg | 9.5 % | 46 | 31 | 380 | - 0.12 | - 9.5 % | * | 59 | — | — |

* nur 1 Messquerschnitt

Tab. 16: Theoretische Verzögerungs- und Beschleunigungswerte von Lastwagen (2002)

3.3.4. Geschwindigkeitsveränderungen bei den schweren Lastwagen

In diesem Abschnitt wird die in 1.3. unter der zweiten Gruppe der Forschungsziele angesprochene Vermutung analysiert, wonach die Geschwindigkeitsabnahmen im Zustand „Nachher“ vorwiegend durch „schwere“ Lastwagen (SLW) mit einem Gesamtgewicht in der Nähe der neuen Gewichtslimite bedingt sind.

Zu diesem Zweck wurde für vier ausgewählten HLS-Messtrecken⁹ auf der Nord-Süd-Achse eine Zusatzauswertung für die Gruppe der Lastenzüge und Sattelschlepper (SLW) durchgeführt. Es wird angenommen, dass diese Lastwagengruppe die erhöhte Gewichtslimite auszunützen vermag. In Tabelle 17 sind die interessierenden $V_{15\%}$ -Geschwindigkeiten von LW und SLW in den Zuständen „Vorher“ und „Nachher“ einander gegenübergestellt. Dabei ist zu beachten, dass in der Gruppe „alle Lastwagen“ auch die Lastenzüge und Sattelschlepper enthalten sind.

Die Gegenüberstellung der $V_{15\%}$ -Geschwindigkeiten der SLW zeigt, dass die Geschwindigkeitsabnahmen im Zustand „Nachher“ *noch ausgeprägter* sind, als dies bereits für die Gruppe „alle LW“ festgestellt wurde (vgl. in 3.3.2.4.). Die Abnahmen liegen für die beiden vergleichbaren Messstrecken im Bereich von ungefähr 7 bis 8 km/h, während sie für die Gruppe „alle LW“ ca. 2 bis 4 km/h betragen.

Vergleicht man die SLW mit der Gruppe „alle LW“ im Zustand „Vorher“ (1999), fällt auf, dass die $V_{15\%}$ -Geschwindigkeiten der SLW teilweise *deutlich* (bis +10 km/h) über den Geschwindigkeiten aller LW liegen. Das deutet darauf hin, dass die SLW generell stärker motorisiert sind als „gewöhnliche“ LW. Im Zustand „Nachher“ (2002) sind die Geschwindigkeitsunterschiede nicht mehr so ausgeprägt bzw. teilweise gar nicht mehr vorhanden, was darauf schliessen lässt, dass die Beladung der SLW zugenommen hat. Dabei muss beachtet werden, dass die Messungen auf der Strecke Egerkingen – Belchen Süd (Richtung Grenze) an einem Freitag Nachmittag stattfanden. Die deutlichen Unterschiede sind vermutlich auf einen erhöhten Anteil an Leerfahrten und damit auf eine „Übermotorisierung“ zurückzuführen.

Abschliessend lässt sich festhalten, dass die Geschwindigkeiten von Lastenzügen und Sattelschleppern mit der neuen Gewichtslimite von 40t in etwa auf dem Niveau der Gruppe „alle LW“ liegen und sich die *Befürchtungen* von untermotorisierten und damit behindernden schweren LW zumindest auf der Nord-Süd Achse *nicht bestätigt* haben.

| Untersuchungsstrecke | | Gegenüberstellung der $V_{15\%}$ von Lastenzügen und allen Lastwagen | | | | | | | | |
|----------------------|-----------------------------|--|------------------------------------|------|-------------------|---------------------------------------|------|-------------------|--|--------|
| | | Neigung | Lastenzüge ($L > 12.5\text{ m}$) | | | alle Lastwagen ($L > 6.5\text{ m}$) | | | Vergleich SLW ↔ LW $V_{15\% \text{ SLW}} - V_{15\% \text{ LW}}$ | |
| | | | 2002 | 1999 | $\Delta V_{15\%}$ | 2002 | 1999 | $\Delta V_{15\%}$ | 2002 | 1999 |
| 4 | Diegten – Belchen Nord (A2) | 3.7 % | 60.8 | 67.6 | - 6.8 | 61.0 | 63.0 | - 2.0 | - 0.2 | + 4.6 |
| 8 | Amsteg – Wassen (A2) | 4.9 % | 45.2 | — | — | 42.0 | — | — | + 3.2 | — |
| 9 | Wassen – Göschenen (A2) | 5.0 % | 44.1 | — | — | 44.5 | — | — | - 0.4 | — |
| 10 | Egerkingen – Belchen S.(A2) | 5.0 % | 54.9 | 62.7 | - 7.8 | 48.0 | 52.0 | - 4.0 | + 6.9 | + 10.7 |

Tab. 17: Vergleich der $V_{15\%}$ -Geschwindigkeiten von SLW und LW zwischen 1999 und 2002

⁹ Betrachtet wurden nur Steigungsstrecken mit grösseren Längsneigungen.

4. ZUSAMMENHÄNGE UND VERGLEICHE

4.1. Personenwagen

Für die Gruppe der Personenwagen werden nur Ergebnisse der Erhebungen von 1999 analysiert. Auf die Messungen aus dem Jahr 2002 wird nicht eingegangen, da im Rahmen der „Nachher“ Erhebungen nur auf einer Strecke mit Gegenverkehr (Tempolimit 80 km/h) zu Kontrollzwecken gemessen wurde und gemäss 3.2.4. keine Veränderungen bei den Geschwindigkeiten von Personenwagen festgestellt werden konnten.

4.1.1. Geschwindigkeit und Längsneigung

Wie in 1.1. ausgeführt, basiert das Geschwindigkeitsmodell in den bestehenden VSS-Normen auf physikalischen Berechnungen. Die tatsächlich gefahrenen Geschwindigkeiten dienen für dieses Modell als Vergleichsgrösse. In Bezug auf die Veränderungen des Geschwindigkeitsverhaltens der Personenwagen zwischen 1978 und 1999 kommt deshalb dem *Zusammenhang zwischen Längsneigung und Geschwindigkeit* eine wichtige Bedeutung zu. Bei genügend langen und gestreckten Neigungsstrecken kann davon ausgegangen werden, dass die Geschwindigkeit primär durch die Grösse der Längsneigung beeinflusst wird.

Dieser Zusammenhang wurde mit Hilfe von Regressionsberechnungen untersucht. Hierzu werden die $V_{85\%}$ -Werte im jeweils letzten Messquerschnitt in Fahrtrichtung verwendet. In Anlehnung an die bisherige Konvention gemäss [1] und [3] wird die sog. Beharrungs- bzw. Dauergeschwindigkeit V_D von Personenwagen durch die $V_{85\%}$ -Werte charakterisiert.

In Kapitel 2.6. wurde erwähnt, dass für den Neigungsbereich zwischen 0% und 2.5% keine Messstrecken vorgesehen waren. Um in diesem Neigungsbereich die Stichprobe für die Gruppe der Personenwagen zu erhöhen, wurden die Beobachtungswerte für die Steigungsrichtung um zwei, für die Gefällsrichtung um drei Radarmessstellen ergänzt (vgl. Anhang 2: Beilagen 2.1 – 2.3).

Für weitere Verwendungszwecke (vgl. 9.2.1.) wurden für die Steigungsrichtung auch Regressionsberechnungen unter Verwendung der mittleren Geschwindigkeiten V_m durchgeführt. Die Ergebnisse finden sich in Anhang 3.

4.1.1.1. Regressionsansätze

Zur Überprüfung des Zusammenhangs $V_{85\%} = f(i)$ zwischen der Zufallsvariablen (Geschwindigkeit $V_{85\%}$) und der unabhängigen Variablen (Längsneigung i) wurde in [4] als Ansatz ein quadratisches Polynom verwendet. In der vorliegenden Arbeit wurde zusätzlich noch der lineare Ansatz geprüft. Die beiden Ansätze sind in ihrer allgemeinen Form nachfolgend angegeben.

| | |
|--|--|
| Lineare Funktion: $V_{85\%} = a \cdot i + b$ | mit Koeffizienten a und b ; i in Prozent |
| Quadratisches Polynom (aus [4]): $V_{85\%} = a \cdot i^2 + b \cdot i + c$ | mit Koeffizienten a , b und c ; i in Prozent |

4.1.1.2. Regressionsberechnungen

Die Regressionsberechnungen wurden mit den $V_{85\%}$ -Werten im jeweils letzten Messquerschnitt in Fahrtrichtung durchgeführt, wobei nur genügend lange Neigungsstrecken auf Hauptverkehrsstrassen einbezogen wurden. Die Ergebnisse für die beiden Ansätze sind in Tabelle 18 dargestellt. Für die Beurteilung der Anpassungsgüte an die Beobachtungswerte wird der Korrelationskoeffizient r verwendet. Die in den folgenden Abbildungen dargestellten Regressionsformeln beinhalten auch die Angabe des Bestimmtheitsmasses R^2 . Der Korrelationskoeffizient r berechnet sich aus der Wurzel von R^2 .

| Ansatz | Resultierende Funktion | r |
|-----------------------|---|--------|
| Lineare Funktion | <i>in Steigungsrichtung</i> $V_D = -1.4682 \cdot i + 91.4090$ | 0.8316 |
| | <i>in Gefällsrichtung</i> $V_D = -0.3366 \cdot i + 86.8050$ | 0.2112 |
| Quadratisches Polynom | <i>in Steigungsrichtung</i> $V_D = -0.0225 \cdot i^2 - 1.2619 \cdot i + 91.0920$ | 0.8323 |
| | <i>in Gefällsrichtung</i> $V_D = 0.2444 \cdot i^2 - 2.5573 \cdot i + 89.6331$ | 0.4431 |

Tab. 18: Ergebnisse der Regressionsberechnungen für Personenwagen (1999)

Aus den Regressionsberechnungen geht hervor, dass für die Steigungsrichtung bei beiden Ansätzen ein guter Zusammenhang zwischen Geschwindigkeit und Längsneigung gegeben ist. Der Korrelationskoeffizient liegt im Bereich von 0,8, wobei der quadratische gegenüber dem linearen Ansatz eine leicht bessere Anpassungsgüte ergibt.

Für die Gefällsrichtung lässt sich hingegen kein Zusammenhang feststellen ($r < 0.8$). Dies bestätigt die früheren Erkenntnisse in [4] und in weiteren ausländischen Normen, wonach in Gefällsrichtung praktisch keine Abhängigkeit zwischen Längsneigung und Geschwindigkeit von schnellen Personenwagen ($V_{85\%}$) besteht.

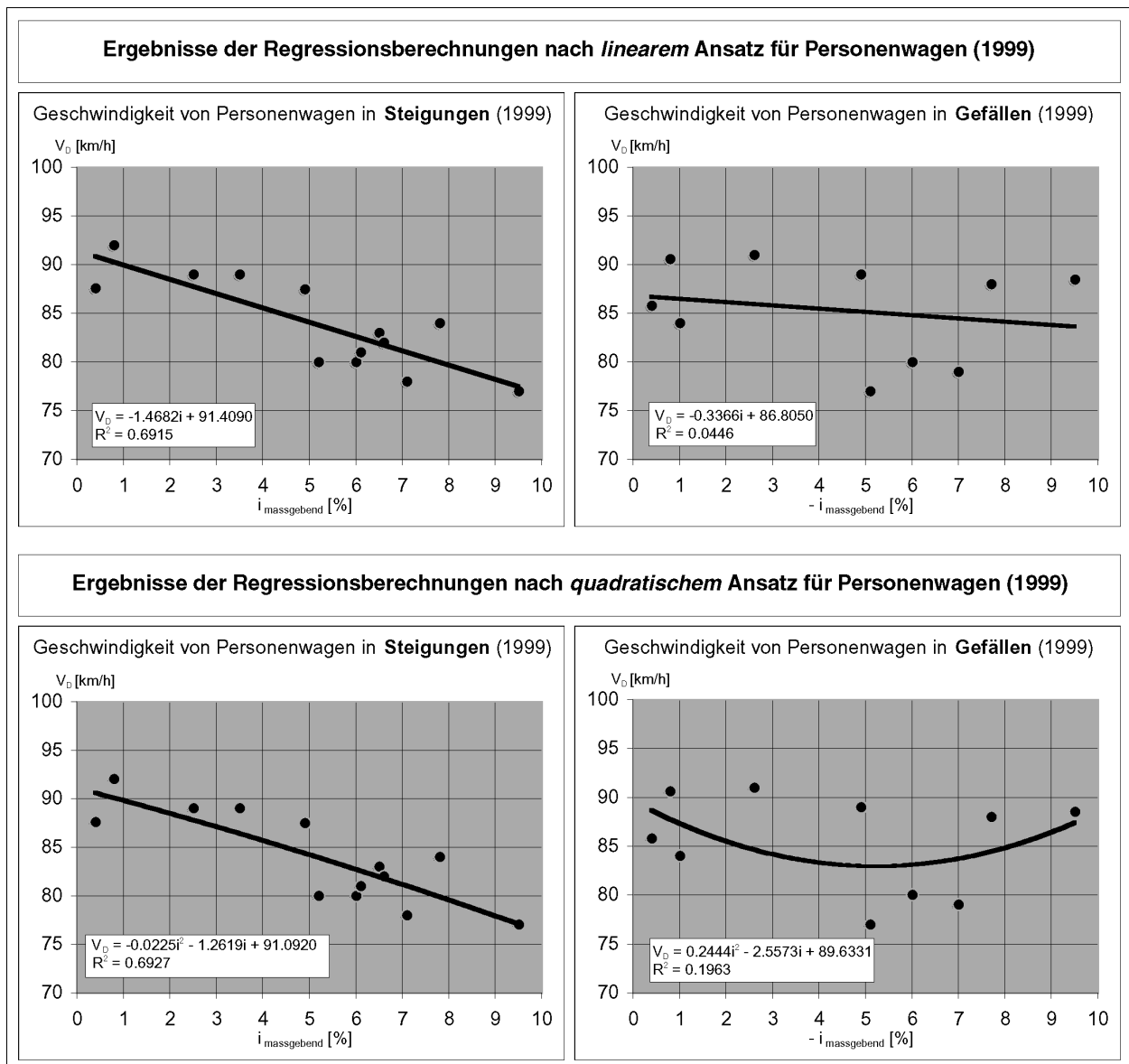


Abb. 16: Zusammenhang zwischen Geschwindigkeit und Längsneigung von Personenwagen (1999) nach linearem Ansatz (oben) und quadratischem Ansatz (unten)

In Abbildung 16 sind die Ergebnisse der Berechnungen für beide Ansätze dargestellt. Für die weiteren Betrachtungen wird für die Geschwindigkeiten von PW *in Steigungsrichtung* der quadratische Ansatz verwendet. Für die Gefällsrichtung ergibt der quadratische Ansatz zwar eine bessere Anpassung (R^2 grösser) als der lineare, doch zeigt die quadratische Regressionskurve keinen sinnvollen Verlauf. Aus diesem Grund wird für die Geschwindigkeiten von PW *in Gefällsrichtung* der lineare Ansatz verwendet.

Die resultierenden Geschwindigkeitswerte für Steigungen sind in Tabelle 19 zusammengestellt. Demnach reduziert sich die Dauergeschwindigkeit V_D von Personenwagen in Steigungen zwischen $i=0.4\%$ und 9.5% nur um ca. 13 km/h. Erst ab einer Längsneigung von $i > 8\%$ wird die zulässige Höchstgeschwindigkeit auf Strassen a.o. von 80 km/h unterschritten.

| i [%] | 0.4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 9.5 |
|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| V_D [km/h] | 90.6 | 89.8 | 88.5 | 87.1 | 85.7 | 84.2 | 82.7 | 81.2 | 79.6 | 77.9 | 77.1 |

Tab. 19: Geschwindigkeitswerte für Personenwagen in Steigungen gemäss Regressionsberechnung nach quadratischem Ansatz

4.1.1.3. Vergleich zwischen 1978 und 1999

In Tabelle 20 und in Abbildung 17 sind die Dauergeschwindigkeiten V_D von Personenwagen auf Basis der $V_{85\%}$ -Werte aus dieser Untersuchung jenen aus dem Jahre 1978 [4] gegenübergestellt. Werte in Klammern liegen ausserhalb des Neigungsbereichs, der durch die Untersuchungsstrecken abgedeckt wird. Aus der Tabelle geht hervor, dass heute die Geschwindigkeiten von Personenwagen in Steigungen bis zu einer Längsneigung von 8% tiefer liegen als 1978. Die Geschwindigkeitsabnahmen betragen bei kleineren Längsneigungen bis zu 8 km/h und nehmen dann im Bereich zwischen 5% und 8% kontinuierlich auf 0 km/h ab. Bei sehr grossen Längsneigungen ergeben sich leichte Geschwindigkeitszunahmen. Diese Unterschiede lassen sich durch die herabgesetzte Geschwindigkeitslimite von damals 100 km/h auf Strassen a.o. auf heute 80 km/h erklären.

| i [%] | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-----------------------|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------|
| V_D 1978 [km/h] [4] | 98.0 | 97.5 | 96.5 | 95.0 | 93.0 | 90.5 | 88.0 | 84.5 | 80.5 | 76.5 | 71.5 |
| V_D 1999 [km/h] | (91.1) | 89.8 | 88.5 | 87.1 | 85.7 | 84.2 | 82.7 | 81.2 | 79.6 | 77.9 | (76.2) |
| ΔV_D [km/h] | (-6.9) | -7.7 | -8.0 | -7.9 | -7.3 | -6.3 | -5.3 | -3.3 | -0.9 | +1.4 | (+4.7) |

Tab. 20: Vergleich der berechneten Geschwindigkeiten V_D für Personenwagen in Steigungen in den Jahren 1978 [4] und 1999

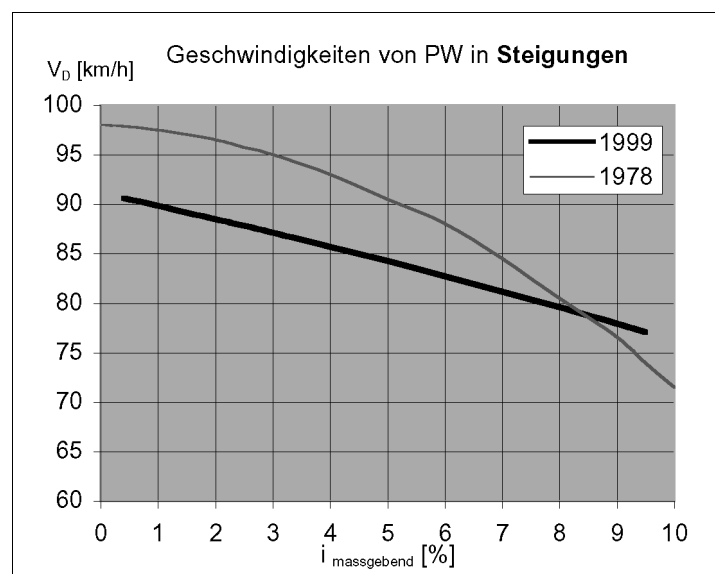


Abb. 17: Vergleich der Dauergeschwindigkeiten von Personenwagen in Steigungen zwischen 1978 und 1999

4.1.2. Geschwindigkeitsveränderungen entlang der Neigungsstrecke

In diesem Abschnitt wird auf die Veränderungen der Geschwindigkeiten entlang der Neigungsstrecken eingegangen. Die Betrachtungen werden auf Basis der mittleren Geschwindigkeiten angestellt, um bei kleineren Längsneigungen den Einfluss der Tempolimits möglichst auszuschliessen. Dabei wird jeweils der erste Querschnitt nach Beginn der Vertikal-Ausrundung (V_B) mit dem letzten (V_E) verglichen, d.h. die Fahrzeuge befinden sich auf der Strecke bereits im Bereich mit der massgebenden Längsneigung. Dadurch reduzieren sich die Einflüsse von örtlichen Tempolimits oder Kurven auf die Geschwindigkeiten unmittelbar vor Beginn der Messstrecke. In Tabelle 21 sind die Veränderungen der Geschwindigkeiten entlang der Neigungsstrecke dargestellt.

| Untersuchungsstrecke | | Geschwindigkeitsveränderungen von Personenwagen (V_M) | | | | | | | | | |
|----------------------|------------------------------|---|-------|-------|-------|------------|--------------------|-------|-------|-------|------------|
| | | in Steigungsrichtung | | | | | in Gefällsrichtung | | | | |
| | | Neigung | V_B | V_E | L [m] | ΔV | Neigung | V_B | V_E | L [m] | ΔV |
| 1 | Baar – Sihlbrugg | 2.5 % | 73.8 | 79.8 | 970 | +6.0 | - 2.6 % | 76.0 | 81.6 | 940 | +5.6 |
| 3 | Bremgarten – Wohlen | 3.5 % | 72.7 | 82.0 | 1083 | +9.3 | — | — | — | — | — |
| 7 | Ottenbach – Zwillikon | 4.9 % | 64.8 | 77.9 | 654 | +13.1 | - 4.9 % | 69.9 | 78.3 | 654 | +8.4 |
| 11 | Trimbach – Hauenstein | 5.2 % | 60.3 | 70.1 | 340 | +9.8 | - 5.2 % | 61.0 | 66.2 | 652 | +5.2 |
| 12 | Pfäffikon – Schindellegi (o) | 6.0 % | 72.6 | 70.4 | 366 | -1.8 | - 6.0 % | 70.6 | 71.2 | 404 | +0.6 |
| 15 | Regensdorf – Zürich | 6.1 % | 74.5 | 71.6 | 685 | -2.9 | — | — | — | — | — |
| 16 | Birmensdorf – Filderer | 6.6 % | 66.6 | 72.3 | 635 | +5.7 | — | — | — | — | — |
| 17 | Pfäffikon – Schindellegi (u) | 7.1 % | 67.7 | 68.8 | 588 | +1.1 | - 7.0 % | 64.6 | 70.7 | 588 | +6.1 |
| 18 | Umiken – Unterbözberg | 7.8 % | 77.7 | 74.2 | 360 | -3.5 | - 7.7 % | 74.5 | 78.7 | 488 | +4.2 |
| 19 | Densbüren – Staffelegg | 9.5 % | 75.6 | 67.4 | 380 | -8.2 | — | — | — | — | — |

Tab. 21: Geschwindigkeitsveränderungen von Personenwagen entlang der Neigungsstrecke

Für die *Gefällsrichtung* können ausschliesslich Geschwindigkeitszunahmen festgestellt werden. Auf gestreckten Gefällsstrecken ist für Personenwagen demzufolge nicht der Einfluss der Längsneigung auf die Geschwindigkeit massgebend, sondern die zulässige Höchstgeschwindigkeit. Diese Erkenntnis konnte bereits in 4.1.1.2. gewonnen werden.

Für die *Steigungsrichtung* muss dagegen differenziert werden. Bis zu einer Längsneigung von ca. 6 bis 7% kann der Einfluss der Längsneigung auf die Geschwindigkeit als unwesentlich angesehen werden. Mit Ausnahme der Messstrecken 12 und 15 können Personenwagen in der Steigung noch beschleunigen. Erst bei Längsneigungen von 8% und mehr nehmen die Geschwindigkeiten im Verlauf der Neigungsstrecke ab.

4.2. Lastwagen

4.2.1. Geschwindigkeit und Längsneigung

Für die Gruppe der Lastwagen wurde der Zusammenhang zwischen Geschwindigkeit und Längsneigung ebenfalls mit Hilfe von Regressionsberechnungen untersucht. Als Berechnungsgrundlage dienten in Anlehnung an die bisherigen Konventionen in [3] die $V_{15\%}$ -Werte im jeweils letzten Messquerschnitt in Fahrtrichtung, wo davon ausgegangen werden kann, dass die sogenannte Dauergeschwindigkeit V_D erreicht ist. Gemäss [5] ist die $V_{15\%}$ kennzeichnend für die innerhalb des Lastwagenkollektivs langsameren Fahrzeuge. Es wird angenommen, dass diese Geschwindigkeit für beladene Lastwagen repräsentativ ist.

Für den Neigungsbereich zwischen 0 und 2.5% waren keine Messstrecken vorgesehen. Die Lücke für diesen Neigungsbereich wurde mit ausgewählten Messquerschnitten im Zufahrtsbereich von HLS-Messstrecken geschlossen¹⁰. Einflüsse örtlicher Tempolimits oder durch die Linienführung können auf den HLS-Messstrecken ausgeschlossen werden.

Die nachfolgende Tabelle zeigt eine Übersicht der für die Berechnungen miteinbezogenen zusätzlichen Messquerschnitte im Zufahrtsbereich.

¹⁰ Dies steht im Gegensatz zu den Berechnungen für PW, bei welchen dieser Neigungsbereich durch Radarmessungen abgedeckt wird, da die HVS-Messquerschnitte im Zufahrtsbereich oft nach örtlichen Tempolimits oder Kurven liegen und somit für die Berechnungen nicht geeignet sind.

| Untersuchungsstrecke | | Messquerschnitte im Zufahrtsbereich zur Ergänzung der Stichprobe | | | | | |
|----------------------|-------------------------------|--|------|------|---------------------------------|------|------|
| | | in Steigungsrichtung | | | in Gefällsrichtung | | |
| | | Längsneigung im Zufahrtsbereich | 1999 | 2002 | Längsneigung im Zufahrtsbereich | 1999 | 2002 |
| 2 | Tenniken – Diegten (A2) | 0,5 % | x | x | — | — | — |
| 4 | Diegten – Belchen Nord (A2) | — | — | — | - 1,5 % | x | x |
| 5 | Egg – Scheuren (Forchstrasse) | 0,5 % | x | — | — | — | — |
| 10 | Egerkingen – Belchen Süd (A2) | 1,5 % | x | x | - 2,5 % | x | x |
| 13 | Andeer – Sufers (A13) | 0,0 % | — | x | — | — | — |

Tab. 22: Zusätzlich miteinbezogene HLS-Messquerschnitte im Zufahrtsbereich zur Ergänzung der Stichprobe für die Regressionsberechnungen der Gruppe der LW

4.2.1.1. Regressionsansätze

Zur Überprüfung des Zusammenhangs $V_{15\%} = f(i)$ zwischen der Zufallsvariablen (Geschwindigkeit $V_{15\%}$) und der unabhängigen Variablen (Längsneigung i) wurde in [5] als Ansatz ein quadratisches Polynom verwendet. In der vorliegenden Arbeit wurde zusätzlich noch der lineare Ansatz geprüft. Die beiden Ansätze sind in ihrer allgemeinen Form nachfolgend angegeben.

| | |
|--|--|
| Lineare Funktion: $V_{15\%} = a \cdot i + b$ | mit Koeffizienten a und b ; i in Prozent |
| Quadratisches Polynom (aus [4]): $V_{15\%} = a \cdot i^2 + b \cdot i + c$ | mit Koeffizienten a , b und c ; i in Prozent |

4.2.1.2. Regressionsberechnungen 1999

Für die Messungen von 1999 wurden Regressionsberechnungen mit den $V_{15\%}$ -Werten im jeweils letzten Messquerschnitt in Fahrtrichtung durchgeführt, wobei zur Ergänzung der Stichprobe ausgewählte Messquerschnitte im Zufahrtsbereich von HLS-Messstrecken miteinbezogen wurden (vgl. Tab. 22). Die Ergebnisse für die beiden Ansätze sind nachfolgend in Tabelle 23 dargestellt. Für die Beurteilung der Anpassungsgüte an die Beobachtungswerte wird der Korrelationskoeffizient r verwendet. Die in den folgenden Abbildungen dargestellten Regressionsformeln beinhalten auch die Angabe des Bestimmtheitsmasses R^2 . Der Korrelationskoeffizient r berechnet sich aus der Wurzel von R^2 .

| Ansatz | Resultierende Funktion | r |
|-----------------------|--|--------|
| Lineare Funktion | <i>in Steigungsrichtung</i> $V_D = -6.1031 \cdot i + 85.7620$ | 0.9533 |
| | <i>in Gefällsrichtung</i> $V_D = -3.7333 \cdot i + 82.9280$ | 0.6657 |
| Quadratisches Polynom | <i>in Steigungsrichtung</i> $V_D = 0.1786 \cdot i^2 - 7.7408 \cdot i + 88.4579$ | 0.9564 |
| | <i>in Gefällsrichtung</i> $V_D = 0.3036 \cdot i^2 - 7.0084 \cdot i + 90.1965$ | 0.6794 |

Tab. 23: Ergebnisse der Regressionsberechnungen für Lastwagen (1999)

Aus den Berechnungen geht hervor, dass für die Steigungsrichtung bei beiden Ansätzen ein starker Zusammenhang zwischen Geschwindigkeit und Längsneigung für die Gruppe der Lastwagen gegeben ist, was mit einem Korrelationskoeffizienten $r > 0.95$ deutlich zum Ausdruck kommt. Für die Gefällsrichtung ist der Zusammenhang statistisch nur schwach abgesichert.

In Abbildung 18 sind die Ergebnisse der Berechnungen für beide Ansätze dargestellt. Für die weiteren Betrachtungen werden für die Geschwindigkeiten von Lastwagen sowohl *in Steigungs-* als auch *in Gefällsrichtung* die *quadratischen* Ansätze verwendet.

In Steigungsrichtung reduziert sich demnach im Bereich von 0,5 bis 9,5% die Dauergeschwindigkeit um rund 54 km/h, in Gefällsrichtung im Bereich von 1,5 bis 9,5% um rund 30 km/h (nach quadratischem Ansatz).

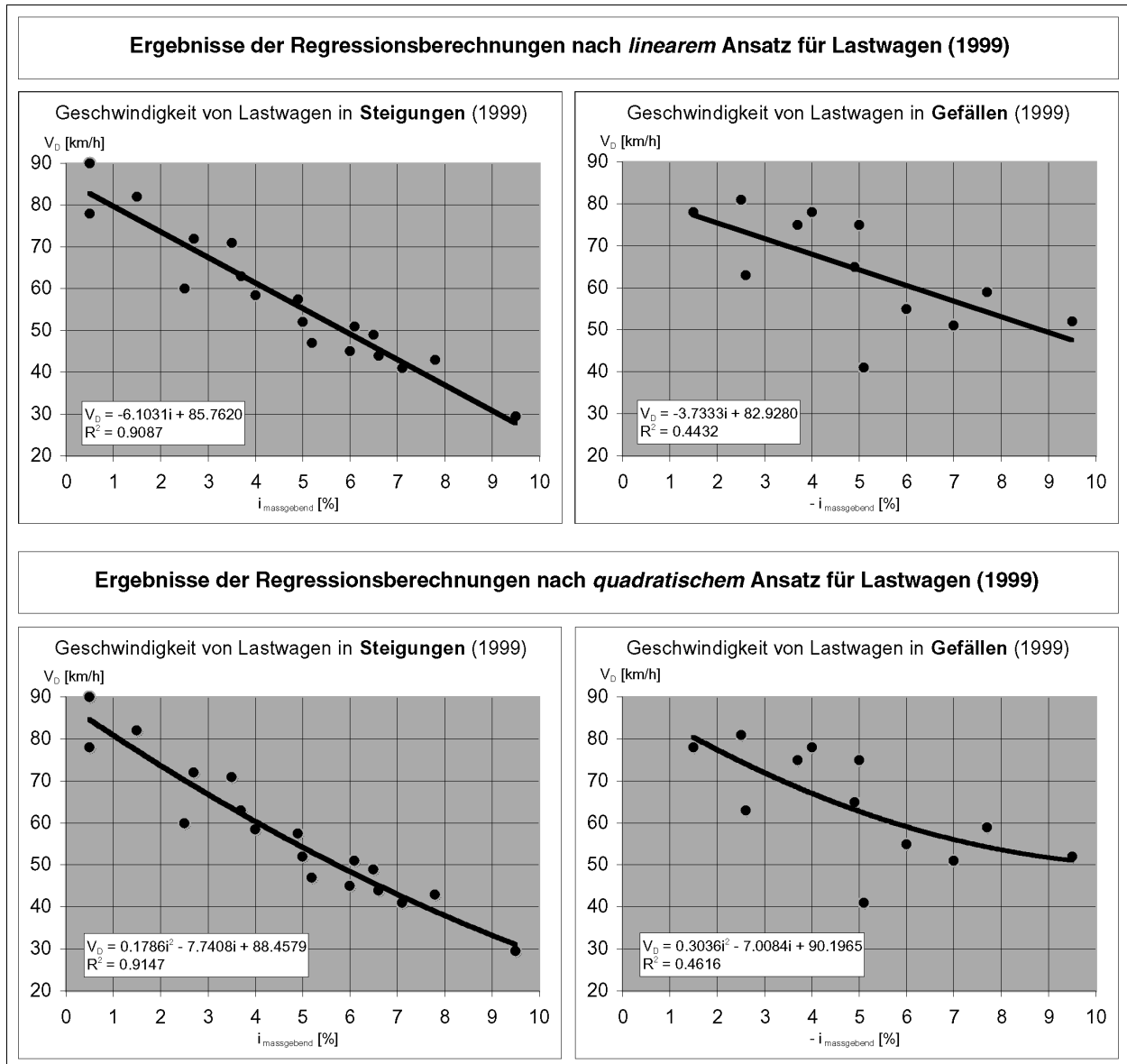


Abb. 18: Zusammenhang zwischen Geschwindigkeit und Längsneigung von Lastwagen (1999) nach linearem Ansatz (oben) und quadratischem Ansatz (unten)

4.2.1.3. Vergleich zwischen 1983 und 1999

In Tabelle 24 und in Abbildung 19 sind die Dauergeschwindigkeiten V_D auf Basis der $V_{15\%}$ -Werte für Steigungen und Gefälle im Zustand „Vorher“ jenen aus dem Jahre 1983 [5] gegenübergestellt. Werte in Klammern liegen ausserhalb des Neigungsbereichs, der durch die Messstrecken abgedeckt wird. Aus der Tabelle ist ersichtlich, dass die *Geschwindigkeiten von freifahrenden Lastwagen 1999 sowohl in Steigungen wie auch in Gefällen deutlich höher liegen als 1983.*

| | i [%] | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-----------------|-----------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------|
| Steigung | V_D 1983 [km/h] [5] | 66.9 | 59.6 | 52.7 | 46.3 | 40.2 | 34.6 | 29.3 | 24.6 | 20.2 | 16.2 |
| | V_D 1999 [km/h] | 80.9 | 73.7 | 66.8 | 60.4 | 54.2 | 48.4 | 43.0 | 38.0 | 33.3 | (28.9) |
| | ΔV_D [km/h] | +14.0 | +14.1 | +14.1 | +14.1 | +14.0 | +13.8 | +13.7 | +13.4 | +13.1 | (+12.7) |
| Gefälle | V_D 1983 [km/h] [5] | 72.4 | 67.3 | 62.2 | 57.3 | 52.6 | 48.0 | 43.7 | 39.5 | 35.4 | 31.6 |
| | V_D 1999 [km/h] | (83.5) | 77.4 | 71.9 | 67.0 | 62.7 | 59.1 | 56.0 | 53.6 | 51.7 | (50.5) |
| | ΔV_D [km/h] | (+11.1) | +10.1 | +9.7 | +9.7 | +10.1 | +11.1 | +12.3 | +14.1 | +16.3 | (+18.9) |

Tab. 24: Vergleich der berechneten Geschwindigkeiten V_D für Lastwagen in Steigungen und Gefällen in den Jahren 1983 [5] und 1999

In Steigungen liegen die Geschwindigkeiten für alle Längsneigungen durchschnittlich um 13,7 km/h über den Ergebnissen von 1983. In Gefällen ist eine Zunahme in den Geschwindigkeitsdifferenzen von 10,1 km/h bei einer Längsneigung von 2% auf über 16 km/h bei 9% gegenüber 1983 zu beobachten.

Da es kaum anzunehmen ist, dass sich der Beladungsgrad der Lastwagen gegenüber dem Jahr 1983 verringert hat, und die zulässige Höchstgeschwindigkeit (anders als bei der Gruppe der Personenwagen) nicht verändert wurde, müssen die höheren Geschwindigkeiten auf Veränderungen im Lastwagenpark (vgl. Kapitel 5) zurückgeführt werden. Es wird davon ausgegangen, dass insbesondere höhere Motorleistungen sowie besser abgestimmte Getriebeverhältnisse für diese Veränderungen verantwortlich sind.

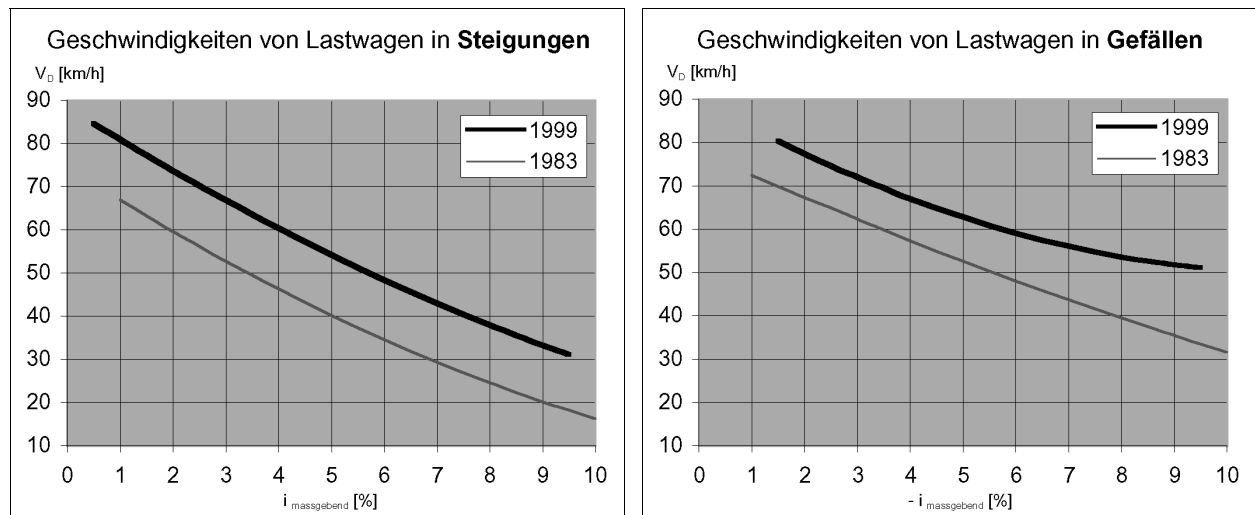


Abb. 19: Vergleich der Dauergeschwindigkeiten von Lastwagen in Steigungen (links) und Gefällen (rechts) zwischen 1978 und 1999

4.2.1.4. Regressionsberechnungen 2002

Analog zu 4.2.1.2. wurden die Regressionsberechnungen mit den $V_{15\%}$ -Werten im jeweils letzten Messquerschnitt in Fahrtrichtung für die Messungen von 2002 wiederholt, wobei zur Ergänzung der Stichprobe ebenfalls ausgewählte Messquerschnitte im Zufahrtbereich von HLS-Messstrecken miteinbezogen wurden (vgl. Tab. 22). Die Ergebnisse für die beiden Ansätze sind in Tabelle 25 dargestellt.

| Ansatz | Resultierende Funktion | r |
|-----------------------|--|--------|
| Lineare Funktion | <i>in Steigungsrichtung</i> $V_D = -6.3209 \cdot i + 82.8520$ | 0.9482 |
| | <i>in Gefällsrichtung</i> $V_D = -3.5974 \cdot i + 87.5190$ | 0.7087 |
| Quadratisches Polynom | <i>in Steigungsrichtung</i> $V_D = 0.2988 \cdot i^2 - 8.8966 \cdot i + 86.3865$ | 0.9591 |
| | <i>in Gefällsrichtung</i> $V_D = 0.2048 \cdot i^2 - 5.8260 \cdot i + 92.2787$ | 0.7171 |

Tab. 25: Ergebnisse der Regressionsberechnungen für Lastwagen (2002)

Auch die Berechnungen mit den Messergebnissen von 2002 zeigen, dass für die Steigungsrichtung bei beiden Ansätzen ein starker Zusammenhang zwischen Geschwindigkeit und Längsneigung für die Gruppe der Lastwagen gegeben ist, was mit einem Korrelationskoeffizienten $r > 0.94$ deutlich zum Ausdruck kommt. Für die Gefällsrichtung ist der Zusammenhang statistisch nur schwach abgesichert.

In Abbildung 20 sind die Ergebnisse der Berechnungen für beide Ansätze dargestellt. Für die weiteren Betrachtungen werden für die Geschwindigkeiten von Lastwagen sowohl in Steigungs- als auch in Gefällsrichtung die quadratischen Ansätze verwendet.

In Steigungsrichtung reduziert sich demnach im Bereich von 0 bis 9.5% die Dauergeschwindigkeit um rund 57.5 km/h, in Gefällsrichtung im Bereich von 1.5 bis 9.5% um rund 28.5 km/h (nach quadratischem Ansatz).

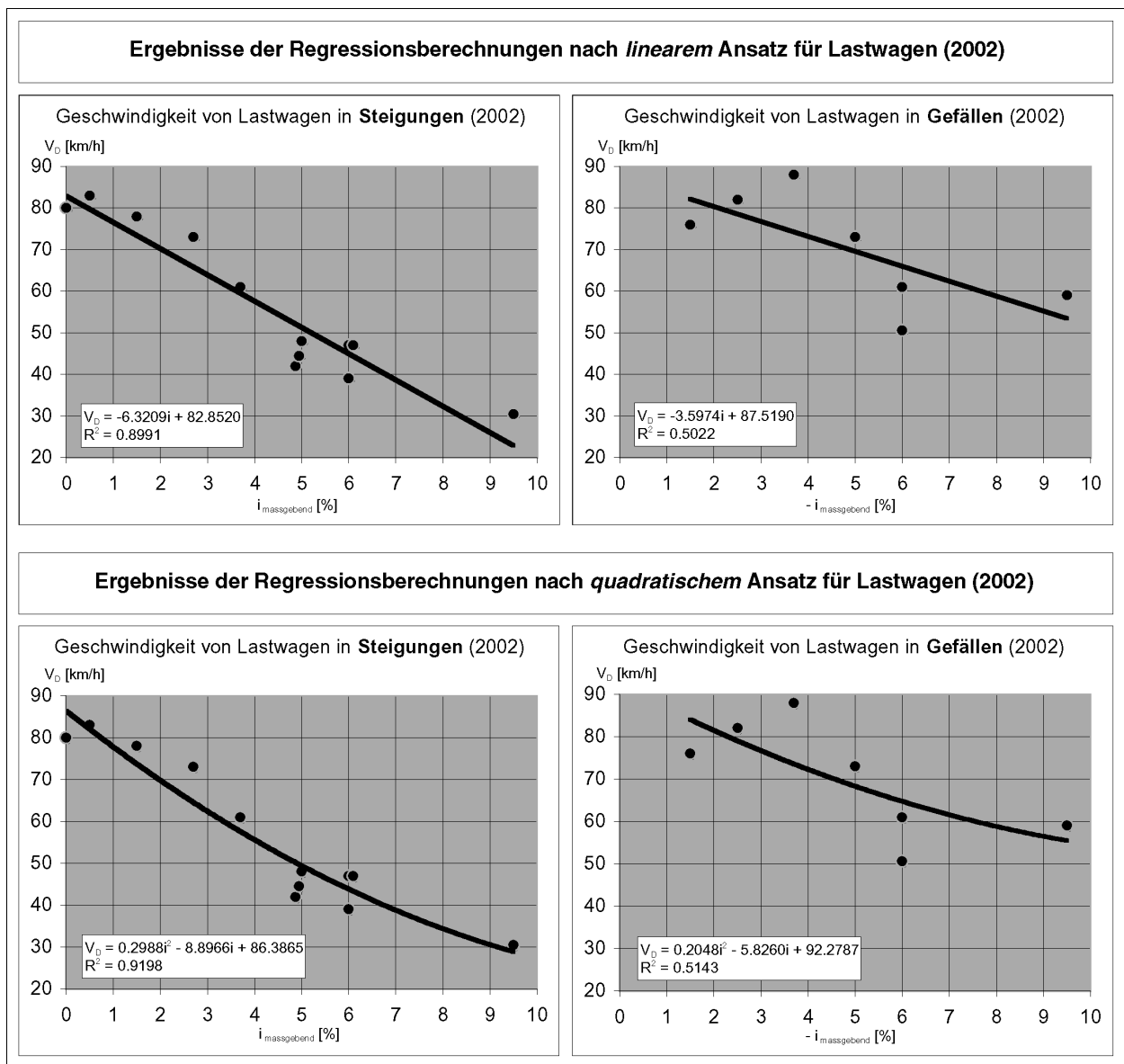


Abb. 20: Zusammenhang zwischen Geschwindigkeit und Längsneigung von Lastwagen (2002) nach linearem Ansatz (oben) und quadratischem Ansatz (unten)

4.2.1.5. Vergleich zwischen 1999 und 2002

In Tabelle 26 und in Abbildung 21 sind die Dauergeschwindigkeiten V_D auf Basis der $V_{15\%}$ -Werte für Steigungen und Gefälle im Zustand „Nachher“ (2002) jenen im Zustand „Vorher“ (1999) gegenübergestellt. Werte in Klammern liegen ausserhalb des Neigungsbereichs, der durch die Messstrecken abgedeckt wird. Die Geschwindigkeiten von freifahrenden Lastwagen haben sich 2002 in Steigungen gegenüber 1999 im Mittel um 3.8 km/h reduziert. In Gefällen konnte eine weitere Erhöhung der Dauergeschwindigkeiten festgestellt werden. Dort liegen die Geschwindigkeiten durchschnittlich um 4.8 km/h über den Ergebnissen von 1999.

| | i [%] | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-----------------|---------------------|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------|
| Steigung | V_D 1999 [km/h] | 80.9 | 73.7 | 66.8 | 60.4 | 54.2 | 48.4 | 43.0 | 38.0 | 33.3 | (28.9) |
| | V_D 2002 [km/h] | 77.8 | 69.8 | 62.4 | 55.6 | 49.4 | 43.8 | 38.8 | 34.3 | 30.5 | (27.3) |
| | ΔV_D [km/h] | -3.1 | -3.9 | -4.4 | -4.8 | -4.8 | -4.6 | -4.2 | -3.7 | -2.8 | (-1.6) |
| Gefälle | V_D 1999 [km/h] | (83.5) | 77.4 | 71.9 | 67.0 | 62.7 | 59.1 | 56.0 | 53.6 | 51.7 | (50.5) |
| | V_D 2002 [km/h] | (86.7) | 81.4 | 76.6 | 72.3 | 68.3 | 64.7 | 61.5 | 58.8 | 56.4 | (54.5) |
| | ΔV_D [km/h] | (+3.2) | +4.0 | +4.7 | +5.3 | +5.6 | +5.6 | +5.5 | +5.2 | +4.7 | (+4.0) |

Tab. 26: Vergleich der berechneten Geschwindigkeiten V_D für Lastwagen in Steigungen und Gefällen im Zustand „Vorher“ (1999) und „Nachher“ (2002)

Die erwähnten Abnahmen der Dauergeschwindigkeiten von Lastwagen in Steigungen gegenüber dem Zustand „Vorher“ sind bei weitem nicht so beträchtlich, wie dies zu Beginn der Einführung der höheren Gewichtslimite vor allem von den Vertretern der Bergkantone befürchtet wurde. Auf die weitere Entwicklung und die allfälligen Auswirkungen wird in 5.3. eingegangen.

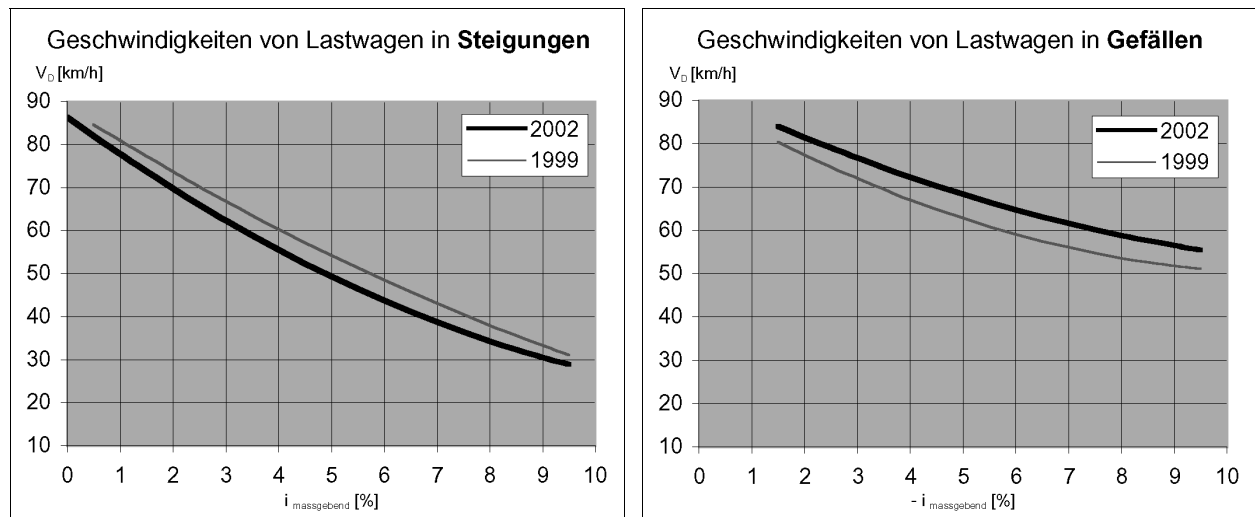


Abb. 21: Vergleich der Dauergeschwindigkeiten von Lastwagen in Steigungen (links) und Gefällen (rechts) im Zustand „Vorher“ (1999) und „Nachher“ (2002)

4.2.2. Geschwindigkeitsveränderungen entlang der Neigungsstrecke

In Tabelle 27 sind die Veränderungen der Geschwindigkeiten von Lastwagen entlang der Neigungsstrecken für die Erhebungen im Zustand „Vorher“ dargestellt. Die Betrachtungen werden auf Basis der $V_{15\%}$ -Geschwindigkeiten angestellt. Dabei wird jeweils der erste Querschnitt nach Beginn der Vertikal-Ausrundung (V_B) mit dem letzten (V_E) verglichen, in welchem sich die Lastwagen auf der Strecke bereits im Bereich mit der massgebenden Längsneigung befinden. Einbezogen wurden nur Messstrecken, bei welchen zu Beginn Anfahrvorgänge eindeutig ausgeschlossen werden konnten.

Auf *Hochleistungsstrassen (HLS)* ergeben sich sowohl in Steigungen wie auch in Gefällen ausschliesslich Verzögerungsvorgänge, und zwar unabhängig von der Grösse der Längsneigung. Dies ist primär auf das generell höhere Geschwindigkeitsniveau in der Ebene auf diesen Strassentypen zurückzuführen.

Auf *Hauptverkehrsstrassen a.o.* weisen die Lastwagen bis zu einer Steigung von ca. 3.5 % noch ein Beschleunigungsvermögen auf, während bei grösseren Steigungen nur Verzögerungen entlang der Messstrecke auftreten. Für die Gefällsrichtung sind die Geschwindigkeitsdifferenzen nicht so ausgeprägt. Mit einer Ausnahme treten in Gefällsrichtung leichte Verzögerungen auf.

| Untersuchungsstrecke | | Geschwindigkeitsveränderungen von Lastwagen ($V_{15\%}$) | | | | | | | | | |
|----------------------|----------------------------------|--|-------|-------|-------|------------|--------------------|-------|-------|-------|------------|
| | | in Steigungsrichtung | | | | | in Gefällsrichtung | | | | |
| | | Neigung | V_B | V_E | L [m] | ΔV | Neigung | V_B | V_E | L [m] | ΔV |
| 1 | Baar – Sihlbrugg | 2.5 % | 57.0 | 60.0 | 970 | +3.0 | - 2.6 % | 62.0 | 60.0 | 970 | -2.0 |
| 2 | Tenniken – Diegten (HLS) | 2.7 % | 82.0 | 72.0 | 1907 | -10.0 | — | — | — | — | — |
| 3 | Bremgarten – Wohlen | 3.5 % | 69.0 | 71.0 | 1083 | +2.0 | — | — | — | — | — |
| 4 | Diegten – Belchen Nord (HLS) | 3.7 % | 69.0 | 63.0 | 977 | -6.0 | - 3.7 % | 83.0 | 75.0 | 1194 | -8.0 |
| 5 | Egg – Scheuren (AS) | 4.0 % | 64.0 | 58.5 | 2147 | -5.5 | - 4.0 % | 79.0 | 78.0 | 800 | -1.0 |
| 10 | Egerkingen – Belchen Süd (HLS) | 5.0 % | 68.0 | 52.0 | 806 | -16.0 | - 5.0 % | 80.0 | 75.0 | 1332 | -5.0 |
| 12 | Pfäffikon – Schindellegi (oben) | 6.0 % | 51.0 | 45.0 | 367 | -6.0 | - 6.0 % | 55.0 | 55.0 | 404 | 0.0 |
| 16 | Birmensdorf – Filderen | 6.6 % | 50.0 | 44.0 | 635 | -6.0 | — | — | — | — | — |
| 17 | Pfäffikon – Schindellegi (unten) | 7.1 % | 46.0 | 41.0 | 588 | -5.0 | - 7.0 % | 54.2 | 51.0 | 588 | -3.2 |
| 18 | Umiken – Unterbözberg | 7.8 % | 56.0 | 43.0 | 360 | -13.0 | - 7.7 % | 58.0 | 59.0 | 488 | +1.0 |
| 19 | Densbüren – Staffelegg | 9.5 % | 46.5 | 29.5 | 380 | -17.0 | — | — | — | — | — |

Tab. 27: Geschwindigkeitsveränderungen von Lastwagen entlang der Neigungsstrecke (1999)

In Tabelle 28 sind die Geschwindigkeitsveränderungen von Lastwagen entlang der Neigungsstrecken für die Erhebungen im Zustand „Nachher“ dargestellt. In Steigungsrichtung sind auf HLS-Strecken erwartungsgemäss ausschliesslich Verzögerungsvorgänge festzustellen, während für die Gefällsrichtung bis zu einer Längsneigung von -3.7% beschleunigt wird.

Im Vergleich zu 1999 fällt für die Steigungsrichtung vor allem die grosse Geschwindigkeitsabnahme für die Messstrecke Nr. 10 auf. Dies hängt damit zusammen, dass für V_E im Zustand „Vorher“ ein anderer Querschnitt festgelegt werden musste als im Zustand „Nachher“. Beim direkten Vergleich läge die Geschwindigkeitsabnahme im Zustand „Nachher“ immer noch bei 19 km/h gegenüber 16 km/h im Zustand „Vorher“.

| Untersuchungsstrecke | | Geschwindigkeitsveränderungen von Lastwagen ($V_{15\%}$) | | | | | | | | | |
|----------------------|-------------------------------|--|-------|-------|-------|------------|--------------------|-------|-------|-------|------------|
| | | in Steigungsrichtung | | | | | in Gefällsrichtung | | | | |
| | | Neigung | V_B | V_E | L [m] | ΔV | Neigung | V_B | V_E | L [m] | ΔV |
| 2 | Tenniken – Diegten (A2) | 2.7 % | 78.0 | 73.0 | 1907 | -5.0 | — | — | — | — | — |
| 4 | Diegten – Belchen Nord (A2) | 3.7 % | 68.0 | 61.0 | 977 | -7.0 | - 3.7 % | 74.0 | 88.0 | 1194 | +14.0 |
| 10 | Egerkingen – Belchen Süd (A2) | 5.0 % | 72.0 | 48.0 | 1321 | -24.0 | - 5.0 % | 79.0 | 73.0 | 1332 | -6.0 |
| 13 | Andeer – Sufers (A13) | 6.0 % | 47.0 | 47.0 | 1840 | 0.0 | — | — | — | — | — |
| 19 | Densbüren – Staffelegg | 9.5 % | 46.0 | 30.5 | 380 | -15.5 | — | — | — | — | — |

Tab. 28: Geschwindigkeitsveränderungen von Lastwagen entlang der Neigungsstrecke (2002)

In Anhang 1 (Beilagen 1.1 – 1.39) sind die Verläufe über alle Messquerschnitte detailliert dargestellt. Im Hinblick auf die Überprüfung und gegebenenfalls Anpassung bestehender Normen, im speziellen die Norm „Linienführung, Zusatzstreifen in Steigungen und Gefällen“ [3], drängt sich die Konstruktion des Geschwindigkeitsdiagramms auf. Dazu dienen die Simulationsberechnungen von Lastwagen mit unterschiedlichem Motorisierungsgrad und in unterschiedlichen Längsneigungen (vgl. 2.7.). Die Ergebnisse der Fahrsimulationen sowie die Konstruktion des Geschwindigkeitsdiagramms sind in Kapitel 6 bzw. Kapitel 7 enthalten.

5. STATISTISCHE AUSWERTUNGEN

Analog zum Forschungsbericht aus dem Jahr 1984 [5] werden in diesem Kapitel die Ergebnisse statistischer Auswertungen hinsichtlich der Struktur des schweizerischen Lastwagenparks (5.1.) und hinsichtlich der Betriebsgewichte (5.2.) beschrieben. Im vorliegenden Fall drängen sich solche Auswertungen um so mehr auf, als sich in den letzten Jahren für den Lastwagenverkehr verschiedene Rahmenbedingungen wie Herabsetzung der gesetzlichen Mindestnutzleistung, Einführung der LSVA und Erhöhung der zulässigen Gesamtgewichte verändert haben (vgl. auch 1.3.). Dabei interessiert die Gliederung nach Fahrzeugkategorie und nach zulässigem Gesamtgewicht. Im Hinblick auf die durchgeführten Simulationsberechnungen und die Festlegung der Nutzleistung des der Norm zu Grunde zu legenden Bemessungslastwagens (vgl. Kapitel 6) ist es zudem notwendig, die Veränderungen in der Struktur der Betriebsgewichte zu untersuchen.

5.1. Lastwagenpark in der Schweiz

Die Auswertung des Schweizer Lastwagenparks erfolgte anhand der veröffentlichten Bestandeszahlen des Bundesamtes für Statistik (BFS) [11, 12]. Betrachtet wurden nur Transportfahrzeuge mit einem Gewicht von mehr als 3,5 t sowie Lieferwagen mit einem zulässigen Gesamtgewicht von unter 3,5 t. Im Vordergrund stehen die Veränderungen in der Struktur des Lastwagenparks, insbesondere jener Fahrzeuggruppe mit einem Gesamtgewicht über der bisher geltenden Gewichtslimite von 28 t. Die erwähnten Veränderungen beziehen sich auf Zeiträume vor und nach Einführung der LSVA und der Zulassung von Fahrzeugkontingenten mit einem Gesamtgewicht über der Gewichtslimite von 28 t.

5.1.1. Fahrzeugkategorien

In der Auswertung nicht berücksichtigt wurden die Fahrzeuggruppen (FAZG) 1, 4, 5, und 6 (Personenwagen, Landwirtschaftsfahrzeuge, Industriefahrzeuge und Motorräder) sowie die Fahrzeugarten (FAZ) 21, 23 und 24 (Kleinbusse, Trolleybusse und Gelenktrolleybusse).

Die Gruppe „*Schwerfahrzeuge ohne Anhänger*“ umfasst Fahrzeuge der FAZG 2 und 3 (Personentransport- und Sachentransportfahrzeuge) mit Fahrzeuglängen zwischen 6,0 und 12,5 m. Hierzu gehören die Fahrzeugarten FAZ 11 (schwerer Motorwagen), 20 (Gesellschaftswagen) und 35 (Lastwagen).

Die Fahrzeugarten FAZ 22 (Gelenkbus), 37 (schwere Sattelmotorfahrzeuge) und 38 (Sattelschlepper) werden in der Gruppe „*Schwerfahrzeuge mit Anhänger*“ zusammengefasst. Diese Fahrzeuggruppe ist auch durch eine Gesamtfahrzeuglänge von mehr als 12,5 m gekennzeichnet. Weil neben dem Gesamtgewicht auch die Achslastgewichte gesetzlich limitiert sind, kommen Betriebsgewichte von deutlich über 28 t nur bei dieser Fahrzeugkategorie in Frage.

Zusätzlich werden die zwei zuvor genannten Gruppen in der Gruppe „*alle Schwerfahrzeuge*“ zusammengefasst betrachtet.

Die Gruppe „*Lieferwagen*“ enthält die FAZ 30 (Lieferwagen) und 36 (leichtes Sattelmotorfahrzeug) der Fahrzeuggruppe 3 (Sachentransportfahrzeuge).

Für Vergleichszwecke wurden zwei Gruppen von Zeiträumen untersucht, welche sich auf die Einführung der LSVA und auf die Zulassung von Fahrzeugkontingenten mit Gesamtgewicht über der Gewichtslimite von 28 t beziehen:

- Der Zeitraum „Vorher“ wird mit den Mittelwerten der Jahre 1999 und 2000 beschrieben,
- der Zeitraum „Nachher“ mit den Mittelwerten der Jahre 2001 und 2002.

Zusätzlich dient ein durchschnittlicher Jahreswert aus der Periode zwischen 1990 und 1998 als Vergleichsbasis.

Die durchschnittlichen Jahresbestände der in der Schweiz zugelassenen Nutzfahrzeuge in diesen drei Zeitperioden sind in Abbildung 22 zusammengestellt.

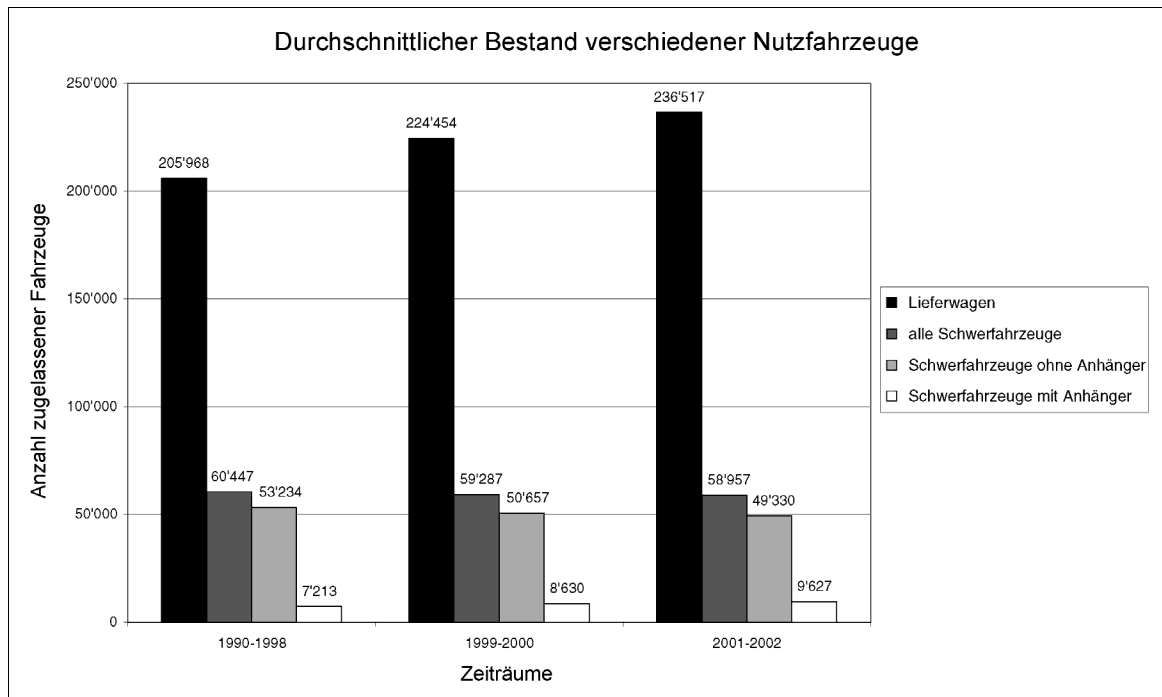


Abb. 22: Durchschnittlicher Bestand verschiedener Nutzfahrzeuge in den Zeiträumen 1990-1998, 1999-2000 („Vorher“) und 2001-2002 („Nachher“)

Aufgrund der Angaben in Abbildung 22 wurden die Veränderungen im Bestand der einzelnen Fahrzeugkategorien analysiert (Tabelle 29). Aus dem Vorher-/Nachher-Vergleich zeigt sich, dass seit der Einführung der leistungsabhängigen Schwerverkehrsabgabe (LSVA) die Zahl der Lieferwagen (+5,4%) und vor allem der Schwerfahrzeuge mit Anhänger (+11,6%) deutlich zugenommen hat. Demgegenüber hat sich die Zahl der Schwerfahrzeuge ohne Anhänger verringert.

Die Zunahme der Schwerfahrzeuge mit Anhänger wurde auch erwartet, weil in dieser Fahrzeuggruppe Beförderungen mit Gesamtgewicht von über 28 t – vorerst nur im Rahmen bewilligter Kontingente – möglich sind. Die Zunahme bei den Lieferwagen (mit < 3,5 t Gesamtgewicht) erklärt sich mit der Entbindung von der Abgabepflicht. Dies trifft auch für Lieferwagen mit Anhänger (und somit > 3,5 t Gesamtgewicht) zu, weil die Zug- und Anhängerfahrzeuge hinsichtlich der LSVA separat bemessen werden.

| Veränderungen in % | Lieferwagen | alle Schwerfahrzeuge | Schwerfahrzeuge ohne Anhänger | Schwerfahrzeuge mit Anhänger |
|---|-------------|----------------------|-------------------------------|------------------------------|
| Veränderung zwischen Zeitperiode „Vorher“ (1999-2000) und „Nachher“ (2001-2002) | + 5,40 | - 0,50 | - 2,60 | + 11,60 |
| Mittlere jährliche Veränderung in der Zeitperiode zwischen 1990 und 1998 | + 1,00 | - 0,55 | -1,00 | + 3,00 |

Tab. 29: Veränderungen im Bestand verschiedener Nutzfahrzeuge

Die ausgeprägten Veränderungen zwischen den Zuständen „Vorher“ und „Nachher“ werden noch offensichtlicher, wenn die mittleren jährlichen Veränderungen der Zeitperiode 1990 – 1998 berücksichtigt werden. Die Auswertung der statistischen Unterlagen hat zudem gezeigt, dass die erwähnten Zunahmen bei den Lieferwagen und den Schwerfahrzeugen mit Anhänger bereits im Jahr 1999 eingesetzt haben. So hat sich die Zahl der zugelassenen Lieferwagen zwischen 1998 und 1999 um ca. 6'000 (+ 2,8%), jene der Schwerfahrzeuge mit Anhänger um ca. 390 (+ 4,8%) erhöht.

5.1.2. Gesamtgewichte

Die immatrikulierten Fahrzeuge werden auch nach ihrem zulässigen Gesamtgewicht statistisch erfasst. Zu vorliegenden Zwecken wurde die FAZG 3 (Sachtransportfahrzeuge) in den Zeitperioden „Vorher“ und „Nachher“ ausgewertet (Abbildung 23). Dabei ist für Fahrzeuge mit mehr als 26 t Gesamtgewicht keine Unterteilung möglich.

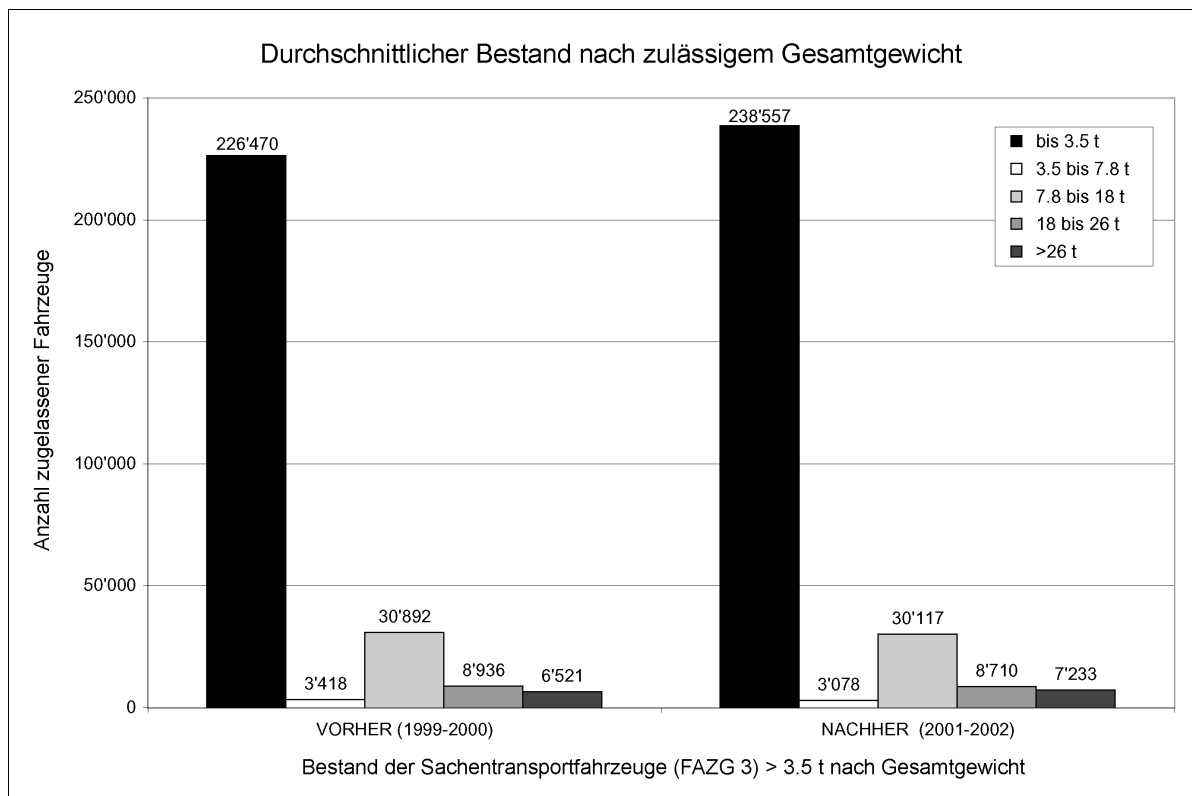


Abb. 23: Durchschnittlicher Bestand von Sachtransportfahrzeugen nach zulässigem Gesamtgewicht in den Zeiträumen 1999-2000 („Vorher“) und 2001-2002 („Nachher“)

Die Veränderungen zwischen den zwei Zeitperioden sind analog zu 5.1.1. in Tabelle 30 zusammengestellt. Daraus ist ersichtlich, dass ähnlich wie in 5.1.1. bei den Gewichtsklassen bis 3,5 t („Lieferwagen“) und über 26,0 t (ein Grossteil von Schwerverfahrzeugen mit Anhängern) zwischen den zwei Zeitperioden starke Zunahmen stattgefunden haben. Bei den übrigen Gewichtsklassen, vor allem bei jener mit 3,5 bis 7,8 t, hat die Zahl der zugelassenen Fahrzeuge hingegen abgenommen.

| Veränderungen in % | bis 3,5 t | 3,5–7,8 t | 7,8–18,0 t | 18,0 t–26,0 t | über 26,0 t |
|---|-----------|-----------|------------|---------------|-------------|
| Veränderung zwischen Zeitperiode „Vorher“ (1999-2000) und „Nachher“ (2001-2002) | + 5,4 | - 10,0 | - 2,5 | - 2,5 | + 10,9 |

Tab. 30: Veränderungen im Bestand von Sachtransportfahrzeugen nach zulässigem Gesamtgewicht

5.1.3. Herstellerfirmen

In einer weiteren statistischen Auswertung wurden die Produzenten der in der Schweiz zugelassenen Lastwagen untersucht¹¹. Die Auswertung stand im Zusammenhang mit den für die Simulationsberechnungen einbezogenen Fahrzeugtypen (vgl. 2.7.).

Betrachtet man die Gruppe „alle Lastwagen“ mit mehr als 3,5 t, so zeigt sich, dass die Lastwagen der Firma Mercedes-Benz (in 2.7. als DaimlerChrysler bezeichnet) eine vorherrschende Stellung im Lastwagenpark der Schweiz haben (vgl. Abbildungen 24 und 25). Fahrzeuge dieses Herstellers besitzen einen Marktanteil von ca. 34 %. Andere Hersteller folgen mit einem Marktanteil von höchstens ca. 17%.

¹¹ Als Basis für diese Auswertung dienten die statistischen Angaben aus dem Jahr 2002.

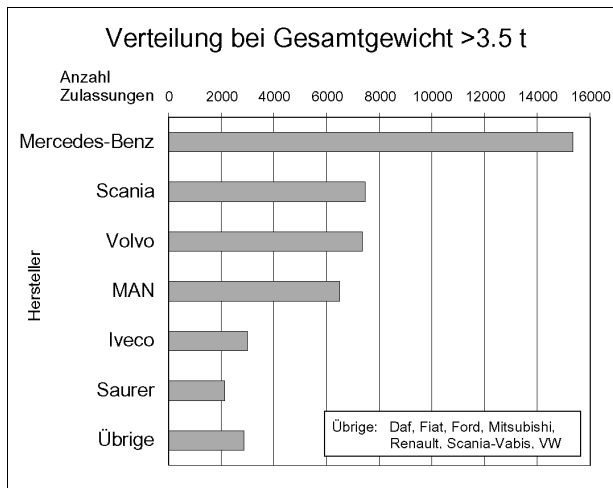


Abb. 24: Verteilung der Hersteller von Lastwagen mit > 3,5 t Gesamtgewicht nach Anzahl der Zulassungen

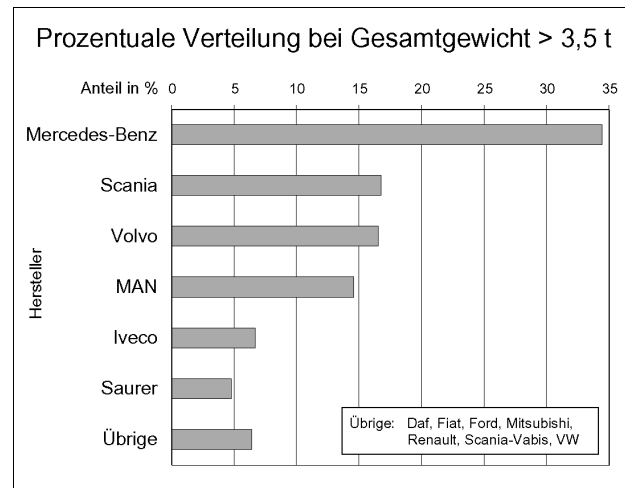


Abb. 25: Verteilung der Hersteller von Lastwagen mit > 3,5 t Gesamtgewicht in Prozent der Zulassungen

Die dominierende Stellung der Lastwagen von Mercedes-Benz kommt auch bei einer Unterteilung der Zulassungen nach Gewichtsklassen zum Ausdruck (Abbildungen 26 und 27). Wie aus Abbildung 27 ersichtlich ist, beträgt der Anteil dieser Lastwagenfirma in der Klasse mit 3,5 – 12,0 t beinahe 50%, in den Klassen mit 12,0 - 26,0 t und mit über 26,0 t immer noch ca. ein Drittel.

Aus diesen Gründen werden die mit Fahrzeugen der Firma DaimlerChrysler durchgeführten Simulationsberechnungen des Geschwindigkeitsverhaltens für die Verhältnisse auf unseren Strassen als repräsentativ erachtet. Diese Einschätzung dürfte um so mehr zutreffen, als ein bedeutender Teil der bei uns verkehrenden ausländischen Lastwagen aus Deutschland stammt.

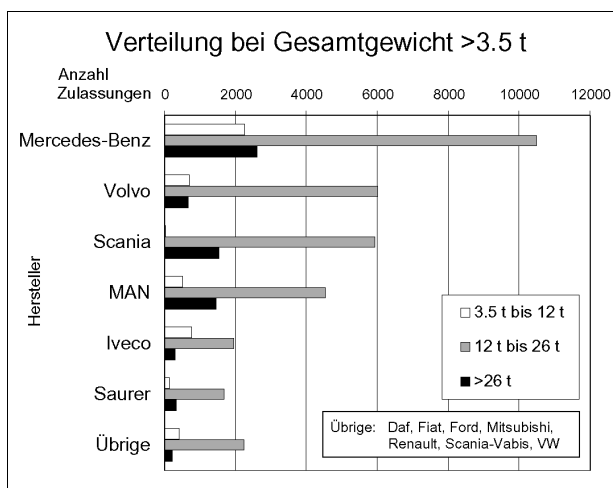


Abb. 26: Verteilung der Hersteller von Lastwagen nach Anzahl der Zulassungen für verschiedene Gewichtsklassen

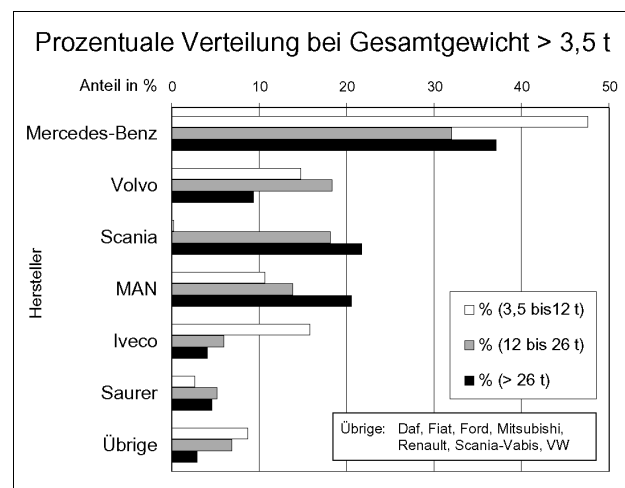


Abb. 27: Verteilung der Hersteller von Lastwagen in Prozent der Zulassungen für verschiedene Gewichtsklassen

5.2. Ergebnisse der WIM Messungen

Massgebender als die Veränderungen der zulässigen Gesamtgewichte, die sich nur auf die in der Schweiz zugelassenen Nutzfahrzeuge beziehen, sind die Veränderungen der tatsächlich gemessenen Betriebsgewichte¹² aller Lastwagen. Aus diesem Grund wurden die Ergebnisse der automatischen Gewichtsmessungen (Weigh-in-motion, WIM) ausgewertet.

¹² Betriebsgewichte entsprechen sinngemäss den Gesamtgewichten, die im tatsächlichen Verkehrsablauf („im Betrieb“) an den Messstellen mit Hilfe statischer oder dynamischer Achslastwägungen erhoben werden.

Dafür wurden WIM-Messstellen des ASTRA einbezogen, die vorerst nur in einer kleinen Anzahl vorhanden sind. Zudem liessen sich die Daten des Jahres 1999 nur bei zwei Messstellen mit einem vernünftigen Aufwand beschaffen. Nach Absprache mit den Verantwortlichen wurden für die wichtige Nord-Süd-Richtung die Messstellen Nr. 402 (Gotthardtunnel) auf der A2 sowie Nr. 403 (Plazzastunnel) auf der A13 festgelegt. Für die West-Ost-Richtung konnte nur die Messstelle 401 (Mattstetten) auf der A1 einbezogen werden. Von diesen erhofft man sich eine hinreichende Übersicht über die in den letzten Jahren eingetretene Veränderungen.

Anders als bei der Festlegung der Zustände „Vorher“ und „Nachher“ in 5.1. wurden die Gewichtsmessungen bewusst in jenen Monaten ausgewertet, in welchen die Geschwindigkeitsmessungen auf Autobahnen stattfanden. Demnach umfasst die Periode

- „Vorher“ die Monate Mai und Juni 1999 und jene
- „Nachher“ die Monate Juli und Oktober 2002.

Seit Oktober 2002 sind auf der Gotthard- und San Bernardino-Route die Dosierungssysteme für den Schwerverkehr in Betrieb. Sie bewirken eine generelle Plafonierung des Lastwagenverkehrs. Da jedoch die relativen Veränderungen in der Struktur der Betriebsgewichte im Vordergrund stehen, wird diese Massnahme als nicht ins Gewicht fallend erachtet.

Eine vollständige Gegenüberstellung gelang nur für die Nord-Süd Richtung. Bei der Messstelle Nr. 401 (Mattstetten) auf der A1 war der Zugriff auf die Daten aus dem Jahr 1999 nicht möglich.

Im Vordergrund des Interesses steht die Veränderung der Lastwagenzahl mit Betriebsgewichten, die über der bisherigen Gewichtslimite von 28 t liegen. Unter Berücksichtigung der herabgesetzten gesetzlichen Mindestnutzleistung wäre bei dieser Lastwagengruppe davon auszugehen, dass ihre Geschwindigkeiten in Steigungen infolge Untermotorisierung im unteren Bereich der Verteilung ($V_{15\%}$) liegen werden. Wenn sich die Anzahl bzw. der Anteil der Lastwagen dieser Gruppe in der Periode „Nachher“ deutlich erhöht hat, müsste dies gegenüber dem Zustand „Vorher“ in niedrigeren Geschwindigkeiten zum Ausdruck kommen.

Da bei den dynamischen Achslastwägungen gerätebedingte Ungenauigkeiten auftreten, müssen auch gewisse Toleranzen berücksichtigt werden. In der Regel wird hierzu die Grenze nicht bei 28 t, sondern bei 31 oder 32 t gelegt, bzw. bei 44 t statt 40 t. Die Unterteilung in Gewichtsklassen wurde durch das ASTRA vorgegeben. Sie weicht bei der Messstelle 402 (Gotthardtunnel) im Vergleich zu den anderen Messstellen teilweise ab. In Bezug auf die im Vordergrund stehenden Gewichtsklasse lassen sich dennoch Vergleiche anstellen.

5.2.1. Ergebnisse der Gewichtsmessungen

Für vorliegende Zwecke wurden die Betriebsgewichte der erfassten Nutzfahrzeuge in folgende fünf Gewichtsklassen gegliedert. Weil primär die Veränderungen im Gewichtsbereich über der bisherigen Gewichtslimite von 28 t interessieren, wurden die letzten drei Gewichtsklassen zusätzlich in einer Gruppe zusammengefasst (> 31 t bzw. > 32 t).

| | | | | | | |
|---|-----------|------------|-------------|-------------|--------|--------|
| Gewichtsklassen (t) Messstelle 402 | 3.5 – 8.0 | 8.0 – 31.0 | 31.0 – 37.0 | 37.0 – 44.0 | > 44.0 | > 31.0 |
| Gewichtsklassen (t) Messstelle 401 und 403 | 3.5 – 8.0 | 8.0 – 32.0 | 32.0 – 38.0 | 38.0 – 44.0 | > 44.0 | > 32.0 |

Tab. 31: Festgelegte Gewichtsklassen

Die Ergebnisse für die Nord-Süd-Richtung (Messstellen Nr. 402 und 403) sind in den Abbildungen 28 und 29, jene für die West-Ost-Richtung (Messstelle Nr. 401) in Abbildung 30 dargestellt. Die zusammengefasste Gruppe mit > 31 t bzw. > 32 t befindet sich in den Diagrammen jeweils ganz rechts.

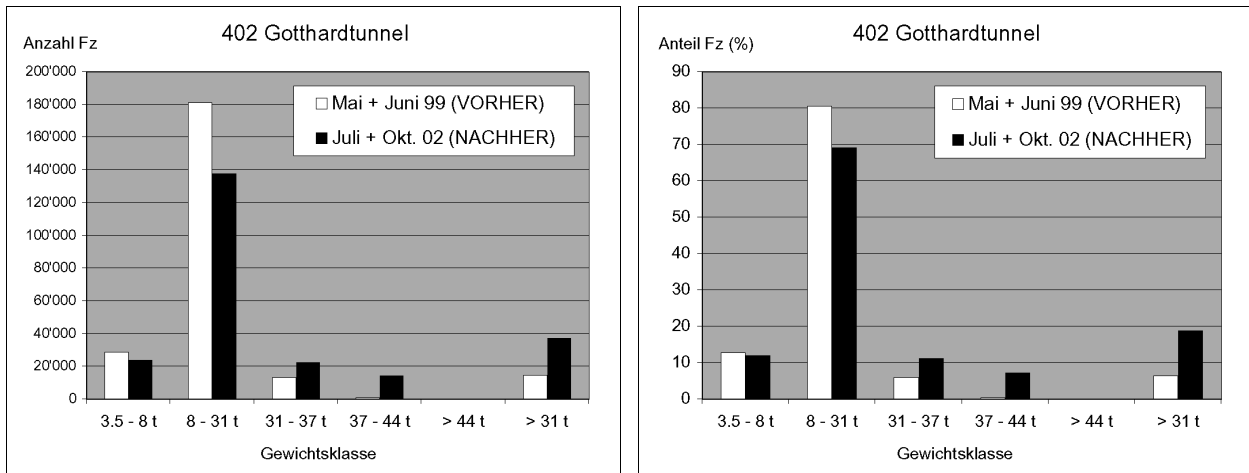


Abb. 28: Verteilung der Betriebsgewichte von Nutzfahrzeugen im Gotthardtunnel (Messstelle Nr. 402)

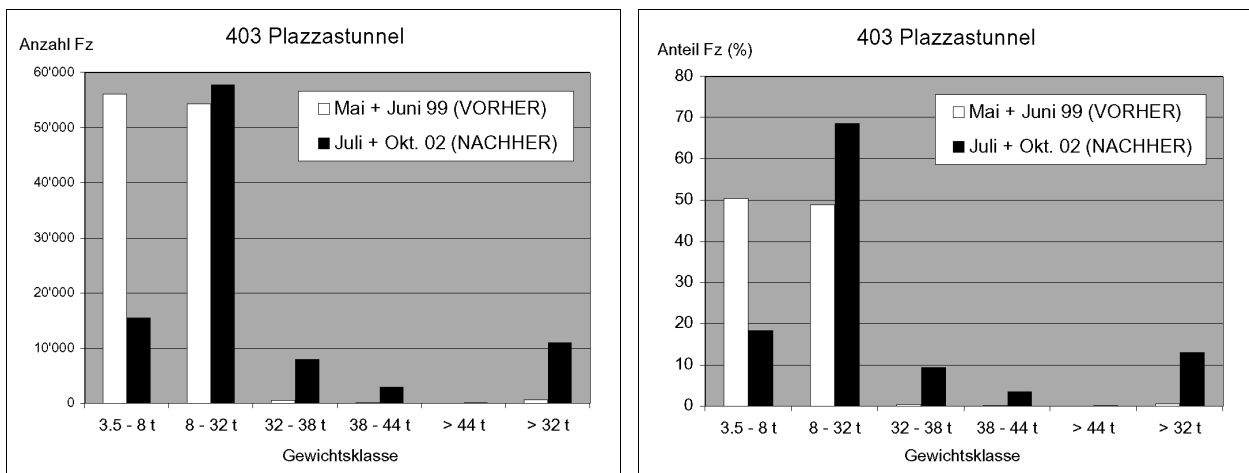


Abb. 29: Verteilung der Betriebsgewichte von Nutzfahrzeugen im Plazzastunnel (Messstelle Nr. 403)

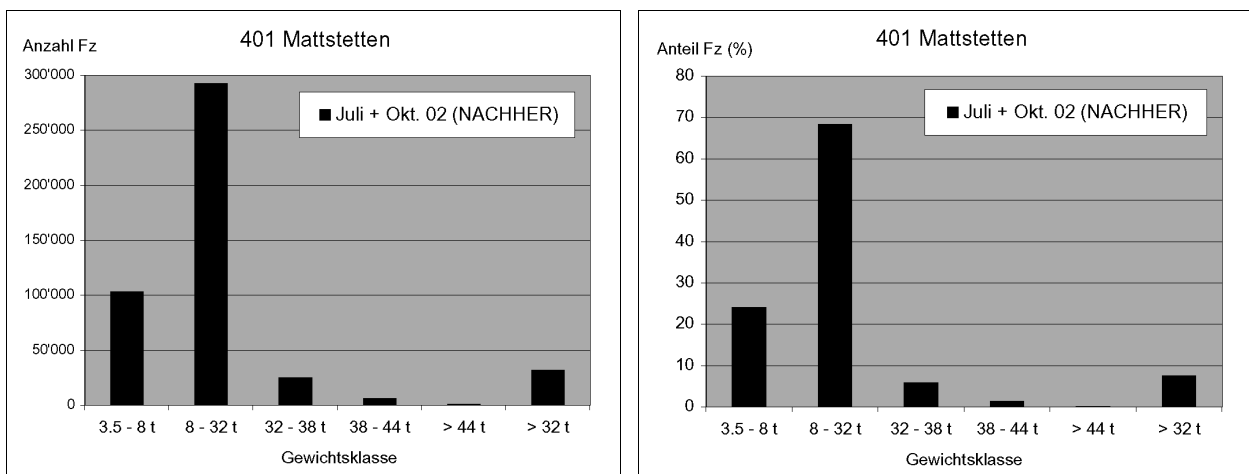


Abb. 30: Verteilung der Betriebsgewichte von Nutzfahrzeugen bei Mattstetten (Messstelle Nr. 401)

5.2.2. Veränderungen in den Gewichtsklassen

Ein Vergleich der Ergebnisse in den Zuständen „Vorher“ und „Nachher“ ist nur für die Nord-Süd-Richtung möglich (Messstellen Nr. 402 und 403). Dabei hat sich die Anzahl Fahrten infolge der Lastwagendosierung nach dem Brandfall im Gotthardtunnel an beiden Messstellen insgesamt reduziert. Aus den Abbildungen 28 und 29 ist ersichtlich, dass in dieser Fahrtrichtung die Anzahl und der Anteil von Nutzfahrzeugen mit Betriebsgewichten über der bisherigen Gewichtslimite von 28 t deutlich zugenommen haben. Die entsprechenden Werte werden in den Tabellen 32 und 33 angegeben und verglichen. Dabei wurden die Betriebsgewichte in zwei Gruppen zusammengefasst:

- Jene bis 31 t bzw. 32 t (Bereich bis zur bisherigen Gewichtslimite)
- Jene über 31 t bzw. 32 t (Bereich über bisheriger Gewichtslimite).

Die Grenze von 31 t bezieht sich auf die Messstelle im Gotthardtunnel, jene von 32 t auf die Messstellen im Plazzastunnel und bei Mattstetten.

5.2.2.1. WIM-Messstelle Gotthardtunnel

Am Gotthard (Messstelle Nr. 402) hat sich der Anteil der Gruppe mit über 31 t von ca. 6.5% im Zustand „Vorher“ auf ca. 19% im Zustand „Nachher“ erhöht, was einer etwa 2.5-fachen Erhöhung der Fahrten entspricht (vgl. Tabelle 32). Aus den Unterlagen ergab sich zudem, dass innerhalb dieser Gruppe die Fahrtenzahl mit Betriebsgewichten zwischen 37 und 44 t am stärksten zugenommen hat (Verhältnissfaktor von 15.5, vgl. Abbildung 28). Reduziert hat sich hingegen der Anteil der Gruppe mit 3.5 – 31 t (von ca. 93% auf ca. 81%).

Am stärksten hat in dieser Gruppe die Fahrtenzahl mit Betriebsgewichten zwischen 8 und 31 t abgenommen (Verhältnissfaktor von 0.77). Diese Gewichtskategorie hat auch im Zustand „Nachher“ den dominierenden Anteil der Lastwagenfahrten.

| 402 Gotthardtunnel | „Vorher“ | | „Nachher“ | | Veränderung „Nachher“ / „Vorher“ | |
|-----------------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|-------------------------------------|-------------|
| | Anzahl Fz | Anteil Fz | Anzahl Fz | Anteil Fz | in Anzahl Fz | Verhältnis |
| 3.5 – 31.0 t | 210'344 | 93.44 % | 161'709 | 81.18 % | - 48'635 | 0.77 |
| > 31.0 t | 14'775 | 6.56 % | 37'942 | 18.82 % | 22'717 | 2.57 |
| <i>Total</i> | <i>225'119</i> | <i>100.00 %</i> | <i>199'201</i> | <i>100.00 %</i> | <i>- 25'918</i> | <i>0.88</i> |

Tab. 32: Veränderungen der Betriebsgewichte im Gotthardtunnel (Messstelle Nr. 402)

5.2.2.2. WIM-Messstelle Plazzastunnel

Im Plazzastunnel (Messstelle Nr. 403) waren im Zustand „Vorher“ Fahrten mit Betriebsgewichten von über 32 t kaum vorhanden. Ihr Anteil hat sich von 0.6% im Zustand „Vorher“ auf ca. 13% im Zustand „Nachher“ erhöht, was einer mehr als 16-fachen Erhöhung der Fahrten entspricht. Wie aus Abbildung 29 ersichtlich, sind für die Erhöhung innerhalb dieser Gruppe sowohl die Fahrten mit Betriebsgewichten von 32 – 38 t (Verhältnissfaktor von 14.6) als auch jene mit Betriebsgewichten von 38 – 44 t (Verhältnissfaktor von 33.5) verantwortlich.

Wie am Gotthard macht im Plazzastunnel die Gewichtskategorie mit 8 – 32 t auch im Zustand „Nachher“ den dominierenden Anteil der Lastwagenfahrten aus.

| 403 Plazzastunnel | „Vorher“ | | „Nachher“ | | Veränderung „Nachher“ / „Vorher“ | |
|----------------------|----------------|-----------------|---------------|-----------------|-------------------------------------|-------------|
| | Anzahl Fz | Anteil Fz | Anzahl Fz | Anteil Fz | in Anzahl Fz | Verhältnis |
| 3.5 – 32.0 t | 110'490 | 99.40 % | 73'327 | 86.99 % | - 37'163 | 0.66 |
| > 32.0 t | 671 | 0.60 % | 10'969 | 13.01 % | 10'298 | 16.34 |
| <i>Total</i> | <i>111'161</i> | <i>100.00 %</i> | <i>84'296</i> | <i>100.00 %</i> | <i>- 26'865</i> | <i>0.76</i> |

Tab. 33: Veränderungen der Betriebsgewichte im Plazzastunnel (Messstelle Nr. 403)

Die Messergebnisse im Plazzastunnel sind allerdings mit Vorsicht zu interpretieren:

Wie aus Abbildung 29 ersichtlich, hat sich dort die Zahl der Fahrzeuge mit Betriebsgewichten zwischen 3.5 und 8.0 t im Zustand „Nachher“ um ca. 2/3 reduziert. Gemäss vorliegenden Unterlagen wurden in den Jahren 1999, 2000 und 2001 zwischen den Monaten April bis Oktober ca. 25'000 bis 30'000 Fz monatlich dieser Gewichtskategorie zugeordnet. In den Monaten Juli und Oktober des Jahres 2002 liegt die monatliche Fahrzeugzahl in dieser Gewichtskategorie nur bei ca. 7'000 bis 8'000. Auch eine nachträgliche Auswertung der Monate Juni und September 2002 ergab eine ähnlich niedrige Fahrzeugzahl.

Im Vorfeld der LSVA-Einführung wurde zwar eine gewisse Rückverlagerung von der San Bernardino-Route auf die österreichischen Alpenübergänge erwartet [13], Erhebungen des Transitgüterverkehrs haben aber

gezeigt, dass früher gewisse Umwegfahrten über die San Bernardino-Route zur Umgehung der Mautgebühren in Österreich in Kauf genommen wurden. Dieser „Anreiz“ ging mit der Erhebung der LSVA in der Schweiz verloren. Allerdings erklärt dies nicht, warum die angesprochene Fahrzeugreduktion erst im Jahr 2002 eingetroffen ist, obwohl die LSVA-Gebühren seit dem Jahr 2001 erhoben werden, und weshalb sich diese Reduktion nur auf die Gewichtsklasse mit 3,5 bis 8,0 t beschränkt.

Die Verantwortlichen beim ASTRA vermuten, dass die Ursache der erwähnten Diskrepanz in einer teilweisen Falschklassifizierung von Personenwagen als Lastwagen mit 3,5 – 8 t Gesamtgewicht liegt. Dieser Mangel wurde erst ab dem Jahr 2002 beseitigt.

5.2.2.3. WIM-Messstelle Mattstetten

Bei Mattstetten (Messstelle Nr. 401) an der A1 sind nur die Verhältnisse im Zustand „Nachher“ bekannt (vgl. Tabelle 34). Der Anteil von Fahrten mit Betriebsgewichten von über 32 t ist hier mit 7,5% wesentlich kleiner als an den zwei für die Nord-Süd-Richtung massgebenden Messstellen. Dabei dominieren in dieser Gruppe mit ca. 5,9 % die Fahrten mit Betriebsgewichten zwischen 32 und 38 t.

| 401 Mattstetten | „Nachher“ | |
|-----------------|----------------|-----------------|
| Gewichtsgruppe | Anzahl Fz | Anteil Fz |
| 3,5 – 32,0 t | 396'016 | 92,50 % |
| > 32,0 t | 32'100 | 7,50 % |
| <i>Total</i> | <i>428'116</i> | <i>100,00 %</i> |

Tab. 34: Betriebsgewichte im Zustand „Nachher“ bei Mattstetten (Messstelle Nr. 401)

5.2.3. Folgerungen

Im Vorfeld der (vorerst auf bestimmte Kontingente beschränkten) Erhöhung der zulässigen Gewichtslimite für Nutzfahrzeuge und der bereits seit 1999 herabgesetzten Mindestnutzleistung wurden – vor allem seitens der Bergkantone – Befürchtungen geäussert, dass die schwer beladenen und deshalb langsamen Lastwagen zu unzumutbaren Hindernissen auf Steigungsstrecken werden. Diese Inhomogenität im Verkehrsablauf würde die Verkehrssicherheit beeinträchtigen. Gemäss Auskunft aus den Kantonen Uri und Graubünden konnten die im Jahr 2002 durchgeführten polizeilichen Kontrollen die erwähnten Befürchtungen hinsichtlich der Geschwindigkeiten von Lastwagen nicht bestätigen. Auch ein für die San Bernardino - Strecke erstelltes Gutachten [14] verneint eine Beeinträchtigung der Verkehrssicherheit in den Jahren 2001 und 2002¹³.

Wie in 5.2.2. dargelegt, hat sich der Anteil von Nutzfahrzeugen mit Betriebsgewichten über der bisherigen Gewichtslimite von 28 t zumindest auf den Nord-Süd-Achsen deutlich erhöht. Dennoch haben sich gemäss 4.2.1.5. die mit $V_{15\%}$ definierten Dauergeschwindigkeiten in Steigungen, die im Jahr 2002 weitgehend auf Messungen auf der A2 und A13 basieren, nur geringfügig reduziert. Sie liegen im Zustand „Nachher“ je nach Längsneigung um ca. 2 bis 5 km/h (-5,5% bis -9,8%) niedriger¹⁴ als im Zustand „Vorher“, in Gefällen resultieren sogar Geschwindigkeitszunahmen.

Aus diesen Tatsachen muss gefolgert werden, dass zumindest auf der Nord-Süd-Achse für die schwer beladenen Güterfahrzeuge die entsprechende Nutzleistung bereitgestellt wird. Offensichtlich haben sich die Transportunternehmer auf die neue Situation eingestellt, indem sie für alpenquerende (und damit steigungsreiche) Fernfahrten mit hohen Betriebsgewichten Fahrzeuge mit entsprechend hoher Motorleistung einsetzen. Das bedeutet, dass die zur Verfügung gestellten Nutzleistungen für diese Art von Fahrten weit über der gesetzlich vorgeschriebenen Mindestnutzleistung (5,0 kW/t) liegen. Auf diesen Aspekt wird in 6.2. eingegangen.

Wie bereits erwähnt, hat die Zahl der alpenquerenden Lastwagenfahrten seit dem Beginn des Jahres 2002 infolge der Dosierungsmassnahmen abgenommen. Die Reduktion der Fahrtenzahl wird offensichtlich durch die im Mittel höheren Betriebsgewichte pro Fahrt weitgehend kompensiert. Diese Entwicklung wurde in der 1999 veröffentlichten Güterverkehrsprognose des Dienstes für Gesamtverkehrsfragen [15] vorausgesagt.

¹³ In diesem Gutachten wird auf eine erhöhte Verunfalltenrate während der Sperre des Gotthardtunnels hingewiesen. Im Jahr 2002 reduzierten sich die Unfall- und Verunfalltenhäufigkeit auf das Niveau vor der Sperre.

¹⁴ Bei einigen Messquerschnitten auf den Belchenrampen resultierten sogar leicht höhere Geschwindigkeiten.

5.3. Abschätzung der Weiterentwicklung

Der Zusammenhang Dauergeschwindigkeit / Längsneigung ist für die im Vordergrund stehende VSS-Norm [3] von zentraler Bedeutung (vgl. Kapitel 9). Da die zu revidierende Norm eine längere Gültigkeit haben soll, stellt sich die Frage, wie weit die in 5.2.3. erwähnten Folgerungen hinsichtlich der Auswirkung der Betriebsgewichte auf die Dauergeschwindigkeiten Bestand haben werden.

Im Abschnitt 1.3. wurde ausführlich dargelegt, dass Auswirkungen mehrerer, sich widersprechender Einflüsse abgeschätzt werden müssten:

- Ab 2005 fällt die Kontingentsbeschränkung für Nutzfahrzeuge mit bis zu 40 t Gesamtgewicht weg,
- gleichzeitig gelten aber die vollen (gegenüber heute doppelt so hohen) LSVA-Tarife,
- die verkehrspolitische Absicht der Verlagerung der Gütertransporte auf die Bahn bleibt aufrechterhalten und dürfte spätestens nach der Eröffnung der Basistunnel am Lötschberg und am Gotthard umgesetzt werden.

Aufgrund der Auswertungen in 5.2. kommt eine weitere Erkenntnis hinzu: Die höheren Lade- und somit Gesamtgewichte wirken sich auf die empirisch ermittelten Dauergeschwindigkeiten nicht proportional aus.

Im Hinblick auf die Weiterentwicklung ist auch von Bedeutung, dass die bewilligten Kontingente für grenzüberschreitende Lastwagenfahrten mit 40 t Gesamtgewicht bisher nicht ausgeschöpft wurden. Gemäss ASTRA wurden im Jahr 2002 die schweizer Kontingente und jene für EU- und übrige Drittländer nur zu etwa 2/3 beansprucht¹⁵. Voll ausgenutzt wurden lediglich die kantonalen Kontingente für Binnenverkehr.

Die Forschungsstelle ist der Auffassung, dass sich nach der Heraufsetzung der Gewichtslimite auf 40 t ab dem Jahr 2005 auch in der Schweiz in etwa jene Struktur der Betriebsgewichte einstellen wird, wie in den umliegenden EU-Ländern. Dies betrifft auch den Anteil von Fahrten mit Betriebsgewichten über ca. 30 t, bei welchen infolge beschränkter Nutzleistung mit niedrigeren Dauergeschwindigkeiten in Steigungen gerechnet werden muss.

Die Tendenz zu höheren Betriebsgewichten wurde im „Vorher“-/„Nachher“-Vergleich nachgewiesen. Die Dosierungssysteme an den Alpenübergängen beschränken zwar die Anzahl Fahrten, der Anteil von Fahrten mit Betriebsgewichten über ca. 30 t hat sich jedoch auf den Nord-Süd-Achsen deutlich erhöht. Gemäss 5.2.2. betrug im letzten Jahr der Anteil dieser Fahrten in Nord-Süd-Richtung ca. 15 bis 20%, in West-Ost-Richtung ca. 8%.

Für den Vergleich mit EU-Ländern wurde unser Nachbarland Österreich als geeignet ausgewählt¹⁶. In den Abbildungen 31 bis 33 sind die Verteilungen der Betriebsgewichte an drei WIM-Messstellen zusammengestellt. Analog zu 5.2.1. befindet sich die zusammengefasste Gruppe mit > 32 t in den Diagrammen jeweils ganz rechts.

Die Messstelle 159 am Brennersee (Autobahn A13) ist – analog dem Gotthard – für den Nord-Süd-Verkehr in Österreich repräsentativ, jene bei Linz (A7 Westautobahn) für den West-Ost-Verkehr. Die Messstelle 145 (Bad Sauerbrunn) befindet sich auf einer Schnellstrasse südlich von Wien. Die angegebenen Werte pro Tag repräsentieren den gewichteten Durchschnitt des Jahres 2002.

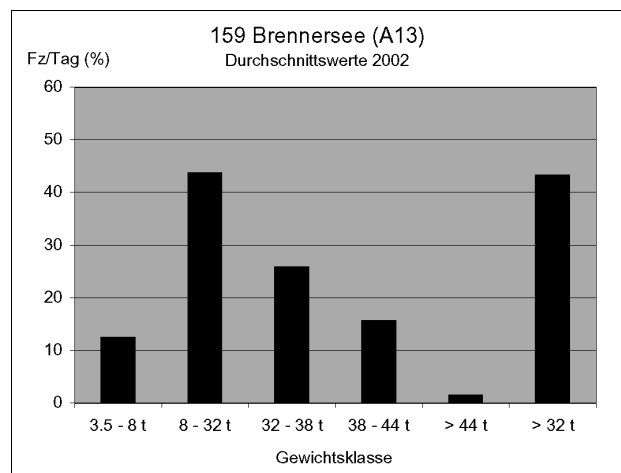


Abb. 31: Verteilung der Betriebsgewichte von Nutzfahrzeugen am Brennersee (Messstelle Nr. 159)

¹⁵ Bei den Leer- und Leichtfahrten erfolgte die Beanspruchung zu 30% (schweizer Kontingent) bzw. ca. 82% (Kontingent für EU- und übrige Drittländer).

¹⁶ Die Daten des Jahres 2002 wurden uns freundlicherweise vom Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie in Wien gestellt.

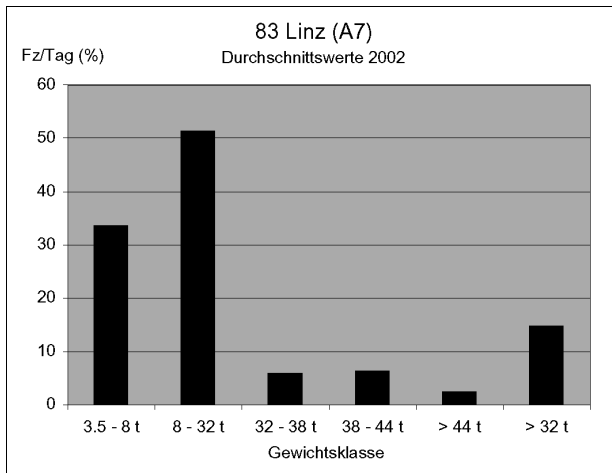


Abb. 32: Verteilung der Betriebsgewichte von Nutzfahrzeugen bei Linz (Messstelle Nr. 83)

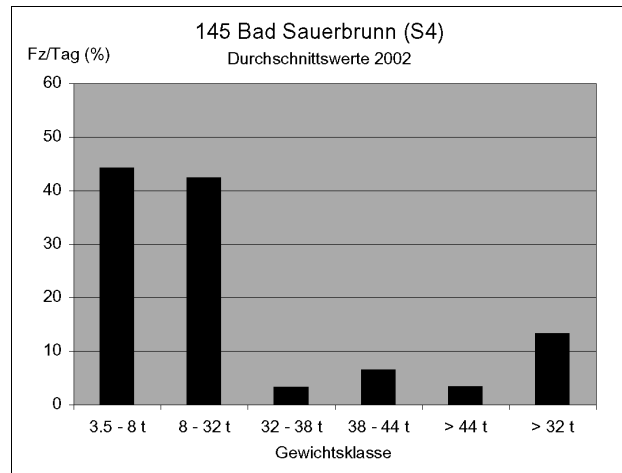


Abb. 33: Verteilung der Betriebsgewichte von Nutzfahrzeugen bei Bad Sauerbrunn (Messstelle Nr. 145)

Wie aus den Abbildungen ersichtlich, ist an den österreichischen WIM-Messstellen der Fahrtenanteil mit Betriebsgewichten > 32 t deutlich höher als auf unseren Strassen. Im West-Ost-Verkehr (Messstelle 83 Linz) liegt er mit 14.9% fast doppelt so hoch wie bei uns auf der A1 (7.5% bei Messstelle 401 Mattstetten, vgl. Tabelle 34). Im Nord-Süd-Verkehr (Messstelle 159 Brennersee) ist der Fahrtenanteil mit Betriebsgewichten > 32 t mit 43.5% mehr als doppelt so gross wie bei uns auf der A2 (18.8% bei Messstelle 402 Gotthardtunnel, vgl. Tabelle 32). Auch wenn der Lastwagenverkehr an der Brennerautobahn als Extremfall betrachtet werden kann, muss davon ausgegangen werden, dass bei uns nach 2005 mit einer deutlichen Erhöhung des erwähnten Fahrtenanteils gerechnet werden muss.

Unter Berücksichtigung dieser entwicklungsbedingten Veränderungen wird deshalb empfohlen, die der VSS-Norm zu Grunde zu legenden Dauergeschwindigkeiten in Steigungen etwas niedriger anzusetzen, als aus den Erhebungen des Jahres 2002 hervorgegangen ist. Wie in 5.2.3. dargelegt, bewirkte im „Vorher“-/„Nachher“-Vergleich die Erhöhung des Fahrtanteils mit Betriebsgewicht über der früheren Gewichtslimite¹⁷ eine Abnahme der Dauergeschwindigkeiten um ca. 5.5 bis 9.8%. Unter Berücksichtigung der Tatsache, dass für Transporte über Fahrrouten mit grösseren Längsneigungen in der Regel eine erhöhte Nutzleistung bereitgestellt wird, ist unseres Erachtens eine *Reduktion der Dauergeschwindigkeiten in Steigungen um 10%* für den Zustand nach 2005 angemessen. Diese sind in folgender Tabelle zusammengestellt. Für die Gefällsrichtung wird empfohlen, die im Jahr 2002 gemessenen Dauergeschwindigkeiten unverändert zu übernehmen.

| i [%] | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-----------------|----------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------|
| Steigung | V _D 2002 [km/h] | 77.8 | 69.8 | 62.4 | 55.6 | 49.4 | 43.8 | 38.8 | 34.3 | 30.5 | (27.3) |
| | V _D 2002 - 10% [km/h] | 70.0 | 62.8 | 56.1 | 50.0 | 44.4 | 39.4 | 34.9 | 30.9 | 27.5 | (24.6) |

Tab. 35: Empfohlene reduzierte Dauergeschwindigkeiten von Lastwagen in Steigungen

Die den ausländischen Verhältnissen ähnliche Verteilung der Betriebsgewichte dürfte auf Strassen in der Schweiz solange bestehen, bis die erhoffte Verlagerung auf die Bahn vollzogen wird. Danach ist davon auszugehen, dass vor allem Transporte mit hohen Betriebsgewichten das Bahnangebot benützen werden. Dies dürfte bei uns die Struktur der Strassentransporte auch hinsichtlich der Betriebsgewichte bedeutend verändern. Aus diesem Grund wird empfohlen, die Erhebungen der Geschwindigkeiten in Steigungen und Gefällen, wie sie im Rahmen dieser Forschungsarbeit durchgeführt wurden, zu gegebener Zeit zu wiederholen. Zu diesem Zweck sollten die Ergebnisse der Gewichtsmessungen, die beim ASTRA aufbereitet werden, herangezogen werden.

¹⁷ Am Gotthard erhöhte sich der Anteil von 6.6% („Vorher“) auf 18.8% („Nachher“), vgl. Tabelle 32.

6. CHARAKTERISTIK DES MASSGEBENDEN LASTWAGENS

Zur Verifizierung der empirischen Messergebnisse wurden Simulationsberechnungen durchgeführt. Über die Art und den Umfang dieser Simulationen wurde in 2.7. bereits informiert. Dieses Kapitel geht auf die Ergebnisse dieser fahrdynamischen Berechnungen ein. Insbesondere soll durch die Gegenüberstellung von empirischen und simulierten Werten der die Verhältnisse auf schweizerischen Strassen am besten abbildende sogenannte Bemessungslastwagen festgelegt werden, welcher als Grundlage für die Konstruktion des Geschwindigkeitsdiagramms verwendet wird (vgl. Kapitel 7).

6.1. Simulationsergebnisse

Die einzelnen Simulationsergebnisse (vgl. Abbildung 6) wurden zur besseren Interpretation in Geschwindigkeits-Weg-Diagramme transformiert, welche je Lastwagentyp alle simulierten Fahrverläufe für verschiedene Längsneigungen enthalten.

Bei der Interpretation der Simulationsergebnisse ist zu beachten, dass diese auf idealisierten Annahmen wie Hochschalten bei optimaler Drehzahl und kurzen Schaltzeiten beruhen. Ebenso wird im Simulationsprogramm ein neues und optimal gewartetes Fahrzeug angenommen. Die individuellen Fahrgewohnheiten und -motivationen können nicht abgebildet werden.

6.1.1. Theoretische Dauergeschwindigkeit in Abhängigkeit der Längsneigung

Die fahrdynamischen Berechnungen für *Beschleunigungsfahrten aus dem Stillstand* konzentrierten sich auf vier Nutzleistungsklassen (7.2, 9.9, 13.3, 14.4 PS/t). Neben der spezifischen Motorleistung ist auch die Hinterachsübersetzung (AÜ) für das Geschwindigkeitsverhalten eines Fahrzeugs, und damit für die erreichbare theoretische Dauergeschwindigkeit, massgebend. Wie in 2.7. erwähnt, wurden je Nutzleistungsklasse jeweils zwei sich in der Hinterachsübersetzung unterscheidende Fahrzeugmodelle simuliert, um den möglichen Schwankungsbereich der erreichbaren Geschwindigkeiten aufzuzeigen.

Die nachfolgende Tabelle gibt Auskunft über die theoretischen Dauergeschwindigkeiten in Steigungen der simulierten Lastwagentypen. Als Anhaltspunkt sind in der zweitletzten Spalte die Werte gemäss Regressionsberechnungen von 2002 aufgeführt. Die letzte Spalte enthält die um 10% reduzierten Regressionswerte, welche in 5.3. als Grundlage für die Normung empfohlen wurden.

| i [%] | 7.2 PS/t (AÜ 5.143) | 7.2 PS/t (AÜ 5.857) | 9.9 PS/t (AÜ 3.714) | 9.9 PS/t (AÜ 4.333) | 13.3 PS/t (AÜ 3.977) | 13.3 PS/t (AÜ 4.833) | 14.4 PS/t (AÜ 4.571) | 14.4 PS/t (AÜ 6.000) | LW 2002 | LW 2002 - 10% |
|-------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|---------|------------------|
| 4 | 37.2 | 38.0 | 49.3 | 46.0 | 61.2 | 60.0 | 70.0 | 67.0 | 55.6 | 50.0 |
| 5 | 32.0 | 30.0 | 37.3 | 41.0 | 52.2 | 51.0 | 59.8 | 62.0 | 49.4 | 44.5 |
| 6 | 27.0 | 27.0 | 34.7 | 32.0 | 46.3 | 43.0 | 48.8 | 52.0 | 43.8 | 39.4 |
| 7 | 22.0 | 24.0 | 29.6 | 30.0 | 36.2 | 40.3 | 45.8 | 43.7 | 38.8 | 34.9 |
| 8 | — | 20.0 | — | — | 34.6 | 36.0 | 40.5 | 41.0 | 34.3 | 30.9 |

Tab. 36: Theoretische Dauergeschwindigkeiten in Steigungen der simulierten Lastwagen in Abhängigkeit der Längsneigung, der spezifischen Nutzleistung und der Hinterachsübersetzung (AÜ)

Bis zu einer Längsneigung von $i \leq 4\%$ liegen die Geschwindigkeiten bei den Lastwagentypen mit kurzer Hinterachsübersetzung (AÜ ist jeweils kleiner) generell leicht höher (1 – 3 km/h) als bei denjenigen mit langer Übersetzung. Eine Ausnahme bildet der schwach motorisierte LW mit 7.2 PS/t.

Bei sehr grossen Längsneigungen (7 bzw. 8%) erreichen die LW mit langer Übersetzung die höheren Geschwindigkeiten. Die Geschwindigkeitsunterschiede liegen in einem Bereich zwischen 2 – 4 km/h.

Die nachfolgende Abbildung zeigt für die simulierten Lastwagen die Geschwindigkeitsverläufe entlang der Neigungsstrecke, wobei die linke Spalte die Ergebnisse mit kurzer, die rechte Spalte diejenigen mit langer Übersetzung darstellt.

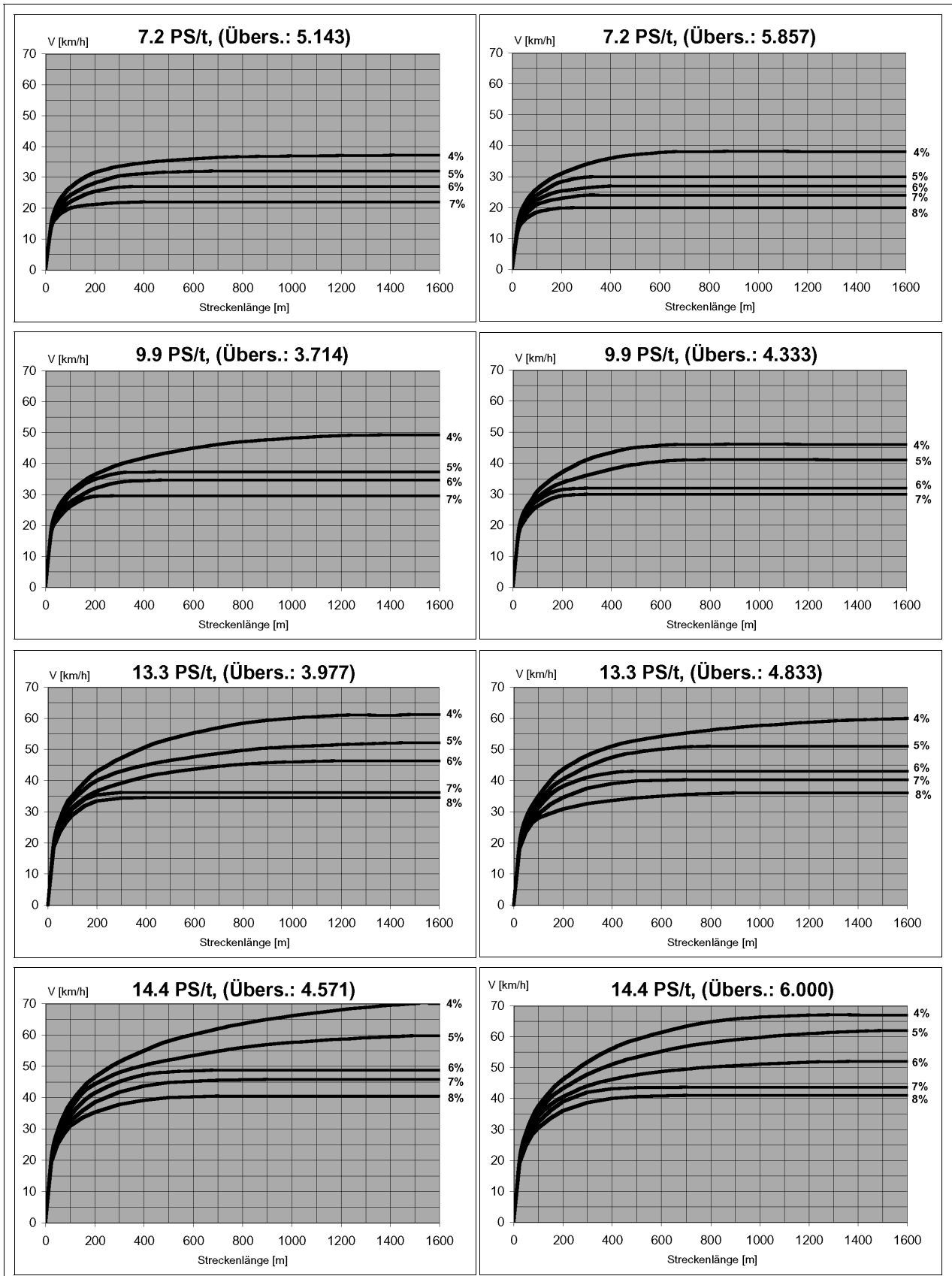


Abb. 34: Geschwindigkeitsverläufe der simulierten Lastwagentypen entlang der Steigungsstrecke in Abhängigkeit der Längsneigung, der spezifischen Nutzleistung und des Übersetzungsverhältnisses für Anfahren aus dem Stillstand

Für eine Nutzleistung von $7.2 PS/t$ zeigen sich erst nach einer zurückgelegten Strecke von ca. 300 m Unterschiede im Beschleunigungsverhalten. Ab $i > 6\%$ erreicht der LW mit langer Übersetzung die höheren Dauer- geschwindigkeiten.

Bei einer Nutzleistung von 9.9 PS/t unterscheidet sich das Beschleunigungsverhalten zwischen LW mit kurzer und langer Übersetzung erst nach rund 400 m Streckenlänge. Die Dauergeschwindigkeit des LW mit kurzer Übersetzung liegt bei einer Längsneigung von 4 bzw. 6% um rund 3 km/h über derjenigen des LW mit langer Übersetzung. Bei 7% sind keine Unterschiede mehr feststellbar.

Beim Lastwagentyp mit 13.3 PS/t zeigt sich ein Unterschied im Beschleunigungsverhalten nach rund 500 m zurückgelegter Strecke. Die Dauergeschwindigkeit des LW mit kurzer Übersetzung liegt im Bereich von 4 bis 6% um rund 1 – 3 km/h über derjenigen des LW mit langer Übersetzung. Erst ab $i \geq 7\%$ erreicht der LW mit langer Übersetzung die höheren Geschwindigkeiten.

Bei 14.4 PS/t zeigen sich ebenfalls erst nach rund 500 m Unterschiede im Beschleunigungsverhalten. Die Geschwindigkeit des LW mit kurzer Übersetzung liegt bei $i=4\%$ um 3 km/h über derjenigen des LW mit langer Übersetzung. Im Bereich von 5 – 6% erreicht der LW mit langer Übersetzung um 2 – 3 km/h höhere Dauergeschwindigkeiten.

Die fahrdynamischen Berechnungen für *Verzögerungsvorgänge aus der Ebene in die Steigung* bei einer Zufahrtsgeschwindigkeit von 80 km/h konnten nur für eine Nutzleistung von 7.8 PS/t durchgeführt werden. Nachfolgend sind die Ergebnisse in tabellarischer und grafischer Form dargestellt. Für die Längsneigungen von 5 und 7% wurden die Geschwindigkeitsverläufe durch Interpolation rekonstruiert (gestrichelte Linien).

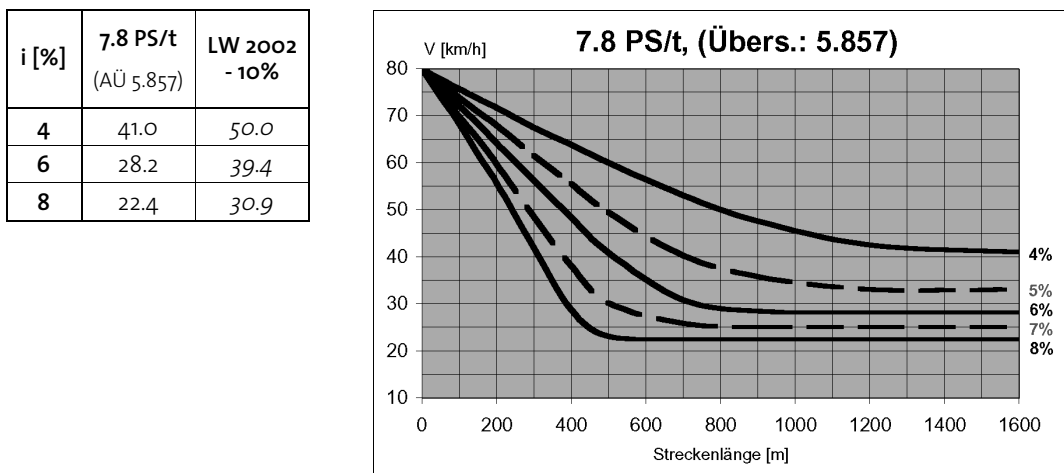


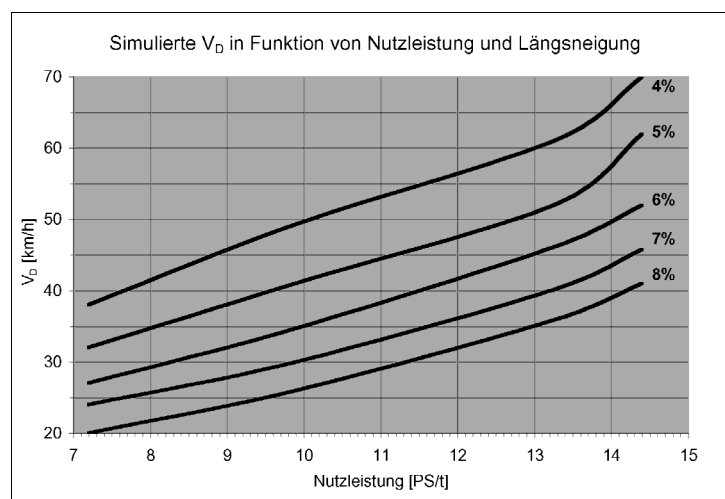
Abb. 35: Geschwindigkeitsverläufe des simulierten Lastwagens für Verzögerungsvorgänge entlang der Steigungsstrecke in Abhängigkeit der Längsneigung

6.1.2. Theoretische Dauergeschwindigkeit in Abhängigkeit der Nutzleistung

Für Vergleichszwecke und zur Bestimmung der massgebenden spezifischen Nutzleistung wurden die simulierten Dauergeschwindigkeiten in Funktion der Nutzleistung und der Längsneigung dargestellt. Dabei wurde je Nutzleistungsklasse für jede Längsneigung der jeweils höhere Geschwindigkeitswert der beiden Übersetzungsverhältnisse verwendet.

Es zeigt sich, dass für den Längsneigungsbereich zwischen 4 und 5% die Unterschiede in den Dauergeschwindigkeiten zwischen den schwach (7.7 PS/t) und den stark (14.4 PS/t) motorisierten Lastwagen bei rund 31 km/h liegen. Mit zunehmender Längsneigung reduzieren sich die Unterschiede auf rund 21 km/h bei 8% Längsneigung.

Abb. 36: Simulierte Dauergeschwindigkeiten in Funktion der Nutzleistung und Längsneigung



6.2. Vergleiche mit den empirischen Messergebnissen

Anhand der Gegenüberstellung der empirischen Messergebnisse mit den Simulationsergebnissen kann die vorhandene spezifische Nutzleistung des neuen Bemessungslastwagens abgeschätzt werden.

Abbildung 37 zeigt, dass sowohl die Messergebnisse von 2002 als auch die um 10% reduzierten Werte im Längsneigungsbereich von 4 bis 8% bezüglich der Dauergeschwindigkeiten einer spezifischen Nutzleistung zwischen 9.9 und 13.3 PS/t entsprechen.

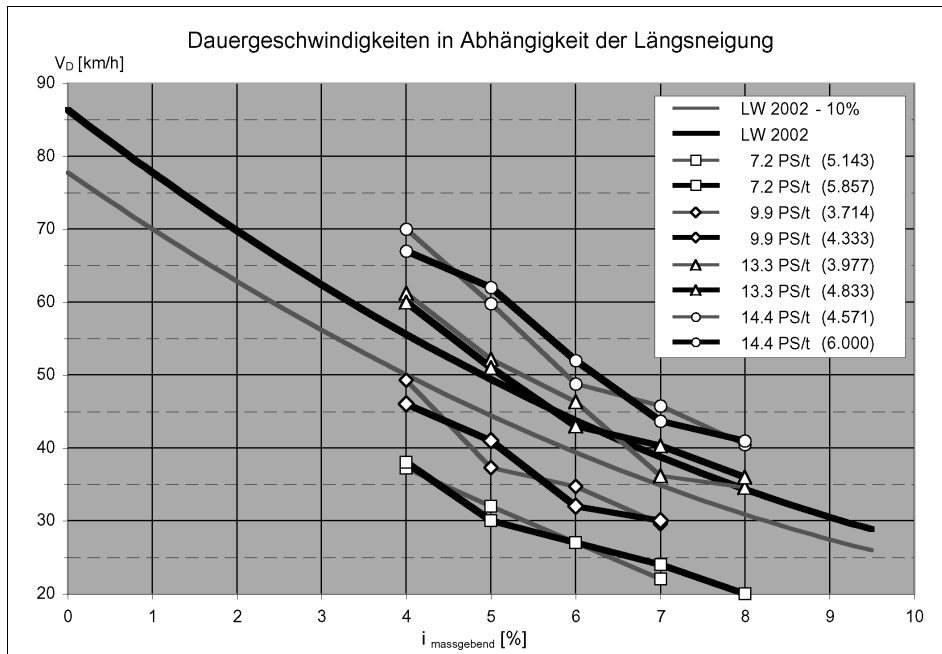


Abb. 37: Gegenüberstellung von simulierten und empirisch ermittelten Dauergeschwindigkeiten in Steigungen in Abhängigkeit der Längsneigung

Zur genaueren Abschätzung der vorhandenen Nutzleistung wurden die empirischen Ergebnisse in das unter 6.1.2. konstruierte Diagramm eingetragen, welches die Dauergeschwindigkeit in Funktion der simulierten Nutzleistung und Längsneigung darstellt (Abbildung 38). Für den Nutzleistungsbereich zwischen 9.9 und 13.3 PS/t verlaufen die simulierten Dauergeschwindigkeiten linear, so dass sich die tatsächlich vorhandene Nutzleistung durch Interpolation bestimmen lässt (vgl. auch Tabelle 37).

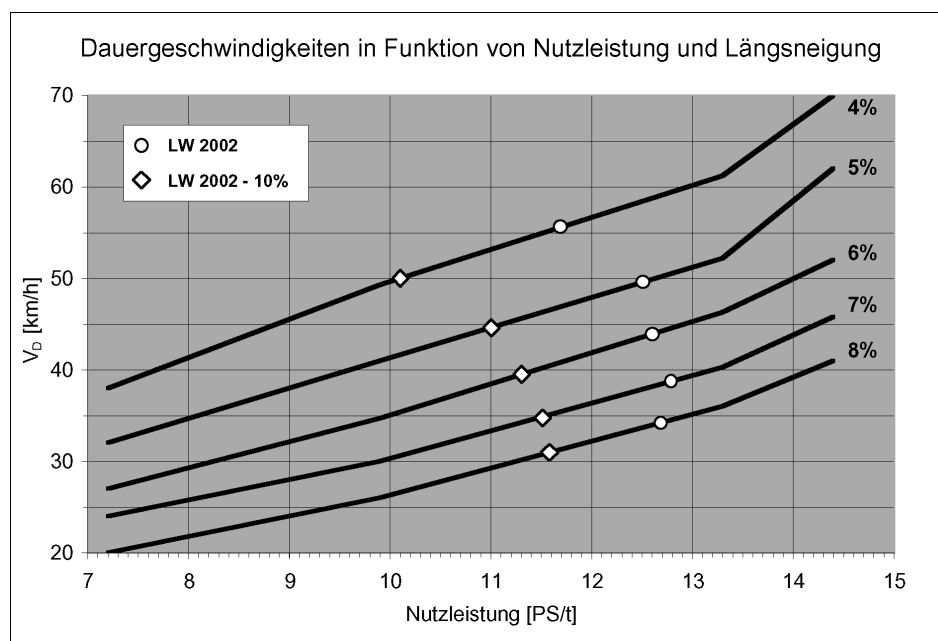


Abb. 38: Gegenüberstellung von simulierten und empirisch ermittelten Dauergeschwindigkeiten in Abhängigkeit der spezifischen Nutzleistung

Die so ermittelten tatsächlichen spezifischen Nutzleistungen liegen für die Ergebnisse von 2002 für den Längsneigungsbereich von 4 bis 8% zwischen 11.7 und 12.8 PS/t. Im Mittel entsprechen die Dauergeschwindigkeiten von 2002 einem Lastwagen mit 12.4 PS/t. Für die um 10% reduzierten Messergebnisse von 2002 ergeben sich spezifische Nutzleistungen zwischen 10.1 und 11.6 PS/t. Das Mittel liegt bei 11.1 PS/t.

| | LW 9.9 PS/t | LW 2002 - 10% | | LW 2002 | | LW 13.3 PS/t |
|-------|----------------------------|---------------|------------------|---------|------------------|----------------------------|
| i [%] | $V_{D \text{ Simulation}}$ | V_D | PS/t (interpol.) | V_D | PS/t (interpol.) | $V_{D \text{ Simulation}}$ |
| 4 | 49.3 | 50.0 | 10.1 | 55.6 | 11.7 | 61.2 |
| 5 | 41.0 | 44.5 | 11.0 | 49.4 | 12.5 | 52.2 |
| 6 | 34.7 | 39.4 | 11.3 | 43.8 | 12.6 | 46.3 |
| 7 | 30.0 | 34.9 | 11.5 | 38.8 | 12.8 | 40.3 |
| 8 | 26.0 | 30.9 | 11.6 | 34.3 | 12.7 | 36.0 |
| | | | Ø 11.1 | | Ø 12.4 | |

Tab. 37: Durch Interpolation ermittelte spezifische Nutzleistungen der empirischen Messergebnisse

Interessanterweise nimmt die spezifische Nutzleistung bei zunehmender Längsneigung zu. Daraus lässt sich schliessen, dass auf Strecken mit grösseren Längsneigungen, und das ist beispielsweise auf der Nord-Süd-Achse der Fall, tendenziell stärker motorisierte Lastwagen zum Einsatz kommen als auf weniger steilen oder ebenen Strecken oder aber die vorhandene Motorleistung bis 4% Steigung nicht voll ausgenützt wird.

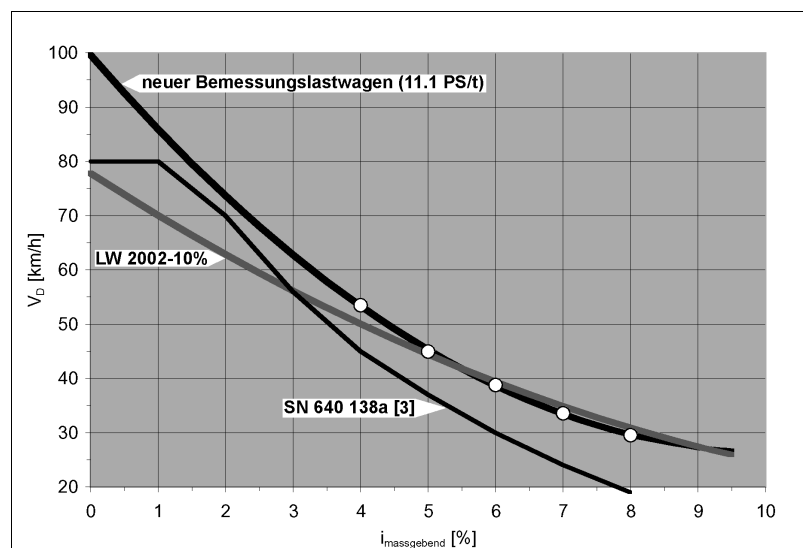
6.3. Festlegung des Bemessungslastwagens

Gemäss den Ergebnissen aus 5.3. und 6.2. wird dem *neuen Bemessungslastwagen eine spezifische Nutzleistung von 11.1 PS/t* zu Grunde gelegt. Dies erfolgt auf Basis der um 10% reduzierten empirischen Dauergeschwindigkeiten des Jahres 2002 (vgl. Tab. 35). Um die entsprechenden Dauergeschwindigkeiten in Abhängigkeit der Längsneigung für diesen Lastwagen mit einer Nutzleistung von 11.1 PS/t ermitteln zu können, wurde zwischen den Simulationsergebnissen für 9.9 und 13.3 PS/t interpoliert. Für die Längsneigungsbereiche von $i < 4\%$ bzw. $i > 8\%$ wurden die Werte aufgrund einer quadratischen Funktion extrapoliert (*kursiv*). Die Ergebnisse, ergänzt mit den empirischen $V_{15\%}$ -Werten (LW 2002 – 10%), sind in Tabelle 38 und in Abbildung 39 dargestellt.

| | i [%] | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 9.5 |
|-----------------|-------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Steigung | V_D 11.1 PS/t [km/h] | 85.9 | 73.7 | 62.8 | 53.5 | 45.0 | 38.8 | 33.6 | 29.5 | 27.2 | 26.6 |
| | V_D 2002 – 10% [km/h] | 70.0 | 62.8 | 56.1 | 50.0 | 44.4 | 39.4 | 34.9 | 30.9 | 27.5 | 26.0 |
| | ΔV_D [km/h] | 15.9 | 10.9 | 6.7 | 3.5 | 0.6 | -0.6 | -1.3 | -1.4 | -0.3 | 0.6 |

Tab. 38: Vergleich der Dauergeschwindigkeiten von Lastwagen in Steigungen, aus Messungen (LW 2002 – 10%) und aus theoretischen Berechnungen (LW 11.1 PS/t)

Abb. 39: Vergleich der Dauergeschwindigkeiten von Lastwagen in Steigungen, aus Messungen (LW 2002 – 10%), theoretischen Berechnungen (LW 11.1 PS/t) und gemäss bestehender Norm



Als Folge der optimalen Bedingungen bei der Simulation (kurze Schaltzeiten, Hochschalten bei optimaler Drehzahl) und der Auslegung des Modell-Lastwagens (Verwendung des jeweils höheren Geschwindigkeitswertes aus beiden Übersetzungsverhältnissen) war zu erwarten, dass die theoretischen Dauergeschwindigkeiten höher liegen als die $V_{15\%}$, die aus Messungen im tatsächlichen Verkehrsablauf ermittelt wurden.

Aus Abbildung 39, welche zu Vergleichszwecken mit den Geschwindigkeitswerten der bestehenden Norm [3] ergänzt wurde, ist ersichtlich, dass die beiden Kurven im Bereich zwischen $i = 5 - 9.5\%$ gut übereinstimmen. Bei Steigungen unter 4% liegen die theoretischen Dauergeschwindigkeiten des LW mit 11.1 PS/t aber zum Teil deutlich über den Messergebnissen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass einerseits die gemessenen Dauergeschwindigkeiten bei 4% gemäss Tabelle 37 einem schwächer motorisierten Lastwagen mit „nur“ 10.1 PS/t entsprechen und andererseits gemäss [5] erst ab Steigungen über 3% die vorhandene Motorleistung voll ausgenutzt und dementsprechend mit der höchstmöglichen Geschwindigkeit gefahren wird. In Steigungen bis 1.5% kann die gesetzliche Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h auch von Lastwagen mit der gesetzlichen Mindestmotorisierung erreicht werden.

Aus diesen Überlegungen geht hervor, dass eine Erhöhung der Dauergeschwindigkeiten im Neigungsbereich von $1 - 3\%$ für Projektierungszwecke zulässig ist. Abbildung 40 zeigt den Vorschlag für die neue Norm. Zusätzlich wurden die Geschwindigkeiten auf ganzzahlige Werte gerundet (vgl. auch Tabelle 39).

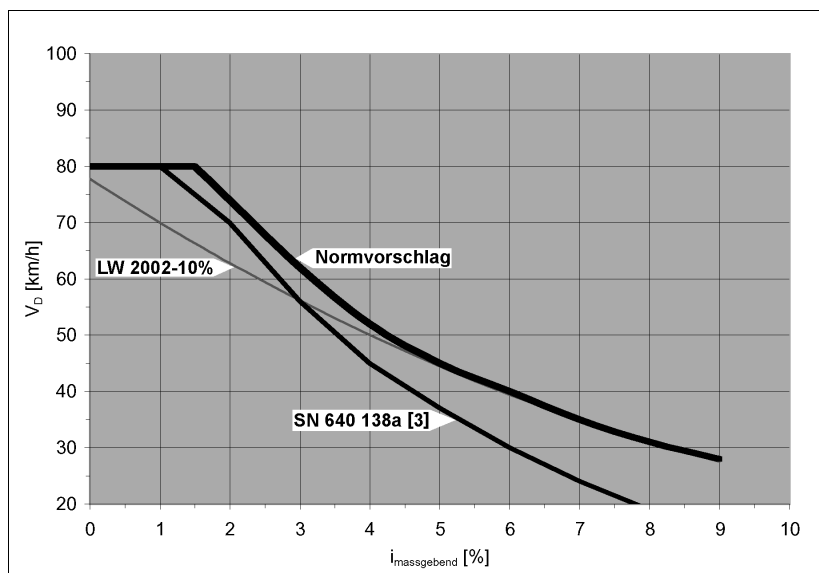


Abb. 40: Normvorschlag für Dauergeschwindigkeiten von Lastwagen in Steigungen

Im Vergleich zur bestehenden Norm sind die V_D -Werte bis 1% unverändert. Ab 1.5% Längsneigung weicht der Normvorschlag von der bestehenden Norm ab. Dabei nehmen die Geschwindigkeitsunterschiede mit zunehmender Längsneigung von 4 km/h bei 2% Steigung auf bis zu 12 km/h bei 8% Steigung zu. Für Längsneigungen über 8% enthält die bestehende Norm keine Angaben.

| | i [%] | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|-----------------|-----------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Steigung | V_D Normvorschlag | 80 | 80 | 74 | 62 | 52 | 45 | 40 | 35 | 31 | 28 |
| | V_D SN 640 138a [3] | 80 | 80 | 70 | 56 | 45 | 37 | 30 | 24 | 19 | — |
| | ΔV_D [km/h] | 0 | 0 | 4 | 6 | 7 | 8 | 10 | 11 | 12 | — |

Tab. 39: Vergleich der Dauergeschwindigkeiten von Lastwagen in Steigungen nach neuem Normvorschlag und bestehender Norm

7. GESCHWINDIGKEITSVERLAUF

7.1. Konstruktion der Geschwindigkeitsprofile

Anhand der Simulationsergebnisse, welche in 6.1. beschrieben sind, wird im Folgenden versucht, für den neuen Bemessungslastwagen, der einer spezifische Nutzleistung von 11.1 PS/t entspricht, die entsprechenden theoretischen Geschwindigkeitsprofile herzuleiten. Diese Geschwindigkeitsprofile für Beschleunigungs- und Verzögerungsvorgänge dienen anschliessend als Basis für den Vergleich mit den empirischen Messergebnissen, der bestehenden Norm sowie den Festlegungen im HBS 2001 aus Deutschland [16]. Anhand der Erkenntnisse aus diesen Vergleichen können die theoretischen Geschwindigkeitsprofile entsprechend angepasst und zu einem Vorschlag für neue fahrdynamische Grundlagen von Lastwagen ausgearbeitet werden.

7.1.1. Beschleunigungsvorgänge

Die Konstruktion der Beschleunigungsvorgänge des neuen Bemessungslastwagen erfolgte auf Basis der Simulationsergebnisse für Lastwagen mit einer Nutzleistung von 9.9 und 13.3 PS/t (vgl. Abbildung 34). Dabei wurde je Nutzleistungsklasse und Längsneigung jeweils derjenige Geschwindigkeitsverlauf gewählt, welcher zu einer höheren Dauergeschwindigkeit führte. Dies ergab für die beiden Nutzleistungsklassen je ein neues Geschwindigkeitsprofil. Ausgehend vom Normvorschlag für Dauergeschwindigkeiten (vgl. Tabelle 39) wurden die einzelnen Stützpunkte für jede Längsneigung separat interpoliert. Das Ergebnis der Interpolation für Beschleunigungsvorgänge bei Längsneigungen zwischen 4 und 8% ist in Abbildung 41 dargestellt.

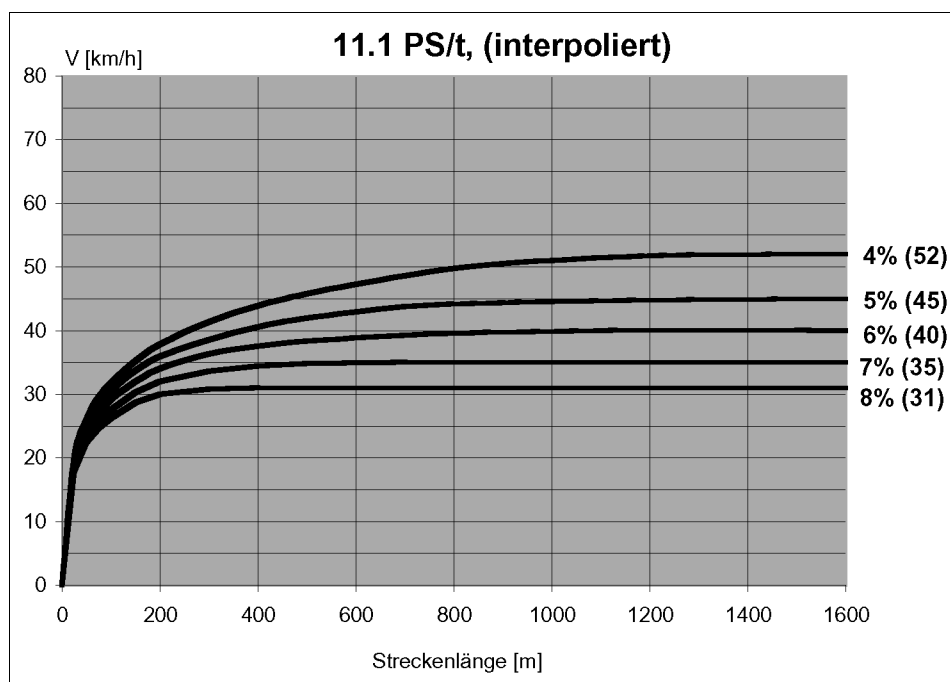


Abb. 41: Geschwindigkeitsprofil des Bemessungslastwagens (11.1 PS/t) in Steigungen beim Anfahren aus dem Stillstand (interpoliert)

7.1.2. Verzögerungsvorgänge

Für die Konstruktion der Verzögerungsvorgänge stand nur eine Fahrsimulation eines Lastwagens mit einer Nutzleistung von 7.8 PS/t zur Verfügung (vgl. Abbildung 35). Demgegenüber sind die Verzögerungsvorgänge bei verschiedenen Längsneigungen durch die empirischen Messungen gut abgedeckt. Für eine erste Annäherung des Geschwindigkeitsprofils des Bemessungslastwagens für Verzögerungsvorgänge wurde die bestehende Norm [3] herangezogen, deren Geschwindigkeitsprofil in etwa einem Lastwagen mit 10 PS/t entspricht. Dazu wurde für Längsneigungen zwischen 4 und 8% diejenige Streckenlänge bestimmt, ab welcher die Dauergeschwindigkeit erreicht wird. Die Streckenlänge für den neuen Bemessungslastwagen,

ab welcher die Geschwindigkeit konstant verläuft, wurden anschliessend durch Extrapolation abgeschätzt. Für Längsneigungen unter 7% werden die Dauergeschwindigkeiten nach 1600 m zurückgelegter Strecke noch nicht erreicht. Die Form der Abrundung lehnt an das Simulationsergebnis an. In Abbildung 42 ist das Geschwindigkeitsprofil für Verzögerungsvorgänge des neuen Bemessungslastwagens dargestellt.

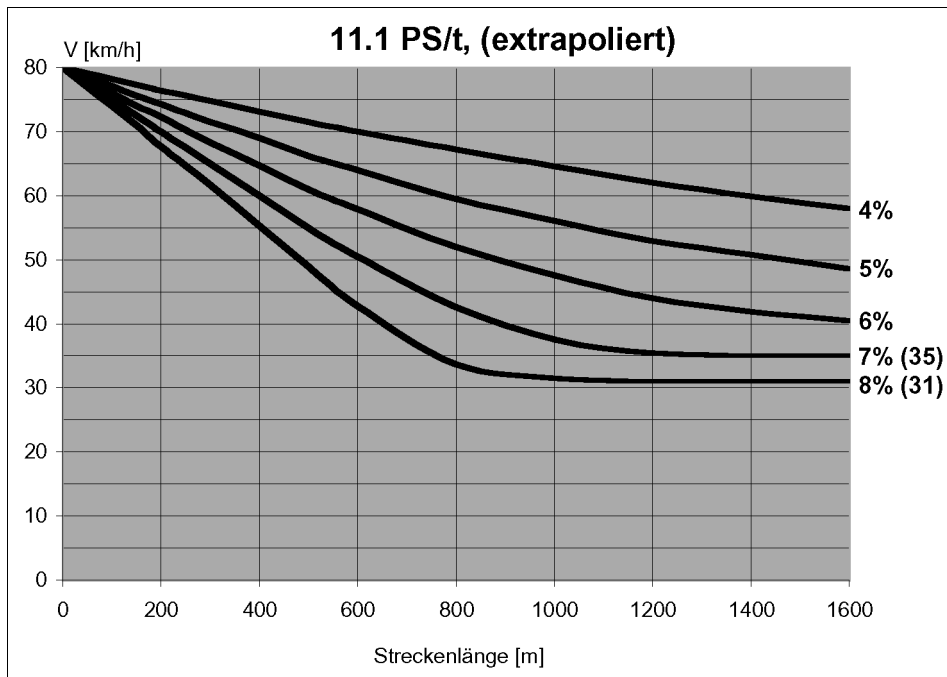


Abb. 42: Geschwindigkeitsprofil des Bemessungslastwagens (11.1 PS/t) für Verzögerungsvorgänge in Steigungen (extrapoliert)

7.2. Vergleich der Geschwindigkeitsverläufe

7.2.1. Gegenüberstellung mit den empirischen Messungen

Abbildung 43 zeigt die Verläufe der $V_{15\%}$ -Geschwindigkeit in Steigungen für Anfahr- bzw. Beschleunigungsvorgänge ausgewählter Untersuchungsstrecken, Abbildung 44 jene für Verzögerungsvorgänge. Zusätzlich enthalten die Abbildungen die Geschwindigkeitsverläufe des neuen Bemessungslastwagens für Längsneigungen zwischen 4 und 8% (gestrichelte Linien). Diese simulierten Kurven dienen dazu, die empirischen Verläufe entsprechend den nachfolgenden Überlegungen platzieren zu können. Der Umstand, dass die empirischen Verläufe auf Basis der Simulation in das Diagramm eingeordnet werden, bildet die einzige Unsicherheit bei diesem Vorgehen.

Der weiße Punkt auf den einzelnen Verlaufskurven repräsentiert denjenigen Messquerschnitt, dessen Längsneigung und Geschwindigkeit vor dem Hintergrund der Simulation in das Diagramm eingepasst wurde. Somit entsprechen die Verläufe links des platzierten Punktes nicht dem simulierten Hintergrund. Neben der Angabe der Nummer der Untersuchungsstrecke und dem Jahr der Erhebung ist auch die in diesem Punkt vorhandene Längsneigung ersichtlich (vgl. auch Anhang 1), welche teilweise nicht der am Ende der Untersuchungsstrecke effektiv vorhandenen Neigung entspricht. Weiter mussten sich die empirischen Verläufe innerhalb der ersten 2000 m Streckenlänge befinden, was beispielsweise bei den Erhebungen am Gotthard (Strecken 8 und 9) nicht der Fall war.

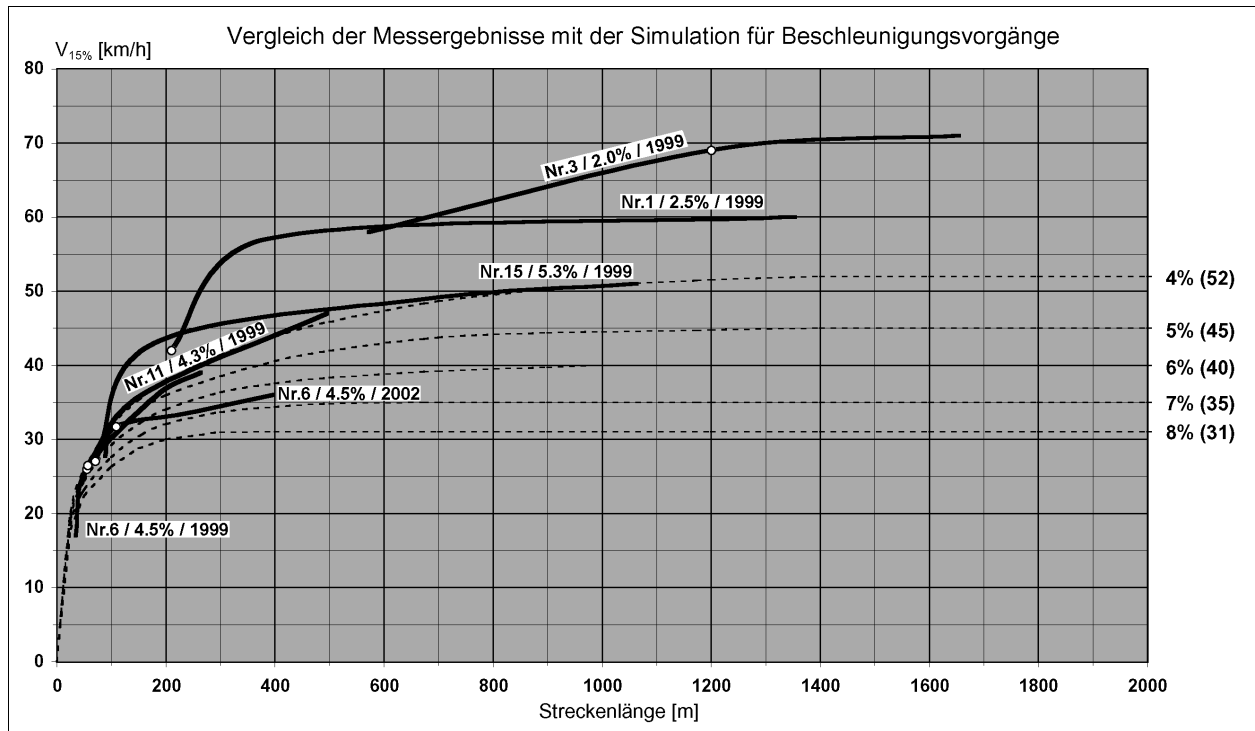


Abb. 43: Gegenüberstellung der empirischen Geschwindigkeitsverläufe in Steigungen ($V_{15\%}$) mit der Simulation für Beschleunigungsvorgänge

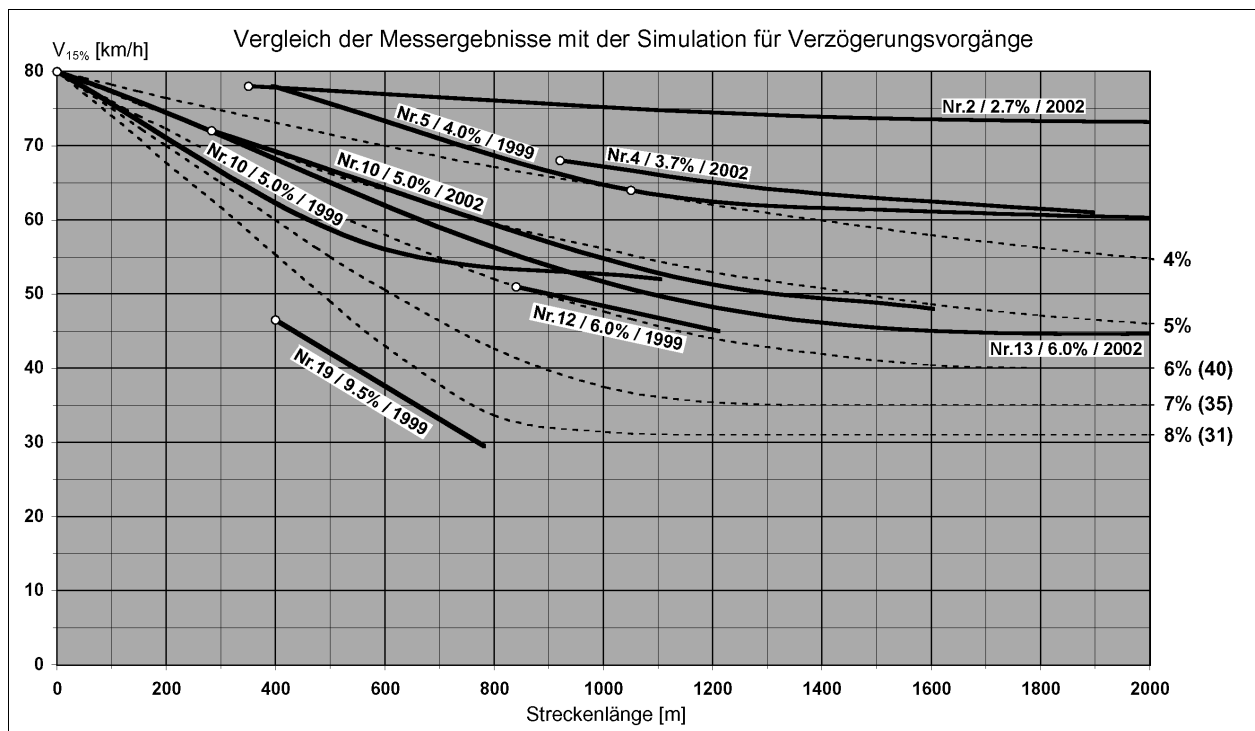


Abb. 44: Gegenüberstellung der empirischen Geschwindigkeitsverläufe in Steigungen ($V_{15\%}$) mit der Simulation für Verzögerungsvorgänge

Bei den Geschwindigkeitsverläufen für *Beschleunigungsvorgänge* (Abbildung 43) fällt auf, dass die empirischen Erhebungen zu Beginn ähnlich steil verlaufen wie die Simulation. Dies bedeutet, dass das neue Geschwindigkeitsdiagramm auf den simulierten Anfahrvorgängen aufgebaut werden kann. Bei kleineren Längsneigungen (Nr. 1 und 3) erstreckt sich der Beschleunigungsvorgang erwartungsgemäss über eine noch längere Distanz als der simulierte Verlauf bei 4% Längsneigung zeigt. Dies ergibt weitere Anhaltspunkte für

die noch offenen Verläufe bei Längsneigungen unter 4%. Wie zu erwarten war, liegen die Endgeschwindigkeiten der hier abgebildeten empirischen Verläufe mit einer Ausnahme (Strecke Nr.6, 2002) über den Simulationsergebnissen, welche auf den um 10% reduzierten Dauergeschwindigkeiten beruhen. Für einen exakten Vergleich wären demnach die empirischen Geschwindigkeitsverläufe auch um 10% zu reduzieren.

Bei den *Verzögerungsvorgängen* (Abbildung 44) zeigt die Gegenüberstellung eine deutliche Übereinstimmung, was den Bereich mit der linearen Geschwindigkeitsänderung anbelangt. Der distanzabhängige Geschwindigkeitsabfall in den Steigungen aus den Messungen weist eine ähnliche Neigung wie die Simulationsergebnisse auf. Auch der Übergang zur Dauergeschwindigkeit liegt in dem Streckenbereich, der aus der Simulation hervorgeht. Eine Ausnahme bildet die Messung aus dem Jahr 1999 auf der Messstrecke 10 (Südrampe Belchen). Wie bereits bei den Beschleunigungsvorgängen festgestellt, liegen die Endgeschwindigkeiten der Messungen zum grössten Teil über den simulierten Verläufen.

Aufgrund dieser Erkenntnisse lässt sich das neue Geschwindigkeitsdiagramm mit dem simulierten Hintergrund des Bemessungslastwagens unseres Erachtens zutreffend herleiten. Weitere Anhaltspunkte liefern die beiden nächsten Abschnitte.

7.2.2. Vergleich mit der bestehenden Norm

Die beiden folgenden Abbildungen zeigen die Gegenüberstellung der Simulationsergebnisse mit der bestehenden Norm (gestrichelte Linien) [3], getrennt nach Beschleunigungs- und Verzögerungsvorgängen.

Im Gegensatz zur bestehenden Norm zeigen die simulierten Anfahrvorgänge auf den ersten ca. 200 m einen steileren Beschleunigungsverlauf, was auf ein grösseres Beschleunigungsvermögen des simulierten Lastwagens hindeutet. Zudem sind sie auf den ersten 25 bis 50 m von der Längsneigung praktisch unabhängig. Diesen Sachverhalt zeigen auch die empirischen Ergebnisse (vgl. Abbildung 43). Die Kurvenschar fächert auch nach 200 m zurückgelegter Strecke nicht in dem Ausmass auf, wie dies bei der bestehenden Norm der Fall ist.

Der simulierte Verlauf bei 5% Längsneigung deckt sich nach 400 m in etwa mit dem Normverlauf bei 4%. Im Übergang von der Beschleunigungsphase zur Dauergeschwindigkeit, d.h. in den Punkten, wo nach einer bestimmten zurückgelegten Weglänge die konstante Geschwindigkeit erreicht ist (vgl. 7.3.), verhält sich die Simulation ähnlich proportional wie die Norm, wobei bei grossen Längsneigungen (7 und 8%) dank grösserem Beschleunigungsvermögen die Dauergeschwindigkeit neu früher erreicht wird, bei mittleren Längsneigungen (4 bis 6%) neu länger beschleunigt werden kann. Bei allen simulierten Verläufen liegen die Geschwindigkeiten über die gesamte Streckenlänge über den Werten der bestehenden Norm.

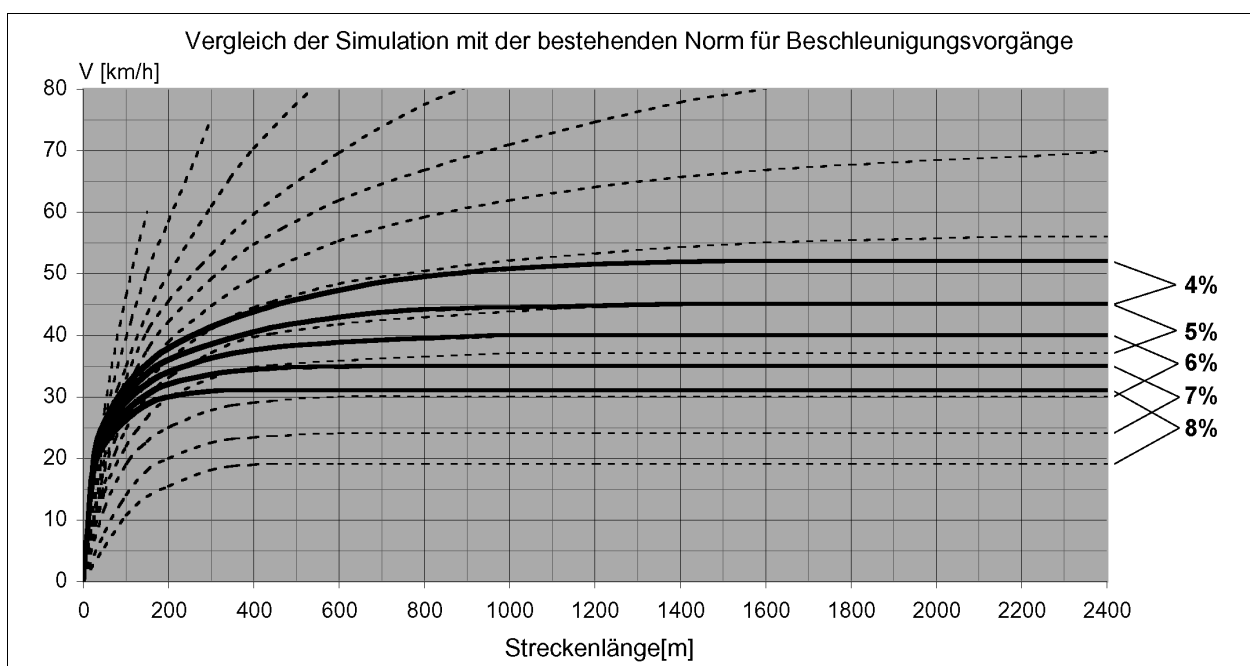


Abb. 45: Gegenüberstellung der simulierten Geschwindigkeitsverläufe für Beschleunigungsvorgänge in Steigungen mit der bestehenden Norm [3]

Auch bei den Verzögerungsvorgängen zeigt die Simulation ein besseres Geschwindigkeitsverhalten als die bestehende Norm. So fällt mit zunehmender zurückgelegter Weglänge die Geschwindigkeit weniger schnell ab, d.h. die simulierten Verzögerungen sind weniger stark ausgeprägt. Der simulierte Geschwindigkeitsverlauf bei einer Längsneigung von 4% entspricht bis etwa 1600 m dem Normverlauf bei 3% Steigung.

Bei den Verzögerungen zeigt sich ebenfalls die Proportionalität bezüglich der zurückgelegten Streckenlänge bis zum Erreichen der Dauergeschwindigkeit.

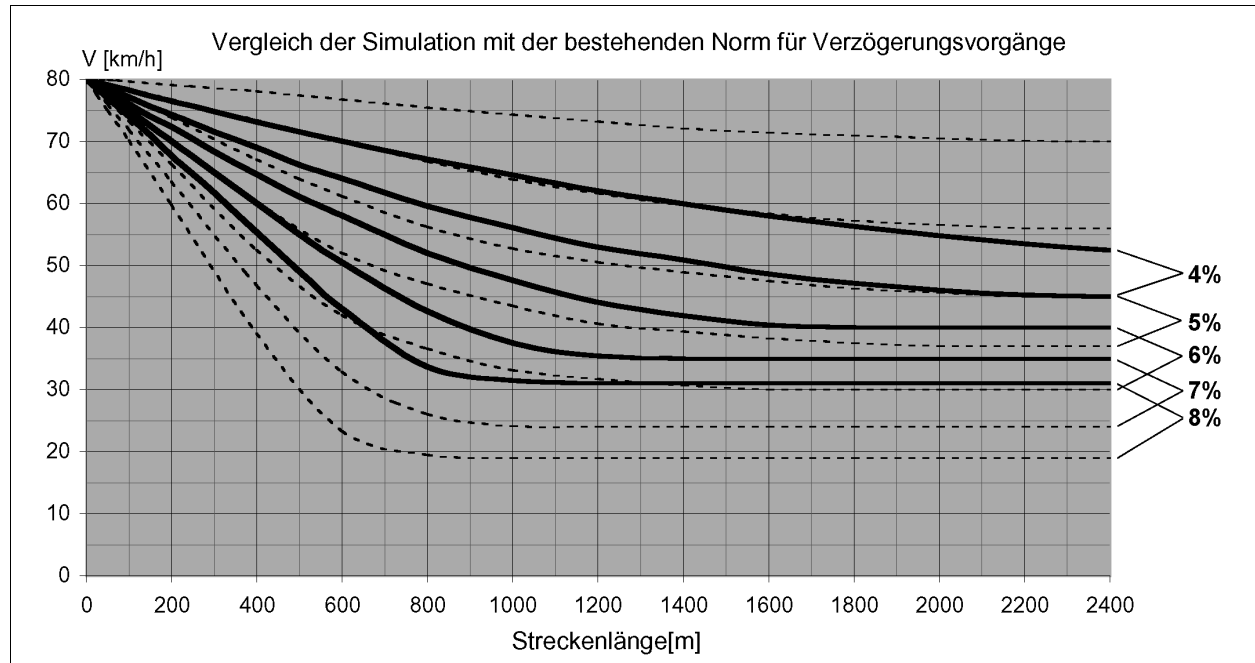


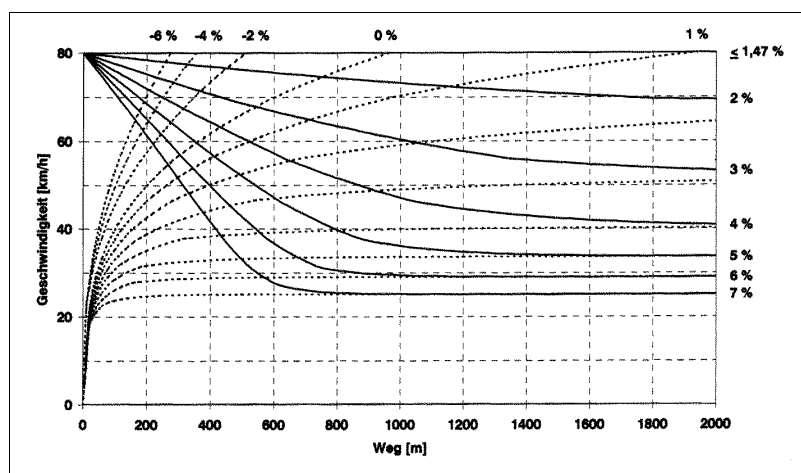
Abb. 46: Gegenüberstellung der simulierten Geschwindigkeitsverläufe für Verzögerungsvorgänge in Steigungen mit der bestehenden Norm [3]

7.2.3. Vergleich mit dem HBS 2001

In Deutschland wurde im Rahmen der Erarbeitung des Handbuchs für die Bemessung von Strassenverkehrsanlagen (HBS 2001) [16] ebenfalls ein neues Bemessungs-Schwerfahrzeug festgelegt. Diesem wurde eine spezifische Nutzleistung von ca. $9,5 \text{ PS/t}$ zu Grunde gelegt. Diese Festlegung basierte ausschliesslich auf Befragungen des Bundesamtes für Güterverkehr aus dem Jahr 1997 von rund 1000 LKW-Fahrern, welche Angaben zu Motorisierung und Beladung machen mussten. Mittels einer Nutzleistungsverteilung wurde anschliessend der 15%-Wert als massgebend erachtet. Ergänzende Geschwindigkeitsmessungen im realen Verkehrsablauf wurden jedoch nicht durchgeführt.

Mit Hilfe von Simulationsberechnungen wurde das in Abbildung 47 dargestellte Geschwindigkeits-Weg-Diagramm konstruiert. Die Kurven weisen einen ähnlichen Verlauf auf wie die im Rahmen dieser Forschungsarbeit bereits unter 6.1. dargestellten Ergebnisse. Ein querschnittsbezogener Vergleich folgt im nächsten Abschnitt.

Abb. 47: Geschwindigkeitsprofile für LW in Deutschland gemäss HBS 2001 [16]



7.3. Geschwindigkeitsverlauf des Bemessungslastwagens

Aufgrund der erhobenen Geschwindigkeitsverläufe auf den einzelnen Neigungsstrecken und unter Berücksichtigung der Simulationsergebnisse wurden für Neigungen von -6 bis $+9\%$ die Geschwindigkeitsprofile, getrennt nach Beschleunigungs- und Verzögerungsvorgängen konstruiert. Die Ergebnisse sind in Abbildung 48 dargestellt. Das Vorgehen lehnt sich dabei an [5] an.

Ausgehend von den festgelegten Dauergeschwindigkeiten in Steigungen (vgl. Tabelle 39) wurden zuerst die Fahrdistanzen ermittelt, die zwischen den Zufahrtsgeschwindigkeiten von 80 km/h (Verzögerung) bzw. 0 km/h (Beschleunigung) bis zum Erreichen der V_D zurückgelegt werden. Anschliessend wurde die Grösse der konstanten Verzögerung und die dazugehörige Länge bestimmt. Die restlichen Bereiche der Geschwindigkeitsprofile wurden in Anlehnung an die Verläufe aus den Simulationsergebnissen in 7.1. ausgerundet. Bei der Konstruktion waren Interpolationen und Annäherungen notwendig. Die entsprechenden Analysen erfolgten in fünf Querschnitten (vgl. Tabellen 40 und 41).

Die Dauergeschwindigkeiten für Gefällsstrecken wurden aus Tabelle 26 übernommen, wobei die Geschwindigkeiten auf ganzzahlige Werte gerundet wurden. Die Beschleunigungsverläufe in Gefällen mussten dabei aus den deutschen Richtlinien abgeleitet (vgl. Abbildung 47) werden, da dieser Längsneigungsbereich nicht durch eigene Simulationen abgedeckt war.

In den Tabellen 40 (Verzögerungsvorgang) und 41 (Beschleunigungsvorgang) sind für ausgewählte Längsneigungen und Fahrdistanzen die Geschwindigkeiten entsprechend den neuen Geschwindigkeitsprofilen (Abbildung 48) jenen der bestehenden Norm [3] und der deutschen Richtlinien [16] gegenübergestellt.

| Längsneigung i [%] | | Geschwindigkeit V [km/h] nach Distanz [m] bei Verzögerung | | | | | V_D nach [m] |
|----------------------|-----------------|---|------|------|------|------|----------------|
| | | 200 | 400 | 600 | 1000 | 1400 | |
| 3 | neuer Vorschlag | 78.0 | 76.0 | 74.2 | 70.9 | 68.1 | 2'700 |
| | bestehende Norm | 76.5 | 73.0 | 69.5 | 63.5 | 59.5 | 2'400 |
| | HBS 2001 | 75.5 | 71.0 | 67.0 | 60.5 | 56.0 | 2'300 |
| 4 | neuer Vorschlag | 76.3 | 72.6 | 69.1 | 63.7 | 59.1 | 2'550 |
| | bestehende Norm | 73.5 | 66.5 | 60.5 | 52.5 | 48.5 | 2'200 |
| | HBS 2001 | 72.0 | 64.5 | 57.5 | 47.0 | 43.0 | 2'100 |
| 5 | neuer Vorschlag | 74.3 | 68.7 | 63.3 | 55.0 | 49.1 | 2'400 |
| | bestehende Norm | 70.5 | 60.5 | 52.0 | 43.0 | 39.0 | 1'900 |
| | HBS 2001 | 68.5 | 57.5 | 47.0 | 36.0 | 34.5 | 1'800 |
| 6 | neuer Vorschlag | 72.3 | 64.6 | 56.9 | 46.3 | 41.1 | 1'800 |
| | bestehende Norm | 66.0 | 52.0 | 42.0 | 33.0 | 30.5 | 1'500 |
| | HBS 2001 | 65.5 | 49.5 | 37.0 | 29.5 | 29.0 | 1'250 |
| 7 | neuer Vorschlag | 70.1 | 60.2 | 50.3 | 37.0 | 35.1 | 1'450 |
| | bestehende Norm | 63.0 | 46.0 | 32.5 | 24.0 | 24.0 | 1'100 |
| | HBS 2001 | 62.0 | 41.5 | 27.5 | 25.5 | 25.5 | 900 |

Tab. 40: Geschwindigkeiten von Lastwagen in Steigungen, bei der Verzögerung aus 80 km/h, nach Abbildung 48 (neuer Vorschlag), nach *bestehender Norm* [3] und nach HBS 2001 [16]

| Längsneigung i [%] | | Geschwindigkeit V [km/h] nach Distanz [m] bei Beschleunigung | | | | | V_D nach [m] |
|----------------------|-----------------|--|------|------|------|------|----------------|
| | | 200 | 400 | 600 | 1000 | 1400 | |
| -2 | neuer Vorschlag | 54.9 | 75.2 | 80.0 | 80.0 | 80.0 | — |
| | bestehende Norm | 50.0 | 70.0 | 80.0 | 80.0 | 80.0 | — |
| | HBS 2001 | 57.5 | 73.5 | 80.0 | 80.0 | 80.0 | — |
| 0 | neuer Vorschlag | 48.5 | 62.5 | 72.2 | 80.0 | 80.0 | — |
| | bestehende Norm | 45.0 | 59.5 | 69.5 | 80.0 | 80.0 | — |
| | HBS 2001 | 49.5 | 62.0 | 70.0 | 80.0 | 80.0 | — |
| 2 | neuer Vorschlag | 42.7 | 53.0 | 59.7 | 67.1 | 71.0 | 2'350 |
| | bestehende Norm | 38.5 | 49.0 | 55.5 | 61.5 | 65.5 | 2'600 |
| | HBS 2001 | 42.5 | 50.0 | 54.5 | 59.0 | 62.0 | 2'450 |
| 4 | neuer Vorschlag | 38.1 | 44.3 | 47.8 | 50.9 | 52.0 | 1'500 |
| | bestehende Norm | 33.0 | 39.5 | 41.5 | 43.5 | 44.5 | 1'500 |
| | HBS 2001 | 35.0 | 38.0 | 39.0 | 40.0 | 40.3 | 1'100 |
| 6 | neuer Vorschlag | 34.1 | 37.6 | 39.0 | 40.0 | 40.0 | 700 |
| | bestehende Norm | 25.0 | 29.0 | 30.0 | 30.0 | 30.0 | 650 |
| | HBS 2001 | 28.0 | 28.7 | 29.0 | 29.0 | 29.0 | 550 |

Tab. 41: Geschwindigkeiten von Lastwagen in Steigungen und in Gefälle, bei der Beschleunigung aus 0 km/h, nach Abbildung 48 (neuer Vorschlag), nach *bestehender Norm* [3] und nach HBS 2001 [16]

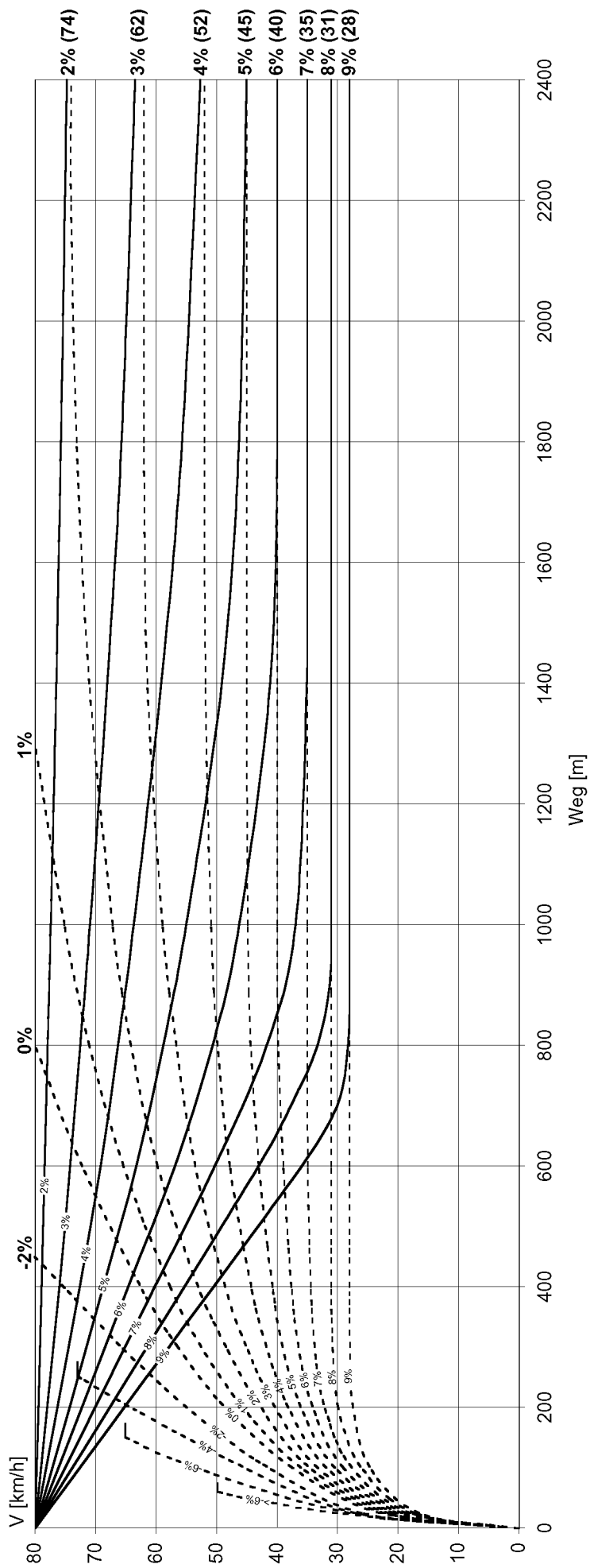


Abb. 48: Vorschlag für neue fahrdynamische Grundlagen von Lastwagen

Wie schon auf Grund der Vergleiche der Dauergeschwindigkeiten (vgl. Tabelle 39) zu erwarten war, sind die aus den beiden Tabellen ersichtlichen Unterschiede zwischen dem neuen Vorschlag und der bestehenden Norm erheblich. Bei den Verzögerungsvorgängen erhöhen sich die Geschwindigkeitsunterschiede mit zunehmender Fahrdistanz und zunehmender Längsneigung. Bei den Beschleunigungsvorgängen erhöhen sie sich ebenfalls mit zunehmender Fahrdistanz und zunehmender Längsneigung. Dies gilt jedoch erst nach rund 400 m zurückgelegter Strecke. Im Bereich davor kann diese Gesetzmässigkeit aufgrund der völlig neu verlaufenden Anfahrkurven nicht festgestellt werden.

Im Vergleich dazu liegen die Geschwindigkeiten für Verzögerungsvorgänge nach HBS 2001 erwartungsgemäss leicht unter den Werten der bestehenden Norm, da die Verläufe mit einem schwächer motorisierten Lastwagen simuliert wurden (vgl. 7.2.3.). Bei den Beschleunigungsvorgängen liegen die Geschwindigkeiten erst nach 600 m zurückgelegter Strecke unter den Werten der bestehenden Norm. Im Bereich davor liegen sie darüber, teilweise sogar über dem neuen Vorschlag (nach 200 m bei $i \leq 0\%$).

Bei den Verzögerungsvorgängen ergeben sich gemäss neuem Vorschlag beispielsweise nach 400 m um 3 km/h ($i = 3\%$) bis rund 14 km/h ($i = 7\%$) höhere Geschwindigkeiten als gemäss bestehender Norm. In Abhängigkeit der Fahrdistanz erhöhen sich die Geschwindigkeitsunterschiede z.B. bei $i = 3\%$ von 1.5 km/h (nach 200 m) auf 8.6 km/h (nach 1'400 m).

Weil die neu ermittelten Dauergeschwindigkeiten höher als in [5] liegen, wird die V_D nach längeren Verzögerungsdistanzen also später erreicht. So beträgt die Mehrdistanz der Verzögerung beispielsweise bei $i = 7\%$ ca. 350 m, bei $i = 3\%$ ca. 300 m. Bei den Beschleunigungsvorgängen gilt dies ebenfalls, jedoch erst bei Längsneigungen, die grösser als 5% sind. Bei kleineren Steigungen reduziert sich die Fahrdistanz bis zum Erreichen der Dauergeschwindigkeit gegenüber der bestehenden Norm auf Grund des besseren Beschleunigungsvermögens. Die höheren V_D gemäss Vorschlag werden somit früher erreicht.

7.3.1. Hinweise zur Anwendung der Geschwindigkeitsprofile

Die Untersuchungsarbeiten führten zu neuen fahrdynamischen Grundlagen für Lastwagen in Steigungen und Gefällen. Nachfolgend finden sich einige Bemerkungen, die bei der Anwendung des Diagramms (Abbildung 48) zu beachten sind.

- *Repräsentativität*

Die ermittelten Geschwindigkeitsprofile stützen sich auf Geschwindigkeitsmessungen ($V_{15\%}$) im tatsächlichen Verkehrsablauf auf Hauptverkehrsstrassen mit Gemischtverkehr und Hochleistungsstrassen ab und wurden lediglich im Bereich der ersten 400 bis 600 m anhand theoretischer Berechnungen teilweise verifiziert. Daher kann angenommen werden, dass mindestens 85% aller auf schweizerischen Strassen verkehrenden Lastwagen eine solche oder bessere Fahrdynamik aufweisen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die V_D im Hinblick auf die künftige Entwicklung um 10% reduziert wurden. Auf Hochleistungsstrassen dürfte dieser Anteil auf Grund des besseren Ausbaugrades noch etwas höher liegen. Eine schlechtere Charakteristik als nach Abbildung 48 dürfte nur bei voll beladenen Lastenzügen und Sattelschleppern sowie bei Fahrzeugen auftreten, die einen deutlich kleineren Motorisierungsgrad als die festgelegten 11.1 PS/t aufweisen. Leere oder nur teilweise beladene Lastwagen können in grösseren Steigungen wesentlich höhere Geschwindigkeiten erreichen. Dies zeigt sich in den Geschwindigkeitsverteilungen (vgl. Anhang 1).

- *Linienführung und Querschnitt*

Die Geschwindigkeitsprofile beziehen sich auf Strassen mit gestreckter Linienführung und konstanter Längsneigung, welche eine ausreichende Querschnittsbreite aufweisen. Enge Kurven, schmale Strassen oder örtliche Verengungen reduzieren die Geschwindigkeiten von Lastwagen wesentlich. Der Einfluss der Kurvenradien ist deshalb gemäss VSS-Norm SN 640 080b [1] zu berücksichtigen, wobei die jeweils kleinere Geschwindigkeit massgebend ist.

- *Vertikale Ausrundungen*

Einflüsse von Kuppen- und Wannenausrundungen wurden nicht berücksichtigt. Als Bezugspunkte gelten die Tangentenschnittpunkte. Bei langen Ausrundungen sowie bei grossen Neigungswechseln empfiehlt es sich, den Ausrundungsbereich durch Polygone anzunähern.

- *Zufahrtsgeschwindigkeiten*

Bei den Verzögerungsvorgängen wird von einer Geschwindigkeit von 80 km/h ausgegangen. Diese entspricht der zulässigen Höchstgeschwindigkeit, die für sämtliche Lastwagen sowohl auf Strassen a.o. als auch auf Hochleistungsstrassen gilt.

Obwohl von einer Zufahrtsgeschwindigkeit von 80 km/h ausgegangen wird, haben die Messungen gezeigt, dass auf Hauptverkehrsstrassen in ebenem Gelände (Messquerschnitte im Zufahrtsbereich) die $V_{15\%}$ -Geschwindigkeiten leicht tiefer zwischen 70 bis 80 km/h liegen.

Anders sieht die Situation auf den Hochleistungsstrassen aus. Die Messungen zeigten, dass auf diesen Strassen die gesetzliche Höchstgeschwindigkeit für Lastwagen oft nicht eingehalten wird. Die Zufahrtsgeschwindigkeiten zu Beginn der Steigung liegen allgemein höher, so dass die zu Grunde gelegte Ausgangsgeschwindigkeit von 80 km/h erst in der Steigung selbst erreicht wird.

Von Bedeutung für die Projektierung ist die Bestimmung der Geschwindigkeit zu Beginn der untersuchten Steigung. Bei der Konstruktion des Geschwindigkeitsdiagramms für Lastwagen empfiehlt es sich von Fixpunkten auszugehen, bei denen die Geschwindigkeit als annähernd bekannt angenommen werden kann. Solche Stellen können beispielsweise längere Kurven mit Radien unter ca. 150 m [6], Ortsausgänge mit Tempolimits innerorts, längere Steigungen, wo die V_D erreicht wird, oder lichtsignalgeleitete Knoten sein.

- *Geschwindigkeiten in Gefällen*

Aus der Abbildung 48 ist ersichtlich, dass die Geschwindigkeitsprofile für grössere Gefälle bei 73 km/h ($i = -4\%$) bzw. bei 65 km/h ($i = -6\%$) begrenzt sind. Für Gefällsstrecken mit Längsneigungen grösser als -6% wird von einer Geschwindigkeit von maximal 50 km/h ausgegangen. Diese Beschränkung der Geschwindigkeiten entspricht den Messergebnissen. Sie haben gezeigt, dass bei grösseren Gefällen auf Hauptverkehrsstrassen die gesetzliche Tempolimits nicht ausgeschöpft wird. Dies trifft vor allem bei längeren Gefällsstrecken, wie sie bei Gebirgsübergängen vorkommen, zu.

8. AUSWIRKUNGEN

8.1. Auswirkungen der Veränderungen auf den Verkehrsablauf

Die in dieser Arbeit durchgeführten Untersuchungen haben ergeben, dass sich die Geschwindigkeiten von Personenwagen und Lastwagen auf Neigungsstrecken gegenüber früheren Erhebungen in [4] und [5] deutlich verändert haben.

Während die *Personenwagen* in Steigungen gegenüber 1979 [4] langsamer geworden sind, was primär auf die Senkung der generellen Tempolimits ausserorts von Tempo 100 auf 80 km/h zurückzuführen ist (vgl. 4.1.1.3.), erhöhten sich die Geschwindigkeiten von *Lastwagen* in Neigungsstrecken (vgl. 4.2.1.3. bzw. 4.2.1.5.) gegenüber 1983 [5] aufgrund Veränderungen im Lastwagenpark bezüglich Motorisierungsgrad sowie verbesserter Getriebeabstimmungen.

Diese gegensätzliche Entwicklung hat zu einer Annäherung der Geschwindigkeitsniveaus dieser beiden Fahrzeuggruppen beigetragen und somit insgesamt zu einem homogeneren Verkehrsablauf geführt (vgl. Abbildung 49). Zudem konnte innerhalb jeder Fahrzeuggruppe eine Abnahme der Geschwindigkeitsdifferenzen zwischen „langsamen“ ($V_{15\%}$) und „schnellen“ ($V_{85\%}$) Fahrzeugen beobachtet werden.

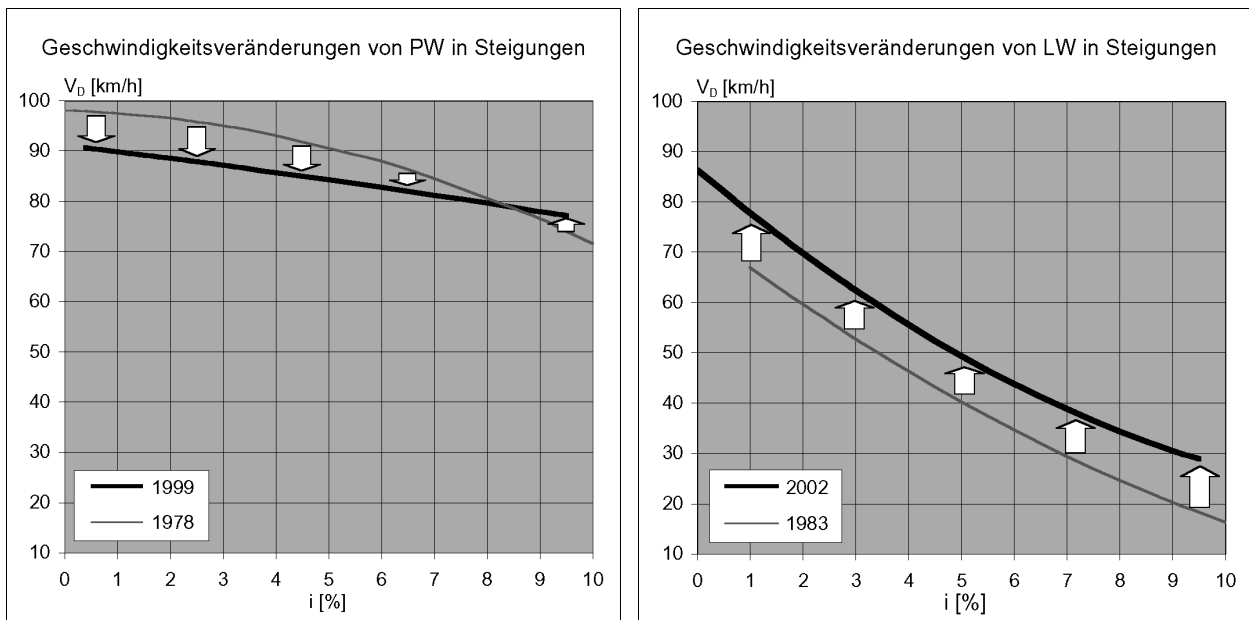


Abb. 49: Vergleich der Veränderungen der Dauergeschwindigkeiten in Steigungen von Personenwagen (links) und Lastwagen (rechts) gegenüber früheren Erhebungen

8.2. Auswirkungen auf Normen

In diesem Abschnitt werden die Auswirkungen der neuen Erkenntnisse zum Geschwindigkeitsverhalten in Steigungen und Gefällen auf die bestehenden VSS-Normen beurteilt. Im Vordergrund steht die Norm „Zusatzstreifen in Steigungen und Gefällen“ (SN 640 138a, [3]), auf die sich die im vorherigen Abschnitt beschriebenen Veränderungen direkt auswirken. Für diese Norm werden in Kapitel 9 entsprechende Anpassungsvorschläge entwickelt. Für die beiden anderen unter 1.3. aufgeführten Normen finden sich nachfolgend entsprechende Hinweise.

8.2.1. Elemente der vertikalen Linienführung (SN 640 110)

Gegenstand dieser Norm aus dem Jahr 1983 ist die Angabe von Richtwerten für die Wahl der Elemente der vertikalen Linienführung (Grösse der Längsneigung und der Ausrundungsradien). Die maximal zulässige Längsneigung im Hinblick auf die Verkehrssicherheit sowie die Umweltauswirkungen richtet sich dabei nach der Ausbaugeschwindigkeit V_A . Die entsprechenden Richtwerte sind in Tabelle 42 zusammengestellt. Auf Grund der Erhebungen aus dem Jahr 1999 drängt sich diesbezüglich eine Anpassung der Norm nicht auf.

| | | | | | |
|----------------|----|----|----|-----|-----|
| V_A [km/h] | 40 | 60 | 80 | 100 | 120 |
| i_{\max} [%] | 12 | 10 | 8 | 6 | 4 |

Tab. 42: Richtwerte für maximale Längsneigungen gemäss SN 640 110 [2]

Hingegen werden sich hier Anpassungen der Ausrundungsradien aufdrängen, weil die Richtwerte für Anhaltesichtweiten auf Hochleistungsstrassen in der Zwischenzeit verändert wurden (vgl. SN 640 090a). Diese Anpassungen hängen mit der vorliegenden Arbeit jedoch nicht zusammen.

8.2.2. Geschwindigkeit als Projektierungselement (SN 640 080b)

Diese Norm, welche letzmals 1991 überarbeitet worden ist, legt die für die Projektierung massgebenden Geschwindigkeitsbegriffe, ihre Anwendung und Richtwerte fest. Tatsächlich gefahrene Geschwindigkeiten, die durch Messungen im Verkehrsablauf ermittelt werden, sind grossen Streuungen unterworfen und können für die Projektierung nicht direkt verwendet werden. Sie dienen lediglich als Vergleichsgrössen. Für die Projektierung wird deshalb ein theoretisches, modellhaftes Geschwindigkeitsverhalten zu Grunde gelegt, welches auf physikalischen Berechnungen beruht.

Die Norm gibt Hinweise zur Wahl der Ausbaugeschwindigkeit verschiedener Strassentypen. Zudem enthält sie Richtwerte für die Projektierungsgeschwindigkeit V_p in Kurven und erläutert die Konstruktion des Geschwindigkeitsdiagramms.

Anlass zur Anpassung ergibt sich bezüglich der in dieser Norm in Abschnitt C unter Punkt 5 angegebenen Annahme, wonach der Einfluss von Längsneigungen unter 7% auf die V_p vernachlässigbar sei. Auf Grund der Erkenntnisse in 4.1.1.3. empfiehlt die Forschungsstelle, diesen Abschnitt nach der Revision der SN 640 138a gemäss Kapitel 9 wie folgt zu ändern:

*„Ein Einfluss der Längsneigung auf die Projektierungsgeschwindigkeit von Personenwagen ist erst ab Neigungen von **8%** zu berücksichtigen.“*

Zu den übrigen Anpassungen dieser Norm wurden in [6] bereits Vorschläge unterbreitet.

8.3. Vergleiche mit ausländischen Untersuchungen und Normen

Die Sichtung und Analyse ausgewählter Forschungsarbeiten und Richtlinien aus dem Ausland begleitete die vorliegende Arbeit von Beginn weg. Nachfolgend sind die Erkenntnisse aus diesen Unterlagen, bzw. die im Ausland geltenden Richtwerte den Ergebnissen dieser Forschungsarbeit gegenübergestellt.

8.3.1. Personenwagen

Die Ergebnisse der Erhebungen von 1999 und 1978 [4] zum Geschwindigkeitsverhalten von Personenwagen in Steigungen auf Strassen a.o. sind in Abbildung 50 den momentan gültigen Richtwerten aus Österreich [17] und Frankreich [18] gegenübergestellt. Wie in der Schweiz basieren diese Richtwerte auf der $V_{85\%}$ -Geschwindigkeit freifahrender Fahrzeuge und werden als Projektierungsgeschwindigkeit bezeichnet.

- *Österreich (A 1997 [17])*

Die österreichischen Richtlinien enthalten bezüglich der PW-Geschwindigkeit in Steigungen lediglich den Hinweis, dass Längsneigungen möglichst gering zu halten sind, um bei einem hohen Schwerverkehrsanteil einen weitgehend homogenen Verkehrsfluss zu erhalten und um Schwierigkeiten bei winterlichen Fahrbahnverhältnissen zu vermeiden. Bei der Herleitung der zu erwartenden Geschwindigkeit auf Steigungstrecken wurden Erfahrungswerte und ausländische Forschungsarbeiten herangezogen.

Die in Abbildung 50 dargestellte Kurve würde bei einer Längsneigung bis 4 % bei einer Geschwindigkeit von 130 km/h verlaufen und anschliessend bis 6% auf 100 km/h abfallen. Da die maximale V_p wie in der Schweiz aber an die zulässige Höchstgeschwindigkeit gekoppelt ist, wurde die Kurve gemäss der in

Österreich geltenden Tempolimiten von 100 km/h auf sog. Freilandstrassen nach oben begrenzt. Eine Unterscheidung nach Steigungs- und Gefällsstrecken ist in der Richtlinie nicht vorgesehen.

- *Frankreich (F 1994 [18])*

Die $V_{85\%}$ -Geschwindigkeit für Personenwagen dient in Frankreich zur Ermittlung notwendiger Anhalte- und Überholsichtweiten. Die Richtwerte basieren auf Ergebnissen von modellhaften Computersimulationen und gelten für Steigungsstrecken, die eine Mindestlänge von 250 m aufweisen. Auch hier ist die V_p wie in der Schweiz an die zulässige Höchstgeschwindigkeit gekoppelt.

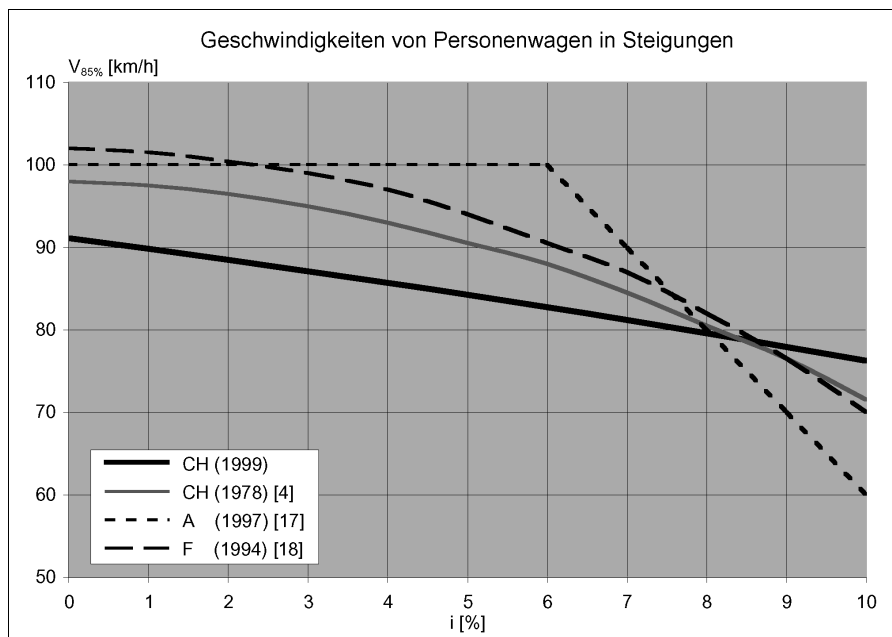


Abb. 50: Geschwindigkeiten von Personenwagen in Steigungen gemäss Erhebungen von 1999 sowie ausländischen Richtlinien und Normen

Der Vergleich zeigt, dass die im Ausland geltenden Richtwerte für Geschwindigkeiten von Personenwagen in Steigungen bis zu Längsneigungen von ca. 8% über den Ergebnissen dieser Forschungsarbeit liegen. Auf Grund der im Ausland geltenden höheren Tempolimiten auf Strassen a.o. war dies jedoch zu erwarten.

Eine Sichtung der übrigen ausländischen Unterlagen, die im nächsten Abschnitt erwähnt werden, brachte keine weiteren Erkenntnisse bzgl. der Geschwindigkeiten von Personenwagen in Steigungen.

8.3.2. Lastwagen

Die Geschwindigkeiten von Lastwagen in Steigungen werden auch im Ausland vorwiegend zur Beurteilung der Notwendigkeit von Zusatzstreifen in Steigungen herangezogen. Dabei spielen neben wirtschaftlichen Überlegungen auch Fragen der Verkehrsqualität und Verkehrssicherheit eine Rolle. In Abbildung 51 sind die Dauergeschwindigkeiten von Lastwagen in Steigungen aus verschiedenen Richtlinien und aktuellen Forschungsarbeiten zusammengestellt. Dabei gilt es zu berücksichtigen, dass in einzelnen Ländern Lastwagen mit einem Gesamtgewicht von bis zu 40 Tonnen seit längerer Zeit bereits zugelassen sind (D, A).

Von besonderem Interesse dürfte die Frage sein, auf welcher Grundlage, bzw. auf welcher spezifischen Nutzleistung des Bemessungslastwagens sich die in den ausländischen Richtlinien und Forschungsarbeiten angegebenen Dauergeschwindigkeiten abstützen.

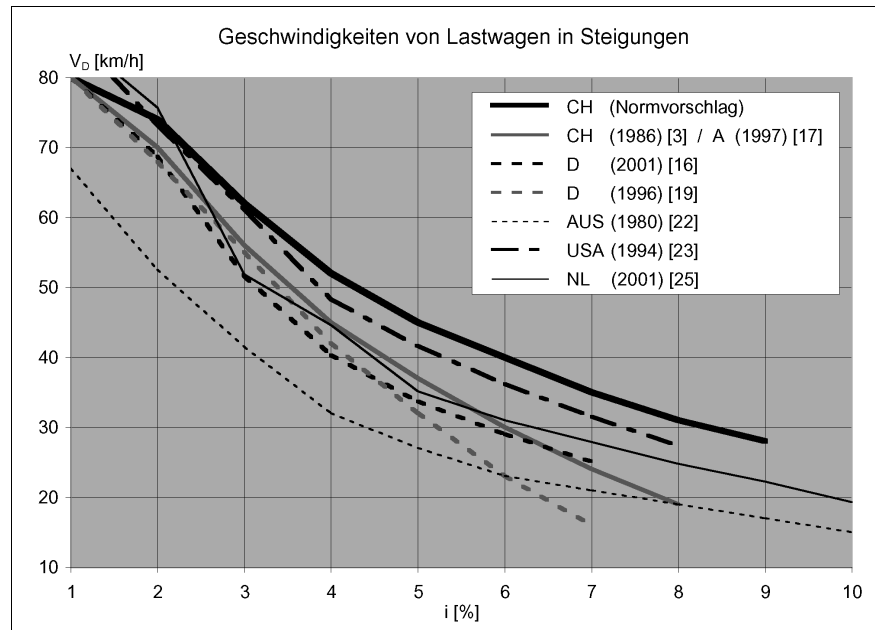


Abb. 51: Dauergeschwindigkeiten von Lastwagen in Steigungen gemäss bestehender Norm [3], neuem Normvorschlag sowie ausländischen Richtlinien und Forschungsarbeiten

- *Deutschland (D 1996 [19])*

Gemäss der heute noch gültigen RAS-Q 96 [19] sind für die Anlage von Zusatzfahrstreifen als Einflussgrössen die Verkehrsstärke, die Verkehrszusammensetzung, der Regelquerschnitt, der Verlauf der Gradiente und bei einbahnigen Strassen die Überholmöglichkeiten sowie die angestrebte Verkehrsqualität, ausgedrückt durch die mittlere Reisegeschwindigkeit von Personenwagen massgebend.

Auch die RAS-Q enthält ein Geschwindigkeitsprofil für unterschiedliche Längsneigungen, welches einzig zur Einteilung der Streckenabschnitte in Steigungsklassen dient. Die Verläufe sowie die Dauergeschwindigkeiten des Bemessungsschwerfahrzeugs beruhen auf Simulationsberechnungen und wurden für Landstrassen unverändert aus der RAS-Q aus dem Jahre 1982 [20] übernommen.

Bei der Dimensionierung von Autobahnstrecken wird das Geschwindigkeitsprofil nicht mehr verwendet. Als Eingangsgrösse wird neben der prognostizierten Verkehrsstärke Q auch eine sog. Bemessungsgeschwindigkeit von Personenwagen festgelegt. Der Nachweis der Verkehrsqualität erfolgt für einen gewählten Querschnitt anschliessend auf Basis von Q - V -Diagrammen, welche Kurven für unterschiedliche LW-Anteile enthalten. Die Berücksichtigung des Steigungseinflusses erfolgt durch eine Korrektur der mittleren Reisegeschwindigkeit, die je nach Grösse der Steigung entsprechend abgemindert wird.

- *Deutschland (D 2001 [16])*

Im Rahmen der Erarbeitung des HBS 2001 [16], welches auch einen Richtliniencharakter aufweist, wurde ein neues Bemessungsschwerfahrzeug festgelegt (vgl. 7.2.3.). Diese Festlegung erfolgte auf Grund einer Forschungsarbeit [21], deren vordergründiges Ziel es war, ein Entscheidungsverfahren für die Anordnung von zusätzlichen Fahrstreifen in Steigungsstrecken zu entwickeln. Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigten, dass in Zukunft für den 15%-LW eine Motorisierung von 9,5 PS/t anzusetzen ist. Die auf dieser Grundlage durchgeführten kinematischen Berechnungen (Simulationen) ergaben Kurven in der Form, wie sie bereits in der RAS-Q dargestellt sind. Im Vergleich zeigten sich bis zu einer Längsneigung von 5% nur geringe Unterschiede gegenüber dem „alten“ Bemessungsschwerfahrzeug (vgl. Abbildung 51).

- *Österreich (A 1997 [17])*

In Österreich wurden hinsichtlich der Anlage von Zusatzstreifen in Steigungen keine eigenen Untersuchungen durchgeführt. Die Richtlinien aus dem Jahr 1997 verweisen – wie die Vorgängerversion – auf die aktuelle VSS-Norm [3], woraus auch das Geschwindigkeitsdiagramm übernommen wurde.

- *Australien (AUS 1980 [22])*

Auch in Australien wird die Notwendigkeit von Zusatzstreifen in Steigungen auf zweistreifigen Landstrassen und auf Autobahnen in Abhängigkeit der Verkehrsstärke, der Verkehrszusammensetzung sowie

der Länge und Neigung des betrachteten Streckenabschnitts beurteilt. Zusätzlich kann sich eine Anordnung von Zusatzstreifen zur Erhöhung der Verkehrssicherheit auf ebenen Streckenabschnitten begründen (Anbieten ausreichender Überholmöglichkeiten bei ungenügenden Sichtweiten) oder gar in Gefällen, wo vollbeladene Lastwagen mit reduzierter Geschwindigkeit fahren können, ohne die übrigen Verkehrsteilnehmer zu behindern.

Generell sind Zusatzstreifen in Betracht zu ziehen, wenn die Lastwagengeschwindigkeit auf näherungsweise 40 km/h abfällt und infolge hohen Verkehrsaufkommens zu wenig Überholmöglichkeiten gegeben sind. Die Richtlinie enthält Angaben über die Streckenlänge, ab welcher die LW-Geschwindigkeit in Abhängigkeit der Längsneigung unter 40 km/h abfällt. Zudem sind Geschwindigkeitsprofile für einen typischen Lastwagen angegeben. Die Dauergeschwindigkeiten in Abbildung 51 basieren auf einem Bemessungslastwagen von 23 Tonnen Gesamtgewicht und einer Nennleistung von 136 kW. Dies entspricht umgerechnet in etwa einem Leistungsgewicht von 7.9 PS/t.

- *Vereinigte Staaten (USA 1994 [23])*

Die Ausgabe des Highway Capacity Manual's aus dem Jahr 1994 [23] enthält Geschwindigkeitsprofile für einen sog. „Standard Truck“. Die darin angegebenen Geschwindigkeitsverläufe von Lastwagen in Steigungen werden vorwiegend für Kapazitätsberechnungen auf Autobahnen (Freeways) verwendet. Sie dienen dazu, bei Steigungsstrecken, die sich aus verschiedenen steilen Abschnitten zusammensetzen, die für die Kapazitätsuntersuchung massgebende Längsneigung zu bestimmen.

Anschliessend werden die Lastwagen in Abhängigkeit der massgebenden Längsneigung in Personenwagenäquivalente umgerechnet. Daraus ergibt sich dann die effektive Reisegeschwindigkeit (Free-Flow Speed) des Fahrzeugkollektivs, welche als Grundlage in die Analyse der Verkehrsqualität eingeht.

Diese Geschwindigkeitsprofile basieren auf einem Standardlastwagen mit einer Nutzleistung von ungefähr 11.0 PS/t. In der aktuellen Ausgabe aus dem Jahr 2000 [24] wurden diese Geschwindigkeitsprofile überarbeitet. Gemäss Angaben in [24] basiert der neue Standardlastwagen nun auf einer Nutzleistung von 6.2 PS/t. Dieser Motorisierungsgrad liegt jedoch deutlich unter den bisher erwähnten Angaben in [23] und den übrigen Richtlinien. Erstaunlicherweise liegen die Dauergeschwindigkeiten trotz dieser markant tieferen Motorisierung in etwa auf dem Niveau von [23]. Eine Erklärung für diese Diskrepanz wird in [24] nicht geliefert. Deshalb wurde in Abbildung 51 auf die Darstellung der Dauergeschwindigkeiten gemäss aktueller Ausgabe verzichtet.

- *Niederlande (NL 2001 [25])*

In den Niederlanden wurde zu Beginn der 1980er Jahre das Computerprogramm SimVra (Simulation of heavy vehicles on vertical alignments) entwickelt, welches zur Beurteilung von Steigungsstrecken (v.a. Ausfahrtsrampen von untertunnelten Flüssen) bereits im Projektstadium herangezogen wurde. Dieses Programm berechnete den Geschwindigkeitsabfall von Lastwagen in Steigungen bei einer Zufahrtsgeschwindigkeit, die mindestens 50 km/h betragen musste.

Da dieses Programm keine Geschwindigkeitsverläufe simulieren konnte, beschloss das Ministerium für Transport der Niederlande, 1995 eine weltweite Umfrage in Auftrag zu geben, um einen Überblick aktueller Simulationsprogramme und Richtlinien zu Geschwindigkeiten von LW in Steigungen sowie Angaben über die Bemessungslastwagen zu erlangen. Die zahlreichen Antworten aus 32 Ländern zeigten, dass zum damaligen Zeitpunkt niemand Computerwerkzeuge zur Berechnung des Geschwindigkeitsverhaltens von Lastwagen beim Strassenentwurf verwendete. Folglich beschlossen die holländischen Behörden, das bestehende Programm unter der Bezeichnung SimVra+ weiter zu entwickeln.

SimVra+ wurde anhand von Fahrversuchen mit zwei Lastwagen (44 t mit 8.5 PS/t und 50 t mit 7.0 PS/t) verifiziert. Die Simulationsergebnisse wichen dabei nur wenig von den Fahrversuchen ab (maximal 10%). Die Frage nach dem für Projektierungszwecke zu verwendenden Lastwagen war damit aber noch nicht geklärt. Zu diesem Zweck wurden Erhebungen im Verkehrsablauf an drei Steigungsstrecken durchgeführt. Anhand des 15%-LW's wurde der Bemessungslastwagen mit einer Nutzleistung von 8.6 PS/t festgelegt, dessen simulierte Dauergeschwindigkeiten in Abbildung 51 dargestellt sind.

Wie aus Abbildung 51 ersichtlich, liegt der Normvorschlag für die Schweiz, der auf einem Leistungsgewicht von 11.1 PS/t beruht, im internationalen Vergleich über den Werten der untersuchten Unterlagen. Die Erhebungen zeigten aber, dass dies für unsere Verhältnisse durchaus zutrifft. Dabei ist zu berücksichtigen, dass einige der zum Vergleich verwendeten Quellen auf älteren Grundlagen basieren und die Lastwagen eine niedrigere Nutzleistung als die 11.1 PS/t aufweisen.

9. GRUNDLAGEN ZUR ANPASSUNG DER VSS-NORM „ZUSATZSTREIFEN IN STEIGUNGEN UND GEFÄLLEN“

9.1. Analyse der bestehenden Norm [3]

9.1.1. Generelle Einflüsse

Verschiedene bereits in 1.3. beschriebene Bedingungen haben sich in der Zwischenzeit geändert. Die Norm [3] basiert auf Grundlagen und wurde in einem Zeitraum in Kraft gesetzt, als auf Strassen ausserorts die generelle Tempolimite 100 km/h galt. Dies kommt auch in Abbildung 6 der Norm zum Ausdruck. Seit der Einführung der Tempolimite 80 km/h wurden neue Messungen auf Steigungs- und Gefällsstrecken sowie in Kurven [6] für die Fahrzeuggruppen PW und LW durchgeführt. Sie zeigen, dass sich der Verkehrsablauf durch die Annäherung der Geschwindigkeiten der beiden Fahrzeuggruppen homogenisiert hat. Dementsprechend müssen neben der Geschwindigkeitscharakteristik des Bemessungslastwagens auch die Angaben zur Reduktion der Geschwindigkeiten von Personenwagen in grösseren Steigungen (Tabelle 1 in [3]) angepasst werden.

Das Verfahren zur Beurteilung der Notwendigkeit von Zusatzstreifen, wie es in Abbildung 1 der Norm dargestellt ist, hat sich bei der Normanwendung grundsätzlich bewährt und wird als zweckmässig erachtet. Es enthält zwei technische Teiluntersuchungen:

- eine *fahrdynamische* Beurteilung und
- eine *verkehrstechnische* Beurteilung.

Diese zwei Teiluntersuchungen werden nachfolgend analysiert.

Auf Strassen ausserorts, wo die Geschwindigkeitslimite deutlich reduziert wurde, können sich auch Anpassungen bei der Ausbildung von Zusatzstreifen (Abschnitt C in [3]) aufdrängen, z.B. bei den Mindestlängen und bei den Übergangsbereichen. Dagegen fällt die Herabsetzung der Tempolimite auf Autobahnen von 130 auf 120 km/h nicht ins Gewicht. Die Reduktion hat sich gemäss Erhebungen des IVT auf das Geschwindigkeitsverhalten nicht massgeblich ausgewirkt [26].

9.1.2. Fahrdynamische Kriterien

Zur Beurteilung der Zweckmässigkeit von Zusatzstreifen aus fahrdynamischer Sicht wurde in der damaligen Forschungsarbeit [5] vorgeschlagen, bestimmte Mindestgeschwindigkeiten in Abhängigkeit von der Ausbaugeschwindigkeit V_A festzulegen, bei deren Unterschreitung Zusatzstreifen als prüfenswert erachtet werden sollten. Diese Empfehlung hat sich an die frühere Norm angelehnt. Die damalige Begleitkommission ist diesem Vorschlag nicht gefolgt und hat für die geltende Norm [3] ein anderes Modell entwickelt. Nach diesem wird die Zweckmässigkeit von Zusatzstreifen anhand von Geschwindigkeitsdifferenzen zwischen den zwei Fahrzeuggruppen „schnelle“ Personenwagen (der Projektierungsgeschwindigkeit V_p entsprechend) und „langsame“ Lastwagen (dem Bemessungslastwagen entsprechend) beurteilt. Zu diesem Zweck müssen entsprechende Geschwindigkeitsverläufe längs der Strecke aufgezeichnet werden. Zur Beurteilung der Geschwindigkeitsdifferenzen wurden Quotienten der V_p festgelegt. Werden diese durch die Geschwindigkeit des Bemessungslastwagens über eine definierte Länge unterschritten, werden Zusatzstreifen als prüfenswert erachtet.

Mit dieser Koppelung (konstanter Quotient) wurde ausgedrückt, dass nicht konstante, sondern je nach Geschwindigkeitsniveau des Verkehrsflusses verschiedene Geschwindigkeitsdifferenzen ΔV zur Anwendung kommen sollen: Bei einem höheren Niveau (z.B. $V_p = 80$ km/h, wie es im Flachland auftritt) wird erst bei $\Delta V \geq 40$ km/h die Zweckmässigkeit von Zusatzstreifen ausgewiesen, während sie bei niedrigerem Niveau (z.B. $V_p = 50$ km/h, wie es für grössere Steigungen zutrifft) bereits bei $\Delta V \geq 25$ km/h als ausgewiesen gilt. Damit wollte man den verschiedenen Erwartungshaltungen der Fahrzeuglenker Rechnung tragen.

Diese Modellvorstellung kann auch heute als zutreffend angesehen werden. Allerdings ist es fraglich, ob diese doch beträchtlichen Geschwindigkeitsdifferenzen noch realistisch sind. Die seinerzeitige Quotientenfestlegung erfolgte pragmatisch: Für ausgewählte Steigungsabschnitte mit mittleren bis grossen Längsneigungen wurden Längenprofile und Geschwindigkeitsverläufe aufgezeichnet und die Auswirkungen verschieden festgelegter Quotienten untersucht. Geeinigt hatte man sich dann auf einen Vorschlag, welcher der Mehrheit der Kommissionsmitglieder als „vernünftig“ erschien. Somit fehlt in diesem Bereich eine wissenschaftlich fundierte Absicherung.

9.1.3. Verkehrstechnische Kriterien

Niedrige Geschwindigkeiten von Lastwagen bzw. grosse Geschwindigkeitsdifferenzen zwischen PW und LW sind für die Anordnung von Zusatzstreifen nicht allein massgebend. Zur verkehrstechnischen Beurteilung werden deshalb in [3] in einem zweiten Schritt die Kriterien

- Verkehrsstärke (massgebender stündlicher Verkehr MSV),
- Häufigkeit des Auftretens langsamer Fahrzeuge im Verkehrsstrom (Anteil Lastwagen) und
- Sichtverhältnisse auf der betrachteten Strecke (Einschränkungen der Überholsichtweiten)

beigezogen. Auf Hochleistungsstrassen mit baulicher Richtungstrennung kommen nur die beiden ersten Kriterien zur Anwendung.

Zur quantitativen Berücksichtigung dieser Kriterien auf Strassen ausserorts wurde in [3] ein Modell für die Norm entwickelt, in welchem die drei erwähnten Beurteilungsgrössen verknüpft sind (vgl. Abbildung 3 in [3]). In den entsprechenden Ablesediagrammen kommen Vorstellungen über die Verkehrsqualität zum Ausdruck. Sie basieren jedoch auf ausländischen Grundlagen, welche zu Beginn der 1980er Jahre [20] erarbeitet wurden. In der Zwischenzeit wurden diese Grundlagen auch in der Schweiz normiert¹⁸. Heute liegen jedoch bereits neuere Erkenntnisse vor. Eine Anpassung des bestehenden Modells würde sich auch aufdrängen auf Grund der

- Herabsetzung der Tempolimits auf Strassen ausserorts (Veränderung der erforderlichen Sichtweiten) und
- infolge der neuen Geschwindigkeitscharakteristik des Bemessungslastwagens (Veränderung der Steigungsbereiche).

Aus Anwendersicht ist die Handhabung der Sichtweitenbeurteilung jedoch unbefriedigend. Die Ermittlung des Streckenanteils mit zum Überholen genügender Sichtweiten ist auf einer bestehenden und vielmehr noch auf einer projektierten Strasse äusserst schwierig und setzt aufwendige Untersuchungen voraus. Hier drängt sich eine vereinfachendere Vorgehensweise auf.

9.2. Vorschläge zur Anpassung der bestehenden Norm

Die in diesem Abschnitt unterbreiteten Vorschläge konzentrieren sich auf die zwei erwähnten technischen Teiluntersuchungen. Dabei werden in einem ersten Schritt die bisherigen Modellvorstellungen analysiert sowie ihre Verbesserungsmöglichkeiten diskutiert. Im zweiten Schritt werden neue Vorschläge entwickelt.

9.2.1. Fahrdynamische Beurteilung

9.2.1.1. Überholbedürfnis auf Strassen mit Gegenverkehr

Wie in 8.1. ausgeführt, haben sich gegenüber dem Zustand in [3] die Geschwindigkeiten der Gruppen schnellere (PW) und langsamere (LW) Fahrzeuge infolge der Herabsetzung der Tempolimits sowie der verbesserten Motorleistungen im Lastwagenpark angeglichen. Dies trifft auch im Zustand nach der teilweisen Liberalisierung der zulässigen Höchstgewichte für LW zu. Aus Abbildung 52 ist ersichtlich, dass diese Annäherung vor allem bei kleinen bis mittleren Steigungen ausgeprägt ist und dass sie sich nicht nur bei den Dauergeschwindigkeiten ($V_{85\%}$ bei PW, $V_{15\%}$ bei LW) sondern auch bei den mittleren Geschwindigkeiten V_M der beiden Fahrzeuggruppen eingestellt hat.

Dementsprechend müsste davon ausgegangen werden, dass sich im Verkehrsablauf auf Strassen ausserorts das Bedürfnis zum Überholen grundsätzlich verringert hat. Dies sollte sich auch in der zu revidierenden Norm niederschlagen.

¹⁸ VSS-Normgruppe „Leistungsfähigkeit, Verkehrsqualität, Belastbarkeit“

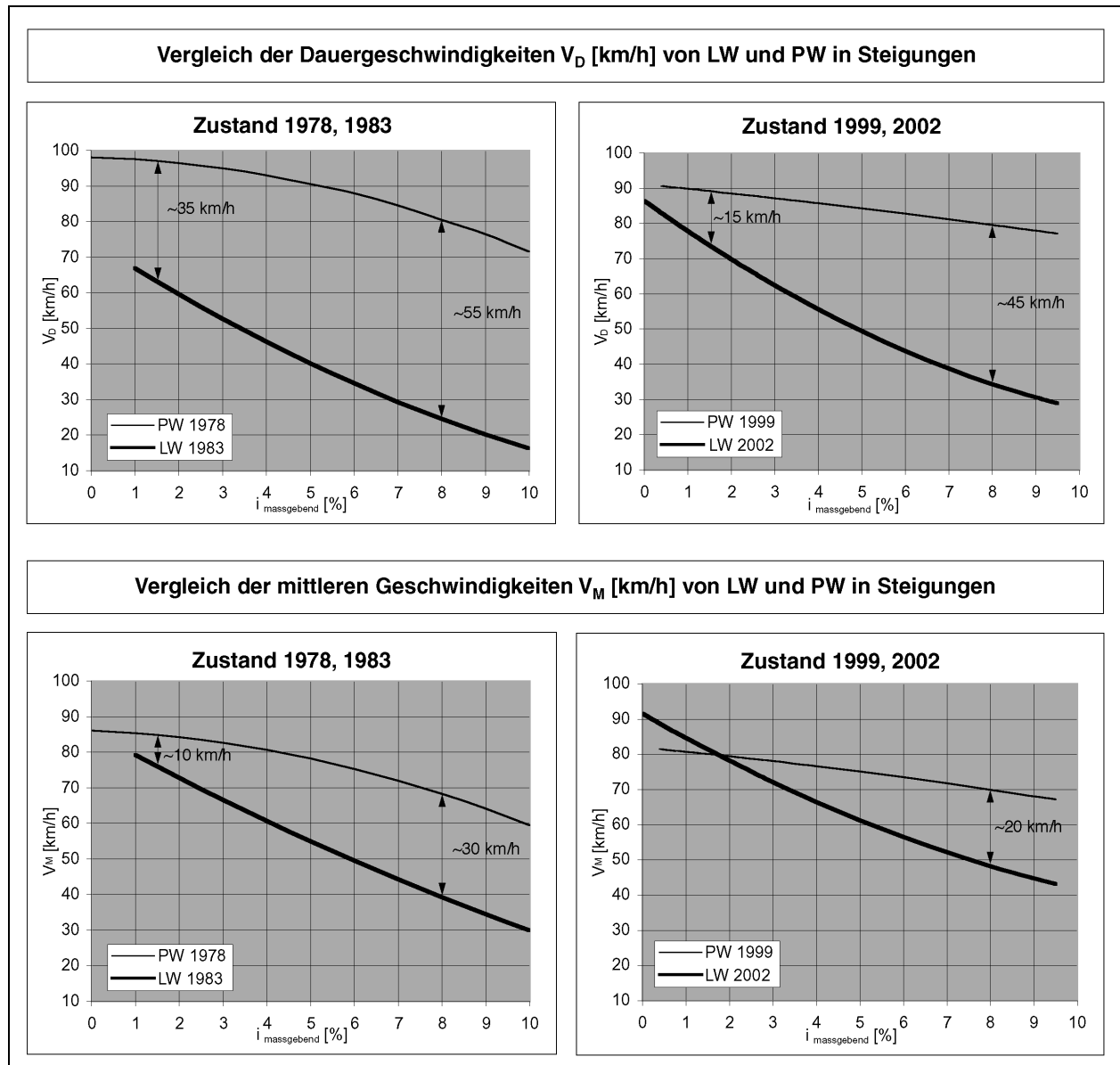


Abb. 52: Vergleich der Dauergeschwindigkeiten (oben) und der mittleren Geschwindigkeiten (unten) in Steigungen zwischen PW und LW in den Zuständen vor (1978 bzw. 1983) und nach (1999 bzw. 2002) Herabsetzung der generellen Tempolimite ausserorts

Nach der bestehenden Norm wird die Überholnotwendigkeit bei Geschwindigkeitsdifferenzen PW/LW von mehr als 50% der „Wunschgeschwindigkeit“ der schnellen Fahrzeuge (für PW die V_p) ausgewiesen. Im damaligen V_p -Bereich auf Strassen ausserorts (ca. 40 - 100 km/h) entspricht dies Geschwindigkeitsdifferenzen zwischen 20 und 50 km/h. In Wirklichkeit aber empfinden Fahrzeuglenker bereits kleinere Geschwindigkeitsdifferenzen als hindernd. Bei einer Fahrt hinter einem LW kommen bekanntlich auch andere Kriterien als nur die Geschwindigkeitsdifferenzen hinzu, die das Überholbedürfnis wecken (z.B. Sichtbehinderung und Abgase durch LW, Entstehung eines Fahrzeugpulkts u.ä.). Somit stellt sich die Frage einer möglichst objektiven Bewertung der Überholbedürfnisse.

Eine wichtige Möglichkeit hierzu bieten Untersuchungen des Überholverhaltens, wie sie in einer umfangreichen Forschungsarbeit von DURTH und HABERMEHL [27] durchgeführt wurden¹⁹. In dieser Arbeit, die zur Überprüfung der Richtlinien-Richtwerte für Überholsichtweiten diente, konnte bestätigt werden, dass sich der Zeitbedarf für Überholvorgänge gegenüber jenem aus früheren Untersuchungen nicht verändert hat²⁰. Eine wesentliche Erkenntnis aus dieser Forschungsarbeit war auch die Feststellung, wonach die Überholdauer von den gefahrenen Geschwindigkeiten und von der Grösse der Längsneigung weitgehend unab-

¹⁹ Diese Untersuchung existierte zur Zeit der Normungsarbeiten an [3] noch nicht.

²⁰ Ähnliche Erkenntnisse ergaben andere Untersuchungen in Bezug auf die Zeitbedarfswerte an lichtsignalgeregelten Knoten.

hängig ist. Aus dem Vergleich der gemessenen Überholungen in kleinen und grösseren Längsneigungen hat sich in [27] gezeigt, dass die Überholwege in der Steigung nur unwesentlich über den Werten bei kleiner Längsneigung liegen, während die Überholwege im Gefälle geringfügig kürzer sind als bei einer wenig geneigten Strasse.

Im vorliegenden Zusammenhang sind die in [27] erhobenen Geschwindigkeiten der an Überholvorgängen beteiligten Fahrzeuge von Bedeutung. Dabei wurden auch die Geschwindigkeitsdifferenzen zwischen den jeweils überholenden und überholten Fahrzeugen ermittelt. Diese quantitativen Angaben können als Indiz für das Überholbedürfnis dienen. Da solche Geschwindigkeitsdifferenzen tatsächlich zum Ausschermanöver bzw. zur Einleitung des Überholvorgangs führten, können sie als Mass für ausgewiesene Überholbedürfnisse festgelegt werden: Bei grösseren Werten will der Fahrzeuglenker – wie tatsächlich beobachtet – Überholen, bei Geschwindigkeitsdifferenzen unterhalb dieser Werte können Überholungen noch unterbleiben bzw. wird die Überholnotwendigkeit nicht „dringend“ ausgewiesen.

Da diese Überlegungen auf Messungen im realen Verkehrsablauf basieren, ist eine so begründete Festlegung wesentlich fundierter als jene in der bestehenden Norm. Im folgenden Abschnitt wird deshalb auf die Ergebnisse in [27] eingegangen. Anschliessend werden daraus Modellvorstellungen für die Normanpassungen abgeleitet.

9.2.1.2. Geschwindigkeitsdifferenzen beim Überholen

Die Erhebungen in [27] wurden auf zweistreifigen Bundesstrassen ausserorts durchgeführt. Je Überholvorgang erfasst und ausgewertet wurden folgende Geschwindigkeiten V (vgl. Abbildung 53):

- Überholendes Fz 1
 - V beim Ausscheren ($V_{1_{aus}}$)
 - Durchschnittliche V während des Überholvorgangs zwischen Ausscheren und Wiedereinbiegen (V_{1_m})
- Überholtes Fz 2: Durchschnittliche V während des Überholvorgangs (V_2)
- Entgegenkommendes Fz 3: Durchschnittliche V während des Überholvorgangs (V_3)

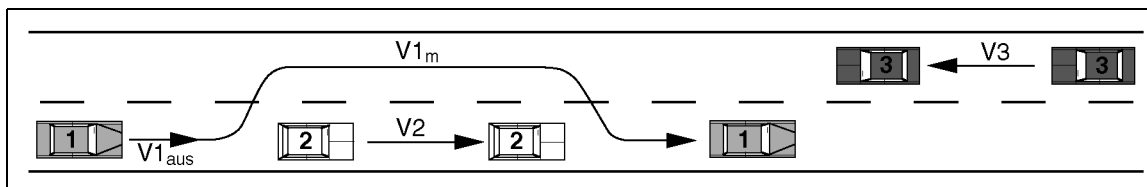


Abb. 53: Geschwindigkeiten der am Überholvorgang beteiligten Fahrzeuge

Für die vorliegenden Zwecke sind die Geschwindigkeiten $V_{1_{aus}}$ (zum Zeitpunkt als das Fz 1 mit Überholabsicht auf das Fz 2 aufgeschlossen und den Überholvorgang eingeleitet hat) und V_2 des anschliessend überholten Fz 2 massgebend.

Für die Geschwindigkeitsdifferenzen zwischen diesen Fahrzeugen ($\Delta V = V_{1_{aus}} - V_2$) wurde auf Basis von ca. 600 Überholvorgängen der in Abbildung 54 dargestellte Zusammenhang ermittelt. Daraus ist ersichtlich, dass mit zunehmender Grösse der Annäherungsgeschwindigkeit ($V_{1_{aus}}$) die Geschwindigkeitsdifferenzen ΔV grösser werden. Die angegebene Regressionsgleichung und die Wertestreuung ($r = 0.341$) deuten jedoch nur auf eine leichte Geschwindigkeitsabhängigkeit hin.

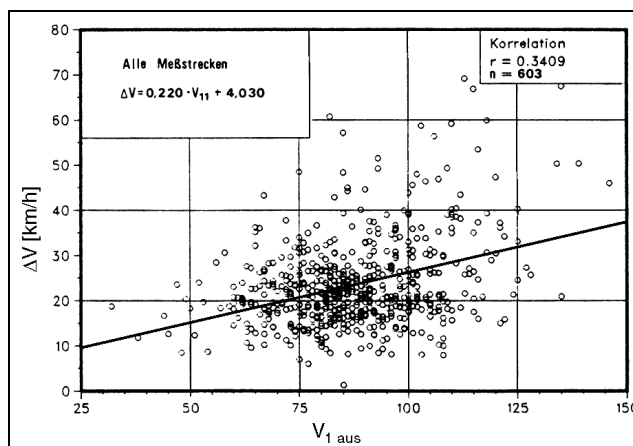


Abb. 54: Geschwindigkeitsdifferenzen ΔV in Funktion von $V_{1_{aus}}$ (aus [27])

In Tabelle 43 sind die nach der Funktionsgeraden in Abbildung 54 berechneten Werte zusammengestellt. Es zeigt sich, dass im Bereich der Geschwindigkeiten auf Strassen ausserorts (zwischen ca. 40 und 80 km/h) die Geschwindigkeitsdifferenzen etwa zwischen 13 und 22 km/h liegen. Dies entspricht ungefähr 27 bis 32 % der Geschwindigkeiten zu Beginn der Überholungen ($V_{1_{aus}}$). Dementsprechend betragen die Geschwindigkeiten der überholten Fz (V_2) ca. 68 bis 73 % der Geschwindigkeiten der überholenden Fz ($V_{1_{aus}}$).

Im höheren Geschwindigkeitsbereich, wie er auf den HLS vorliegt, wird erst bei etwas grösseren Geschwindigkeitsdifferenzen überholt. Beispielsweise liegen die ΔV für den Geschwindigkeitsbereich von 70 bis 120 km/h zwischen ca. 20 und 30 km/h. Dementsprechend liegen die Werte für V_2 in Prozent von $V_{1_{aus}}$ zwischen ca. 72 und 75 %.

| $V_{1_{aus}}$ [km/h] | ΔV [km/h] | V_2 [km/h] | ΔV in % $V_{1_{aus}}$ | V_2 in % $V_{1_{aus}}$ |
|----------------------|-------------------|--------------|-------------------------------|--------------------------|
| 40 | 12.8 | 27.2 | 32.1 | 67.9 |
| 45 | 13.9 | 31.1 | 31.0 | 69.0 |
| 50 | 15.0 | 35.0 | 30.1 | 69.9 |
| 55 | 16.1 | 38.9 | 29.3 | 70.7 |
| 60 | 17.2 | 42.8 | 28.7 | 71.3 |
| 65 | 18.3 | 46.7 | 28.2 | 71.8 |
| 70 | 19.4 | 50.6 | 27.8 | 72.2 |
| 75 | 20.5 | 54.5 | 27.4 | 72.6 |
| 80 | 21.6 | 58.4 | 27.0 | 73.0 |
| 85 | 22.7 | 62.3 | 26.7 | 73.3 |
| 90 | 23.8 | 66.2 | 26.5 | 73.5 |
| 95 | 24.9 | 70.1 | 26.2 | 73.8 |
| 100 | 26.0 | 74.0 | 26.0 | 74.0 |
| 110 | 28.2 | 81.8 | 25.7 | 74.3 |
| 120 | 30.4 | 89.6 | 25.4 | 74.6 |

Tab. 43: Zusammenstellung der ΔV -Werte aus Funktionskurve in Abb. 54 und der Quotienten aus $V_{1_{aus}}$

9.2.1.3. Vorschlag für ein VSS-Modell

Die Quotienten V_2 in % $V_{1_{aus}}$ repräsentieren die Verhältnisse zwischen langsameren (V_2 als „Lastwagen“) und schnelleren, überholbedürftigen Fahrzeugen ($V_{1_{aus}}$ als PW). Analoges wurde im bisherigen Norm-Modell mit $V_p \leq x \cdot V_{LW}$ unterstellt. Die Ergebnisse in Tabelle 43 zeigen, dass die Quotienten mit ca. 0.68 bis 0.73 (Strassen a.o.) bzw. 0.72 bis 0.75 (HLS) in einem engen Bereich liegen. Damit wird das bisherige Modell insofern bestätigt, als die Angabe eines pauschalen Quotienten die realen Verhältnisse hinreichend wiedergibt.

Allerdings liegen die bisherigen Quotienten mit 0.5 (Strassen a.o.) und 0.4 (HLS) wesentlich tiefer als in der Untersuchung [27] aus Messungen ermittelt wurde. Dabei ist zu beachten, dass die Angabe eines niedrigeren Quotienten bei den HLS bewusst erfolgte. Damit wurde berücksichtigt, dass auf solchen Strassen ohnehin durchgehend geregelte Überholmöglichkeiten vorhanden sind.

Norm-Richtwerte sollten auf die sogenannte „sichere“ Seite ausgelegt werden. Bevor die Quotienten für die Norm neu festgelegt werden, sind noch einige Überlegungen angezeigt:

In der Abbildung 54 aus [27] sind keine Vorgänge berücksichtigt, bei welchen die Fahrzeuge 1 („Überholer“) vor dem Überholen eine zeitlang hinter den Fahrzeugen 2 („Überholter“) gefahren sind (d.h. $\Delta V \approx 0$ km/h). Will man folglich auf die sichere Seite gehen, sollten etwas grössere Geschwindigkeitsdifferenzen als Ausdruck des Überholbedürfnisses „zugelassen“ werden. Dafür spricht auch die aus Abbildung 54 ersichtliche grosse Streuung der Messwerte. Einen Ansatz für die Grösse dieser Erhöhung bieten die Ergebnisse aus der hier verwendeten Forschungsarbeit [27]. Darin wurde u.a. festgestellt, dass die Geschwindigkeiten der überholenden Fahrzeuge ($V_{1_{aus}}$ -Werte) ca. 10% höher liegen als die $V_{85\%}$ -Geschwindigkeit, welche aus der Messung aller am Querschnitt erfassten Fahrzeuge resultiert ($V_{1_{aus}} = 1.10 \cdot V_{85\%}$). Da sich unsere Projektierungsgeschwindigkeiten V_p an der $V_{85\%}$ orientiert, wäre eine Erhöhung der „zugelassenen“ Geschwindigkeitsdifferenzen ΔV um 10% angezeigt.

Dadurch werden die erwähnten Quotienten im Geschwindigkeitsbereich der Strassen ausserorts (zwischen ca. 40 und 80 km/h) von 0.68 bis 0.73 auf 0.65 bis 0.70 reduziert. Der obere Quotient von 0.70 ergibt sich bei

einem Geschwindigkeitsniveau von 80 km/h, das in der Regel nur bei kleinen Steigungen vorliegt. Der untere Quotient von 0.65 ist für mittlere und grössere Steigungen, die hier im Vordergrund stehen, zutreffend.

Aufgrund dieser Überlegungen wird für die *Strassen ausserorts* empfohlen:

„Aus fahrdynamischer Sicht sind Zusatzstreifen in Steigungen prüfenswert, wenn die Geschwindigkeit von langsamen Lastwagen folgenden Wert (in % der Projektierungsgeschwindigkeit V_p von Personenwagen) unterschreitet:

*Etwa **65 %** über eine zusammenhängende Strecke von mindestens 200 m.“*

Mit dieser Empfehlung sind Zusatzstreifen auf Strassen ausserorts bereits bei einer Unterschreitung der V_p durch die Geschwindigkeit des Bemessungslastwagens um 35 % (bisher um 50 %) prüfenswert. Auf die als Folge der Reduktion der Tempolimits von 100 auf 80 km/h denkbare Verkürzung der *Mindestlänge* wird verzichtet, da bei ihrer Festlegung auch Wirtschaftlichkeitsüberlegungen berücksichtigt wurden.

Auf den HLS kommen Zusatzstreifen in Steigungen nur auf 2-streifigen Richtungsfahrbahnen in Frage. Dabei ist unumstritten, dass deren Notwendigkeit aus fahrdynamischen Gründen weniger gegeben ist als auf Strassen mit Gegenverkehr. In der bisherigen Norm wurde dieser Unterschied mit einem um 0.10 niedrigeren Quotienten (40 statt 50 %) berücksichtigt. Diese Festlegung hat sich in den letzten 20 Jahren weitgehend bewährt. In diesem Zeitraum wurden auch eine Vielzahl von HLS-Abschnitten projektiert. Dennoch traten auch im Bereich von HLS Veränderungen auf. Einerseits wurde die Tempolimits von 130 auf 120 km/h herabgesetzt und andererseits sind die Dauergeschwindigkeiten von LW auch im Bereich der auf HLS im Vordergrund stehenden Längsneigungen von 3 bis 6% deutlich gestiegen. Eine Anpassung wäre hier folglich ebenfalls angezeigt.

Analog zu den Strassen ausserorts ergaben die Messungen in [27], dass die Geschwindigkeitsdifferenzen bei Überholvorgängen im Geschwindigkeitsbereich zwischen 70 und 120 km/h einen Quotienten von ca. 0.72 bis 0.75 ergeben (vgl. Tabelle 43). Berücksichtigt man wie bei den Strassen mit Gegenverkehr die Erhöhung der „zugelassenen“ ΔV beim Überholen um 10 %, so reduzieren sich die Quotienten auf ca. 0.70 bis 0.72. Dabei trifft der kleinere Quotient von 0.70 (bei einem Geschwindigkeitsniveau von ca. 70 km/h) auf Steigungsstrecken zu. Das heisst, dass bereits bei einer Unterschreitung der V_p durch die Geschwindigkeit des Bemessungslastwagens um 30 % Zusatzstreifen prüfenswert wären.

Um den in der bestehenden Norm bereits enthaltenen Grundsatz, wonach ein niedrigerer Quotient als auf Strassen mit Gegenverkehr hinreichend ist (weil Überholmöglichkeiten durchgehend vorhanden sind), zu berücksichtigen, wird vorgeschlagen, das bisherige Verhältnis von 0.80 zwischen den Richtwerten für HLS (bisher 40 % der V_p) sowie für Strassen a.o. (bisher 50 % der V_p) beizubehalten. Dies würde für die HLS einen Quotienten von 0.52, statt dem oben erwähnten Quotienten von 0.70 bzw. statt dem bisherigen Quotienten von 0.40 ergeben. Für die Norm wird eine Aufrundung von 0.52 auf 0.55 der V_p empfohlen.

Aufgrund dieser Überlegungen wird für *2-streifigen Richtungsfahrbahnen auf HLS* empfohlen:

„Aus fahrdynamischer Sicht sind Zusatzstreifen in Steigungen prüfenswert, wenn die Geschwindigkeit von langsamen Lastwagen folgenden Wert (in % der Projektierungsgeschwindigkeit V_p von Personenwagen) unterschreitet:

*etwa **55 %** über eine zusammenhängende Strecke von mindestens 500 m.“*

Die zu berücksichtigende Mindestlänge (500 m) ist auf die Anschlussabstände von schweizerischen HLS ausgelegt und sollte in der bisherigen Form beibehalten werden.

9.2.1.4. Projektierungsgeschwindigkeit in grossen Längsneigungen

Wie in 4.1.1.3. dargelegt, haben sich infolge der Herabsetzung der Tempolimits auf Strassen a.o. die Geschwindigkeiten ungehindert fahrender PW, auf welche die Projektierungsgeschwindigkeit V_p ausgelegt ist, verändert. Von Bedeutung ist diese Veränderung in Steigungen (vgl. Abbildung 17). Dort wird die $V_{p\ max}$, die der generellen Tempolimits entspricht, erst bei Steigungen von über 8% unterschritten. Dementsprechend ist auch die Tabelle 1 in [3] anzupassen. Für die entsprechende Neufestlegung wurde die Streuung der Messwerte mit der Standardabweichung der Geschwindigkeitswerte (s_y) gegenüber der berechneten Regressionskurve berücksichtigt (vgl. Abbildung 55).

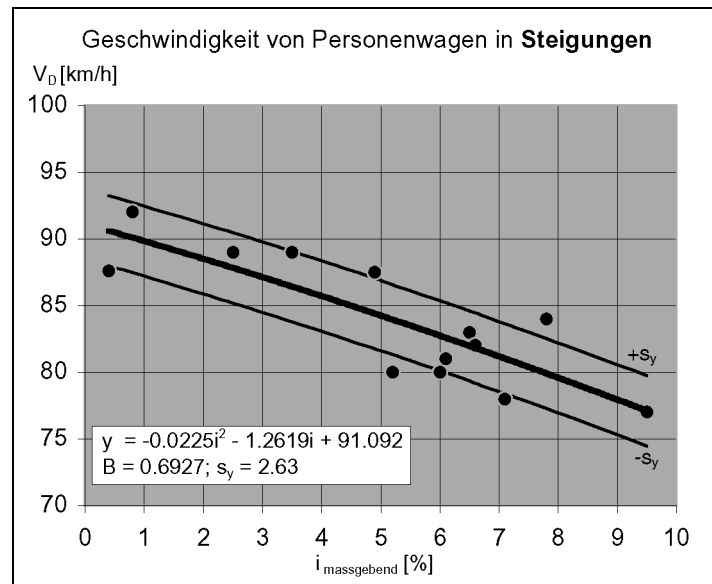


Abb. 55: Zusammenhang zwischen Dauergeschwindigkeit von PW (auf Basis $V_{85\%}$) und Grösse der Steigung

Die vorgeschlagenen Richtwerte für V_p liegen im unteren Streubereich der Messungen ($-s_y$), wobei eine Rundung auf 5 km/h vorgenommen wurde (vgl. Tabelle 44). Analog zur bestehenden Norm werden für beide Fahrrichtungen (Steigung (+) /Gefälle (-)) dieselben Richtwerte empfohlen, obwohl in der Gefällsrichtung die angegebenen V_p -Reduktionen gemäss den vorliegenden Messergebnissen nur bedingt zutreffen (vgl. Abbildung 16).

| i (%) | ± 7 | ± 8 | ± 9 | ≥ ± 10 |
|--------------|-----|-----|-----|--------|
| V_p (km/h) | 80 | 75 | 75 | 70 |

Tab. 44: Richtwerte für V_p von Personenwagen in grossen Längsneigungen i

9.2.2. Verkehrstechnische Beurteilung für Strassen mit Gegenverkehr

In Anlehnung an das bestehende und unumstrittene Vorgehen in der Norm [3] wird nach Abklärung der fahrdynamischen Zweckmässigkeit eine verkehrstechnische Beurteilung der Zusatzstreifen vorgenommen. Bei diesem Untersuchungsteil stehen die Anforderungen der Verkehrsqualität (und indirekt der Verkehrssicherheit) im Vordergrund. Dabei werden in der Norm [3] die Zusammenhänge betreffend Überholungen wie folgt umschrieben:

„In Steigungen erhöht sich mit zunehmendem *Lastwagenanteil* das Überholbedürfnis, während die Überholmöglichkeiten mit zunehmender Verkehrsmenge eingeschränkt werden. Bei grossen Verkehrsmengen (MSV) und Lastwagenanteilen entstehen Behinderungen im Verkehrsablauf, die zu erhöhtem Sicherheitsrisiko führen. Auf Steigungstrecken, bei denen infolge der Linienführung die zum Überholen notwendigen *Sichtweiten* fehlen, treten diese Störungen bereits bei kleineren Verkehrsmengen und Lastwagenanteilen auf.“

9.2.2.1. Bestehendes VSS-Modell

Im Forschungsbericht aus dem Jahr 1984 [5] wurde zur Berücksichtigung der drei erwähnten Kriterien vorgeschlagen, das Überholbedürfnis auf Strassen ausserorts mit Gegenverkehr aufgrund von Fundamentaldiagrammen, in welchen die makroskopischen Zusammenhänge des Verkehrsflusses auf freien Strecken dargestellt sind, anzunähern. Dazu wurden die damaligen deutschen Richtlinien [20]²¹ beigezogen (vgl. Beispiel in Abbildung 56).

²¹ In der Schweiz existierten zum damaligen Zeitpunkt keine Normunterlagen zur Beschreibung der Verkehrsqualität auf Strassen.

Ausgewertet wurden Verkehrsstärke-Geschwindigkeit-Diagramme (Q-V-Diagramme) bei verschiedenen Schwerverkehrsanteilen für folgende drei Merkmalsgruppen:

- Normalbreite Strassen (Fahrbahnbreite von 7.0 m)
- Bestimmte Steigungsklassen, die aufgrund der in [5] erhobenen Dauergeschwindigkeiten von LW so festgelegt wurden, dass dort die Anordnung von Zusatzstreifen fahrdynamisch erwünscht sein könnte (vgl. 9.1.2.).
- Trassierungsfälle „gestreckte“ und „kurvige“ Neigungsstrecke, die mit dem Kriterium Kurvigkeit quantifiziert wurden.

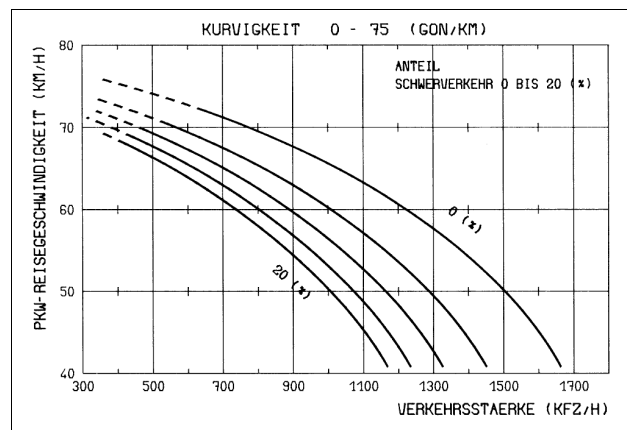


Abb. 56: Beispiel eines Q-V-Diagrammes für die Steigungsklasse 4 (aus [20])

In den damaligen Richtlinien [20] existierten noch keine Abstufungen der Verkehrsqualität (Klassen A – F, vgl. SN 640 017 [28]). Ersatzweise wurden deshalb überproportionale Geschwindigkeitsabnahmen gegenüber der Ausgangs- bzw. Wunschgeschwindigkeit festgelegt. Diese Ausgangsgeschwindigkeiten beziehen sich auf Zustände mit Verkehrsstärken, bei welchen Überholungen nicht eingeschränkt sind. Der infolge zunehmender Krümmung der Q-V-Linien entstehende überproportionale Geschwindigkeitsabfall wurde als Hinweis auf eine Behinderung durch langsamer fahrende Fahrzeuge bzw. als ausgewiesenes Überholbedürfnis interpretiert. Die so aus den Diagrammen ermittelten Werte führten zu den Beurteilungsdigrammen in der bestehenden Norm (Abbildung 3 in [3]).

Verhältnisse mit weitgehend uneingeschränkten Überholsichtweiten wurden als gestreckte Neigungsstrecke mit kleiner Kurvigkeit angenommen. Bei sehr grosser Kurvigkeit galten sie als stark eingeschränkt. Der deutliche Zusammenhang zwischen Kurvigkeit und Sichtweiten wurde in mehreren Forschungsarbeiten (erstmalig von KÖPPEL und BOCK [29], vgl. Abbildung 57) wiederholt nachgewiesen. Für die bestehende Norm wurden Richtwerte der erforderlichen Überholsichtweiten angegeben, die auf der damaligen Tempolimitregelung basierten. Eine starke Einschränkung der Sichtweiten wurde mit einem pauschalen Streckenanteil von 50 % abgeschätzt. Diese Regelung hat sich – wie in 9.1.3. erwähnt – nicht bewährt, da die Ermittlung des Streckenanteils mit ungenügenden Sichtweiten (mit Ausnahme der Abschnitte mit Überholverbot) praktisch nicht durchführbar ist.

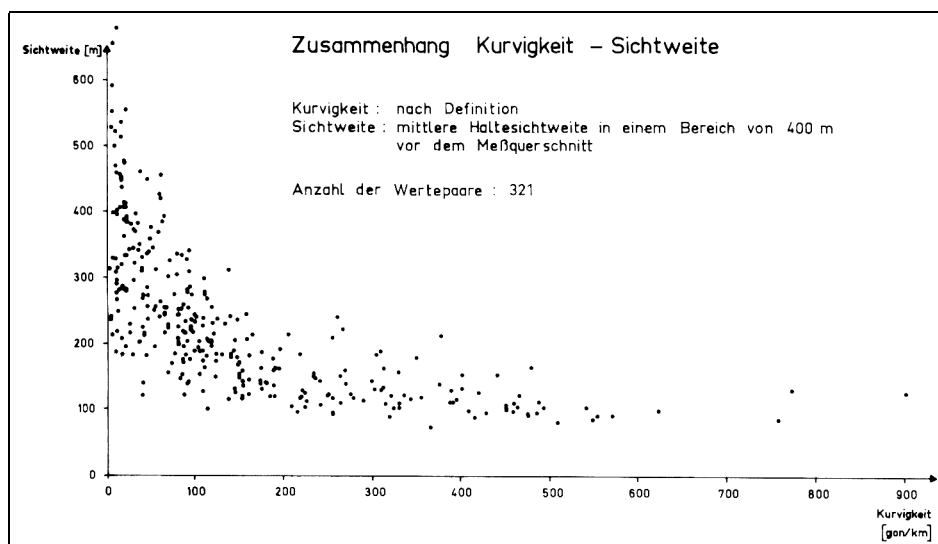


Abb. 57: Zusammenhang zwischen Sichtweite und Kurvigkeit (aus [29])

Das Prinzip des bestehenden Modells, d.h. die drei erwähnten Merkmalsgruppen und die Auswertung der fundamentalen Zusammenhänge im Verkehrsfluss ist nach wie vor zutreffend und wird auch im neuen Modellvorschlag aufgegriffen. Allerdings haben sich wichtige Rahmenbedingungen geändert, vor allem die Form und die Abstufung der Fundamentaldiagramme sowie die Dauergeschwindigkeiten des Bemessungslastwagens.

9.2.2.2. Grundlagen für neues VSS-Modell

Das zu übernehmende Prinzip des bestehenden Modells basiert auf überholten Grundlagen. In diesem Abschnitt werden neue Grundlagen beschrieben und ihre Anwendung für ein neues Modell diskutiert.

- *VSS-Normen*

Seit 1999 sind die fundamentalen Zusammenhänge im Verkehrsfluss auf Strassen (freie Strecke und Knoten) auch für die Schweiz in der VSS-Normgruppe „Leistungsfähigkeit, Verkehrsqualität, Belastbarkeit“ geregelt. Darin sind neben der Definition der Verkehrsqualitätsstufen – analog zu neuesten ausländischen Empfehlungen (z.B. [16], [24]) – auch Anwendungsempfehlungen enthalten. Für 2-streifige Strassen ausserorts existieren jedoch nur provisorische Richtwerte, die nicht auf Basis eines empirischen Hintergrunds aus schweizerischen Erhebungen abgestützt sind. Sie wurden aus inzwischen überholten deutschen Unterlagen [19] abgeleitet. In der entsprechenden VSS-Norm²² [30] sind zudem keine Angaben zu den Verkehrsqualitätsstufen gemacht worden. Auf Basis dieser Unterlage ist folglich die Herleitung eines neuen Modells nicht möglich.

- *HBS 2001 [16]*

Analog zum amerikanischen Highway Capacity Manual [24] wurde kürzlich in Deutschland unter dem Titel „Handbuch für die Bemessung von Strassenverkehrsanlagen“ (HBS) ein Regelwerk mit Richtliniencharakter publiziert [16]. Der Abschnitt für 2-streifige Strassen ausserorts basiert auf umfangreichen Untersuchungen von BRILON und WEISER [31]. Aus diesen hat sich u.a. eine neue Verlaufsform in den Q-V-Diagrammen ergeben (konkave statt bisher konvexe Funktionskurven). Enthalten sind entsprechende Ablesediagramme für fünf Steigungsklassen sowie je vier Kurvigkeitsklassen.

Im Hinblick auf die Übertragbarkeit auf schweizerische Verhältnisse kann davon ausgegangen werden, dass die Struktur der Q-V-Zusammenhänge ähnlich den deutschen Erkenntnissen sein wird, allerdings unter dem Vorbehalt der höheren Tempolimite in Deutschland (100 statt 80 km/h). Eine Bestätigung für diese Annahme liefern die ersten empirischen Messungen, die für die Revision der Norm für freie Strecken auf Autobahnen [32] in der Schweiz bereits durchgeführt wurden. Die Auswertungen im laufenden Forschungsauftrag²³ haben gezeigt, dass die Q-V-Kurven eine ähnliche Struktur aufweisen. Wegen der bei uns geltenden Tempolimite (120 km/h) verlaufen sie im Bereich kleiner und mittlerer Verkehrsstärken jedoch entsprechend flacher als auf den Autobahnen in Deutschland (keine Tempolimite). Hinzu kommt, dass

- sich die Unterschiede nur bei kleinen Längsneigungen und bei gestreckter Linienführung und
- bei weitgehend freiem Verkehrsfluss (Qualitätsstufen A und B) manifestieren.

Die Übertragung der Richtwerte aus dem HBS 2001 ist insofern zulässig, als in Anlehnung an das bestehende Modell grössere Längsneigungen und höhere Verkehrsqualitätsstufen im Vordergrund stehen. In diesen wirken sich die unterschiedlichen Regelungen der Tempolimite praktisch nicht mehr aus.

- *BRILON und WEISER [31]*

In der Grundlagenarbeit [31] für das HBS 2001 wird auch auf die Frage des Überholens im Zusammenhang mit dem Richtungsanteil eingegangen. Dabei wird auf mathematische Untersuchungen von BRILON [33] hingewiesen. Aus diesen ergab sich, dass bei Verkehrsstärken des Gegenverkehrs von mehr als 300 bis 400 Fz/h die Überholmöglichkeiten bereits stark eingeschränkt sind. Berücksichtigt man die häufigsten Richtungsanteile, die im Bereich von 50 % / 50 % bis 30 % / 70 % liegen, so führt dies zu Gesamtverkehrsstärken in folgender Grössenordnung:

- bei 50%/50%: 600 ÷ 800 Fz/h
- bei 70%/30%: 1'000 ÷ 1'335 Fz/h

Bei diesen und grösseren Mengen darf nach [33] davon ausgegangen werden, dass auf Strassen Überholbedürfnisse ausgewiesen sind. Allerdings wird in dieser Unterlage auf die Auswirkung des Lastwagenanteils nicht eingegangen.

²² Die Revision dieser Norm ist erst in Vorbereitung.

²³ VSS-Forschungsauftrag Nr. 2000/337 „Verkehrsqualität und Leistungsfähigkeit auf Autobahnen“, Ingenieurgesellschaft Jenni + Gottardi und SNZ, Zürich (in Bearbeitung)

9.2.2.3. Vorschlag für neues VSS-Modell

Für die Entwicklung eines neuen Modells auf Basis des HBS 2001 ist es notwendig, auf folgende Einflussgrößen einzugehen:

- Strassenquerschnitt
 - Lastwagenanteile
 - Steigungsklassen
 - Kurvigkeitsklassen
 - Verkehrsqualitätsstufen.
- *Strassenquerschnitt*

Die Richtwerte des HBS 2001 gelten für bestimmte deutsche Regelquerschnitte [19] mit Fahrbahnbreiten zwischen 6,5 und 7,5 m sowie mit seitlichen Hindernisfreiheiten von 1,5 m. Diese Breitenverhältnisse sind auch in der geltenden VSS-Norm 640 020 [30] vorgesehen. Sie entsprechen jenen Verhältnissen, wie sie auf Hauptverkehrs- und allenfalls auf bedeutenden Regionalverbindungsstrassen in der Regel vorliegen. Nur diese Strassentypen kommen auf Strassen ausserorts mit Gegenverkehr für die Anordnung von Zusatzstreifen in Frage.

Die Übertragbarkeit bezüglich Strassenquerschnitt ist somit gewährleistet.

- *Lastwagenanteile*

In den Bemessungsdiagrammen des bestehenden VSS-Modells sind Lastwagenanteile (% LW) von bis zu 20% enthalten. Dies ist auch im HBS 2001 der Fall. In einer zusätzlichen Untersuchung wurden diesbezüglich die Verhältnisse auf schweizerischen Strassen überprüft. Dazu wurden mehreren ASTRA-Zählstellen einbezogen, welche in folgende drei Gruppen eingeteilt wurden:

- Autobahnen in West-Ost- Richtung (entlang der A1),
- Autobahnen in Nord-Süd- Richtung (entlang der A2) und
- Hauptstrassen (verteilt über die ganze Schweiz).

Ausgewertet wurden die LW-Prozente des Jahres 2000 bezüglich des 24h-Verkehrs und bezüglich des Verkehrs in der Abendspitze (17-18 Uhr). Aus den Ergebnissen in Abbildung 58 ist ersichtlich, dass auf Autobahnen in Nord-Süd-Richtung (Mittelwert von 14,1% bzw. 10,7%) deutlich grössere Lastwagenanteile vorhanden sind als auf Autobahnen in West-Ost-Richtung (Mittelwert von 9,0% bzw. 4,9%). Auf Autobahnen in Nord-Süd-Richtung sind die Lastwagenanteile zudem einer wesentlich grösseren Streuung unterworfen (Standardabweichungen $S = 5,0\%$).

Auf Hauptverkehrsstrassen (Mittelwert von 7,5% bzw. 4,1%) sowie auf Autobahnen in West-Ost-Richtung treten während des Tages nur selten Lastwagenanteile von über 10% auf.

Die Lastwagenanteile in der Abendspitze sind – mit Ausnahme der Autobahnen in Nord-Süd-Richtung – deutlich kleiner als bezüglich des 24h-Verkehrs.

Die Berücksichtigung von Lastwagenanteilen bis 20% darf also auch in einem neuen Modell als ausreichend erachtet werden.

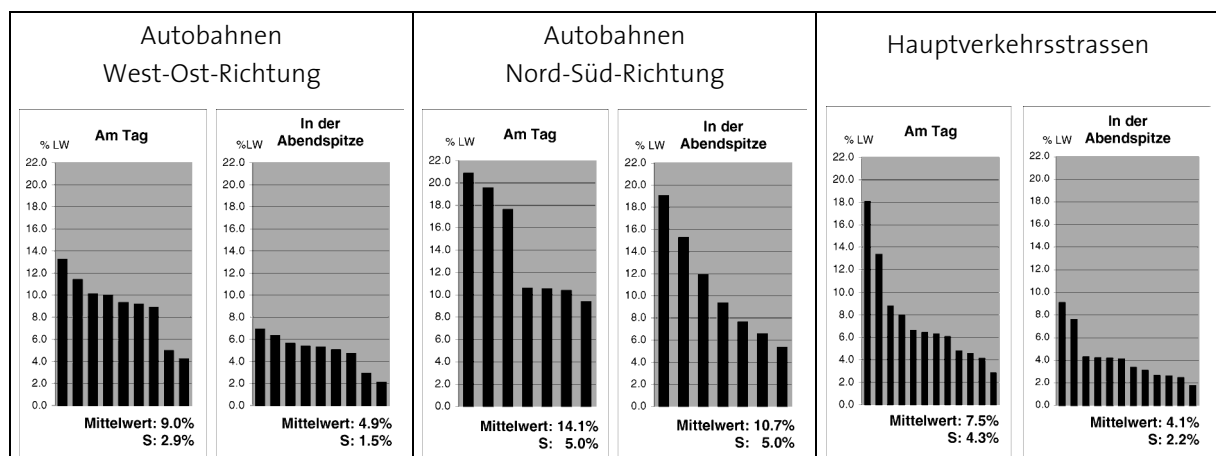


Abb. 58: Mittlere Lastwagenanteile des Jahres 2000

- *Steigungsklassen*

Bei der Festlegung der zu berücksichtigenden Steigungsklassen im HBS 2001 wird davon ausgegangen, dass Steigungsstrecken auf 2-streifigen Strassen a.o. mit einer Längsneigung von unter ca. 3.5% für die Anordnung von Zusatzstreifen bereits fahrdynamisch nicht gerechtfertigt sind. Dafür sprechen auch die Ergebnisse der neuen Geschwindigkeitsmessungen (vgl. Kapitel 4).

Im HBS 2001 werden aufgrund der Dauergeschwindigkeit V_D des Bemessungslastwagens 5 Steigungsklassen unterschieden (vgl. Tabelle 45). Die zugehörigen Lastwagengeschwindigkeiten liegen dort – wie in 8.3.2. dargelegt – niedriger, als es die vorliegenden Erhebungen ergaben. Für die Normung kommen die Klassen 3 (mit V_D von 40 – 55 km/h) und 4 (mit V_D von 30 – 40 km/h) in Frage. Die Klasse 5 bezieht sich auf eine $V_D < 30$ km/h, welche gemäss vorliegenden Ergebnissen auf schweizerischen Strassen nur in extremen Steigungen (> 9%) auftritt.

| Geschwindigkeit [km/h] des Bemessungsfahrzeugs | Steigungsklasse |
|--|-----------------|
| > 70 | 1 |
| 55 – 70 | 2 |
| 40 – 55 | 3 |
| 30 – 40 | 4 |
| < 30 | 5 |

Tab. 45: Zuordnung von Steigungsklassen zu Geschwindigkeitsklassen in [22]

Analog zum bestehenden VSS-Modell werden zwei Gruppen, *mittlere Steigungen* (entsprechend HBS-Klasse 3) und *grosse Steigungen* (entsprechend HBS-Klasse 4) unterschieden.

In Abbildung 59 ist der Zusammenhang V_D in Funktion i gemäss Messungen aus dem Jahr 2002 dargestellt. Ergänzt ist zudem die um 10 % reduzierte Funktionskurve gemäss Normvorschlag. Daraus ist ersichtlich, dass die Berücksichtigung der Steigungsklassen 3 und 4 nach den Dauergeschwindigkeiten unseres Bemessungslastwagens den folgenden Steigungsbe-
reichen entspricht:

- ca. 3.2 bis 4.2 % für $V_D = 55$ km/h
- ca. 5.9 bis 6.8 % für $V_D = 40$ km/h
- ca. 8.2 bis 9.2 % für $V_D = 30$ km/h.

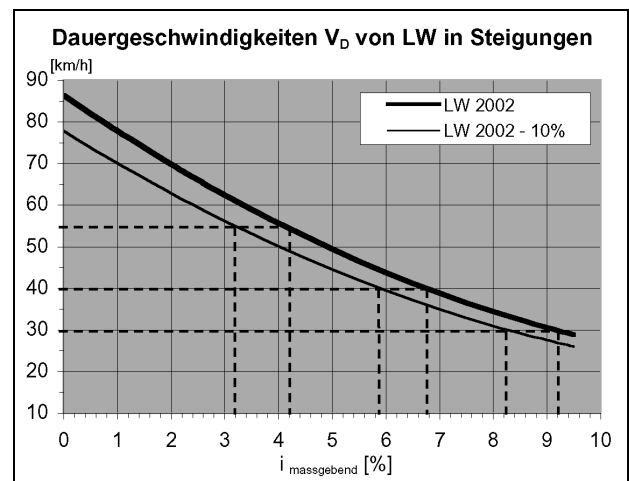


Abb. 59: Abgrenzung der Gruppen mittlere und grosse Steigungen

Für das neue Modell werden deshalb folgende Abgrenzungen der Steigungsgruppen empfohlen:

| | Steigungsbereich i (%) |
|---|--------------------------|
| - <i>Mittlere Steigungen</i> (entsprechend HBS-Klasse 3) | 4.0 bis 6.0 % |
| - <i>Grosse Steigungen</i> (entsprechend HBS-Klasse 4) | > 6.0% |

Tab. 46: Empfohlene Bereiche für mittlere und grosse Steigungen

- *Kurvigkeitsklassen*

Der aus Deutschland stammende Begriff der „Kurvigkeit“ ist auch in den VSS-Normen enthalten und kann – anders als in der bestehenden Norm [3] – für ein neues Modell verwendet werden. Nach [30] wird als Kurvigkeit KU die Summe der absoluten Richtungs- bzw. Winkeländerungen einer Strecke bezogen auf deren Streckenlänge bezeichnet.

$$KU = \frac{\sum_n |\Phi|}{L}$$

KU = Kurvigkeit [gon/km]
 Φ = Winkeländerung in der Kurve [gon]
 (Gesamtwinkel im Kreisbogen- und Klothoidenbereich)
 n = Anzahl Kurven im Streckenabschnitt
 L = Länge des Streckenabschnittes [km]

In Anlehnung an das bestehende Modell werden Kurvigkeitsklassen aus [16] zur Umschreibung der gestreckten Linienführung (mit weitgehend uneingeschränkten Überholsichtweiten) und der stark kurvigen Linienführung (mit stark eingeschränkten bzw. fehlenden Überholsichtweiten) eingeführt. Das HBS 2001 unterscheidet vier Kurvigkeitsklassen (0 – 75, 75 – 150, 150 – 225 und > 225 gon/km).

Für eine gestreckte Linienführung wird die Klasse mit der kleinsten Kurvigkeit von 0 – 75 gon/km verwendet. Die Linienführung mit stark eingeschränkten Überholsichtweiten wird durch die Klasse 150 – 225 gon/km charakterisiert. Wie aus Abbildung 57 ersichtlich werden die Sichtweiten bereits ab 150 gon/km stark reduziert. Die Anhaltesichtweiten (S_A) liegen in der Regel unter 200 m, so dass der kritische Wert von ca. 400 m für die Überholsichtweite S_U (vereinfachend als $2 \cdot S_A$) auf Strassen a.o. mit Gegenverkehr (vgl. u.a. [27]) erreicht oder unterschritten wird.

Die Einführung der Kurvigkeit im neuen Modell ermöglicht die bisherigen Mängel in der Handhabung der Normrichtwerte zu beseitigen: Zur Beurteilung der Überholsichtweiten wird die Kurvigkeit des Streckenabschnitts ermittelt. Zu diesem Zweck wird folgende Regelung empfohlen:

Einzubeziehen in die Kurvigkeitsberechnung ist jeweils

- der Streckenabschnitt, auf dem die fahrdynamischen Kriterien für die Zweckmässigkeit von Zusatzstreifen erfüllt sind, d.h. es gilt die Bedingung $V_{LW} < 0.65 \cdot V_P$ sowie
- der stromaufwärts liegende Streckenabschnitt, bis die V_{LW} wieder der V_P entspricht.

Diese Regelung ist in folgender Abbildung schematisch veranschaulicht.

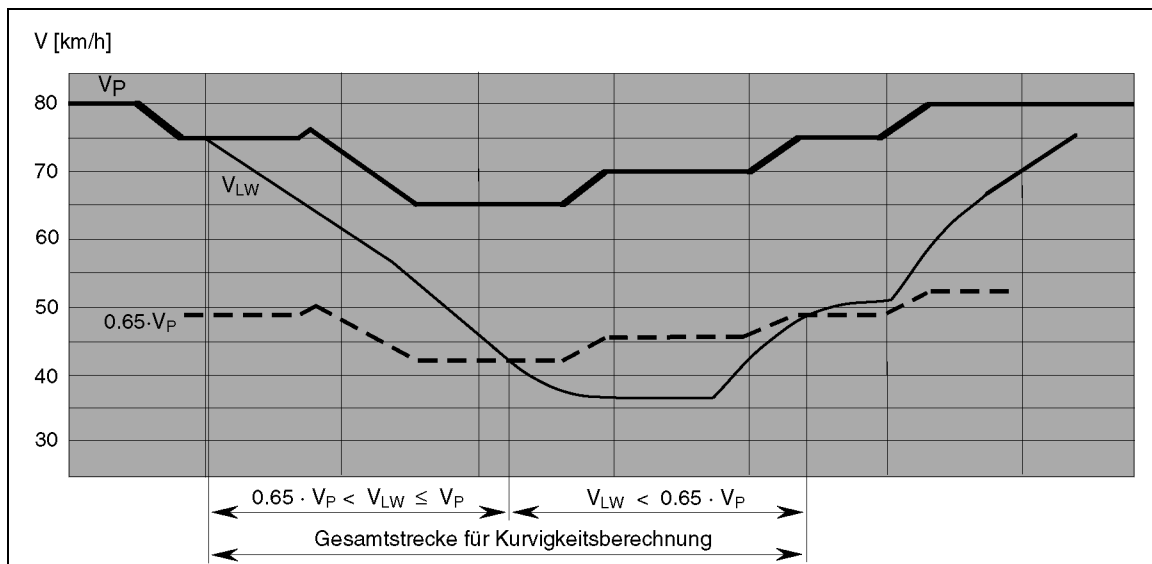


Abb. 60: Regelung zur Ermittlung der Kurvigkeit

Bei dieser Empfehlung wird davon ausgegangen, dass die Beurteilung der Sichtverhältnisse nicht nur auf der eigentlichen Steigungsstrecke sondern auch auf dem in Fahrtrichtung aufwärts liegenden Streckenabschnitt (mit bereits reduzierter Geschwindigkeit langsamer Fahrzeuge) zur Fahrerentscheidung über einzuleitende Überholvorgänge einbezogen wird. Erfahrungsgemäss wird auf Strassen mit Gegenverkehr oft versucht, langsame Fahrzeuge noch vor der vorausliegenden Steigung zu überholen.

Die erwähnte Entscheidungsfindung hängt nicht nur von den Sichtweiten ab, sondern auch davon, ob auf der Strecke Überholverbote vorhanden bzw. vorgesehen sind. In Anlehnung an die Norm [30] wird

deshalb empfohlen, solche Abschnitte in Form eines entsprechenden Kurvigkeitszuschlags zu berücksichtigen. Liegen Überholverbote vor, so wird ihr Streckenanteil in Prozent der betrachteten Gesamtstrecke ermittelt. Der Kurvigkeitszuschlag wird wie folgt ermittelt:

| Streckenanteil mit Überholverbot S [%] | Kurigkeitszuschlag KUZ [gon/km] |
|--|---------------------------------|
| 0 – 30 | $KUZ = 5 \cdot S$ |

Tab. 47: Kurvigkeitszuschlag bei Überholverboten

Streckenanteile mit Überholverboten von mehr als 30 % bewirken auch bei gestreckter Linienführung Kurvigkeitswerte über 150 gon/km, womit die Überholstreckenweiten auf der betrachteten Gesamtstrecke als stark eingeschränkt gelten. Wie im nächsten Abschnitt dargelegt, ist dies ausreichend, um die verkehrstechnische Zweckmässigkeit von Zusatzstreifen abzuschätzen.

- *Verkehrsqualitätsstufen*

Wie in 9.2.2.2. ausgeführt, werden für die Ableitung verkehrstechnischer Kriterien die Fundamentaldiagramme des HBS 2001 [16] verwendet. Sie liegen in Form von Verkehrsstärke-Geschwindigkeit-Diagrammen (Q-V-Diagramme) vor. In Abbildung 61 ist ein Beispiel des Q-V-Diagramms dargestellt. Zur Auswertung gelangen Diagramme für die Steigungsklassen 3 und 4 und für die Kurvigkeitsklassen 0 – 75 gon/km (für gestreckte Linienführung mit uneingeschränkten Sichtweiten) und 150 – 225 gon/km (für kurvige Linienführung mit stark eingeschränkten Sichtweiten).

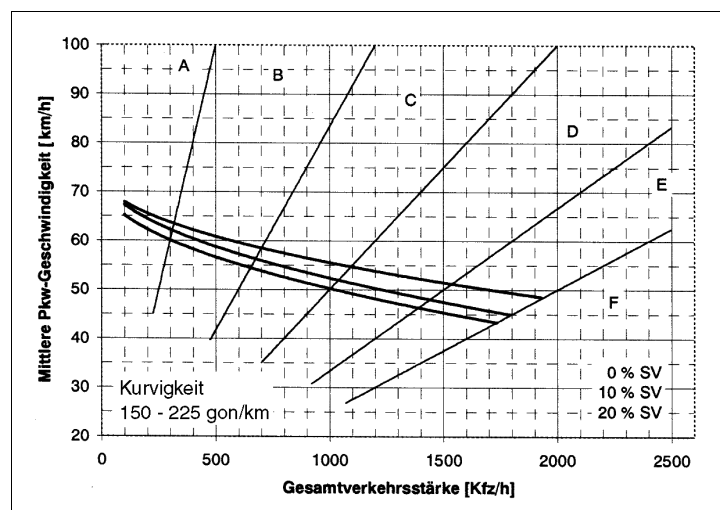


Abb. 61: Verkehrsstärke-Geschwindigkeit-Diagramm aus [16]

Die einzelnen, konkav verlaufenden Linien beziehen sich auf verschiedene Anteile des Schwerverkehrs (SV) und drücken die entsprechenden Zusammenhänge aus: Mit zunehmender Verkehrsstärke sinkt die mittlere Geschwindigkeit des Verkehrsflusses und es erfolgt eine entsprechende Verkehrsverdichtung. Die Verkehrsdichte (in Fz/km) erscheint in dieser Darstellung in Form von Ursprungsvektoren und lässt sich als Quotient der Verkehrsstärke Q und der Geschwindigkeit V berechnen. Eingetragen sind die Verkehrsqualitätsstufen (A bis F), mit welchen die verschiedenen Verkehrszustände auf einem Strassenabschnitt umschrieben werden²⁴. Für das neue Modell stellt sich die Frage, welche Stufen in die Auswertung einbezogen werden sollen. Aufgrund der qualitativen Beschreibung in [28] bzw. [16] können folgende Stufen ausgeschlossen werden:

- Stufen E (Zustand der Leistungsfähigkeit, bzw. dichter Kolonnenverkehr) und F (Stop-and-go-Verkehr und Stau); bei diesen Zuständen ist kein Überholen möglich.
- Stufen A und B; sie repräsentieren den ungebundenen Verkehrsfluss, bei welchem die angestrebten Überholungen uneingeschränkt bis weitgehend ungehindert vorgenommen werden können.

²⁴ Die zugehörigen Schwellenwerte im Beispiel der Abbildung 61 betragen 5, 12, 20, 30 und 40 Fz/km.

Die Stufe D charakterisiert Verkehrszustände, auf welche üblicherweise dimensioniert wird. Der Verkehrszustand in dieser Stufe ist zwar noch stabil, aber stark gebunden: Er ist durch ausgeprägte Kolonnenfahrweise gekennzeichnet und Überholungen sind nur ausnahmsweise möglich.

Für die Auswertung wird deshalb die *Stufe C* verwendet. Sie charakterisiert einen Zustand, bei dem sich die Anwesenheit anderer Verkehrsteilnehmer deutlich bemerkbar macht. Schnellere Fahrzeuge müssen vielfach über längere Abschnitte anderen Fahrzeugen folgen, bevor sie überholen können (Pulkbildung). Eine wichtige Aufgabe der Zusatzstreifen besteht darin, Fahrzeugpuls aufzulösen bzw. deren Bildung zu verhindern.

Innerhalb dieser Stufe wird eine zusätzliche Qualitätsabstufung vorgenommen. Sie basiert auf der Überlegung, dass bei kleineren Lastwagenanteilen (und somit höheren mittleren Geschwindigkeiten) Überholbedürfnisse entsprechend weniger ausgeprägt sind als bei höheren Lastwagenanteilen. Aus diesem Grund wird in die Auswertung einbezogen

- bei 0 % LW die Grenze zur Verkehrsqualitätsstufe D
- bei 20 % LW die Grenze zur Verkehrsqualitätsstufe B.

Die zugehörigen Verkehrsstärken für die dazwischen liegenden Lastwagenanteile werden entlang einer Verbindungslinie ermittelt. Dieses Vorgehen ist in Abbildung 62 veranschaulicht. Die aus [16] einbezogenen Q-V-Diagramme sind in Anhang 4 (Beilage 4.1) zusammengestellt.

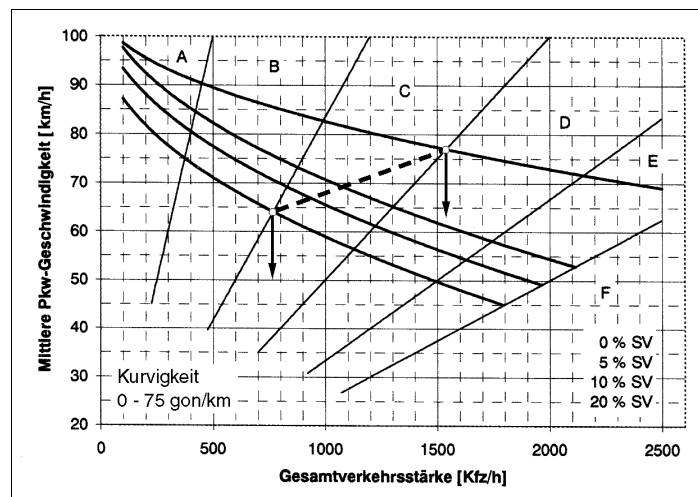


Abb. 62: Ermittlung der Verkehrsstärken bei verschiedenen Lastwagenanteilen in der Verkehrsqualitätsstufe C

Analog zum bestehenden VSS-Modell wurden die nach den obigen Festlegungen ermittelten Abhängigkeiten zwischen Verkehrsstärke (Massgebender stündlicher Verkehr MSV) und den Lastwagenanteilen in Form von Ablesediagrammen aufgezeichnet (vgl. Abbildung 63). Sie stellen die neuen verkehrstechnischen Einsatzgrenzen für die Anordnung von Zusatzstreifen in Steigungen auf Strassen mit Gegenverkehr dar. Die mittleren Steigungen entsprechen dabei der Steigungsklasse 3, die grossen Steigungen jenen der Steigungsklasse 4 in [16]. Im Vergleich zur geltenden Norm (Abbildung 3 in [3]) kommen hier die generell höheren Leistungswerte auf 2-streifigen Strassen sowie ein stärkerer Einfluss der Lastwagenanteile auf die Verkehrsqualität zum Ausdruck.

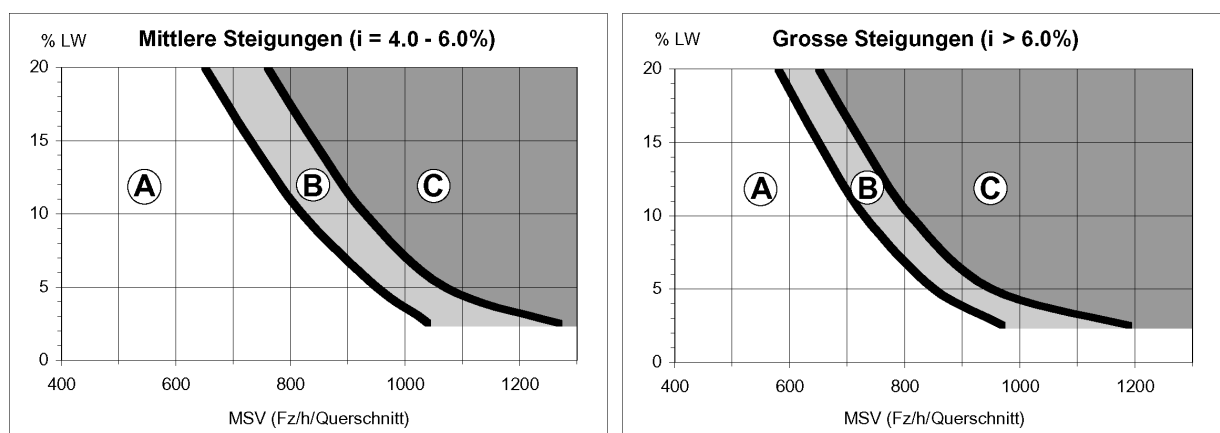


Abb. 63: Verkehrstechnische Einsatzgrenzen für Zusatzstreifen bei mittleren Steigungen (links) und bei grossen Steigungen (rechts)

Die Kurven in den beiden Diagrammen grenzen drei Bereiche ab, jene links (A) und rechts (C) sowie jenen zwischen den beiden Kurven (B). Für die neue Norm wird folgende Interpretation empfohlen:

- **Bereich A: Zusatzstreifen nicht erforderlich**

In diesem Bereich sind die Verkehrsstärken oder die Lastwagenanteile zu klein, um die Zweckmässigkeit von Zusatzstreifen verkehrstechnisch zu rechtfertigen.

- **Bereich B: Zusatzstreifen erwünscht, wenn Sichtweiten stark eingeschränkt sind**

Dies ist in der Regel dann der Fall, wenn die Kurvigkeit der Strecke²⁵ inklusive Zuschläge für Überholverbote grösser als 150 gon/km ist. Bei Kurvigkeiten zwischen 75 und 150 gon/km ist eine Anordnung von Zusatzstreifen auf Grund anderer örtlicher Kriterien²⁶ abzuwägen.

- **Bereich C: Zusatzstreifen erwünscht**

In diesem Bereich sind Zusatzstreifen auch dann verkehrstechnisch erwünscht, wenn die Sichtweiten nicht eingeschränkt sind (Kurvigkeit zwischen 0 und 75 gon/km). Sie begründen sich durch hohe Verkehrsstärken oder Lastwagenanteile.

9.2.3. Verkehrstechnische Beurteilung für Autobahnen

Die bestehende Norm enthält lediglich eine pauschale Empfehlung, wonach Zusatzstreifen auf Hochleistungsstrassen mit baulicher Richtungstrennung (gemeint sind 2-streifige Richtungsfahrbahnen) nur dann gerechtfertigt sind, wenn MSV von über 1'500 Fz/h bei einem Lastwagenanteil von mindestens 15 % auftreten. Diese Empfehlung wurde aus einer sehr vereinfachenden Betrachtung im damaligen Forschungsbericht [5] abgeleitet. Letztere basiert auf Untersuchungen aus den 1970er Jahren (u.a. [34]).

Die damalige Regelung war nur behelfsmässig zu verstehen, da damals in der Schweiz noch keine Regelwerke zur Beurteilung der Verkehrsqualität vorlagen. Inzwischen ist diese Lücke im VSS-Normenwerk mit der Normgruppe „Leistungsfähigkeit, Verkehrsqualität, Belastbarkeit“ geschlossen. Die Norm für freie Strecken auf Autobahnen [32] behandelt umfassend die Aspekte der Querschnittsbemessung und der Leistungsanalyse unter Berücksichtigung verschiedener Ausbauformen. Zum Aufgabenbereich dieser Norm zählt auch die Beurteilung der Zweckmässigkeit eines Zusatzstreifens bzw. eines dritten Fahrstreifens.

Die erwähnte Norm [32] wird zwar gegenwärtig revidiert, es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass auch die revidierte Norm entsprechende Vorgehensempfehlungen enthalten wird, da das Bemessungs- und Beurteilungskonzept der bestehenden Norm, welches sich an die ausländischen Empfehlungen in [16] und [24] anlehnt, nicht umstritten ist.

Aufgrund dieser Situation wird von der Forschungsstelle empfohlen, im entsprechenden Abschnitt der zu revidierenden Norm über Zusatzstreifen in Steigungen und Gefällen einen Hinweis anzubringen, *wonach die verkehrstechnische Beurteilung der Zweckmässigkeit von Zusatzstreifen auf Autobahnen nach der VSS-Norm SN 640 018 zu erfolgen hat.*

9.3. Ausbildung von Zusatzstreifen

In Abschnitt C der bestehenden Norm [3] wird die konstruktive Ausbildung von Zusatzstreifen behandelt. Darin enthalten sind Richtwerte für verschiedene Elemente, welche teilweise auch geschwindigkeitsabhängig sind. Sie umfassen:

- Mindestlängen von Zusatzstreifen
- Mindestabstände zwischen Zusatzstreifen in gleicher Fahrtrichtung
- Ausbildung der Übergangsbereiche (Ausscherbereich / Einfädelungsbereich).

Hinsichtlich entsprechender Richtwerte für Autobahnen, wo sich die Herabsetzung der generellen Tempolimiten nicht massgeblich auf die Verkehrsqualität ausgewirkt hat, empfiehlt die Forschungsstelle auf eine Reduktion der Richtwerte zu verzichten. Dafür sprechen auch die Anforderungen der Homogenität im Ausbaugrad der Hochleistungsstrassen.

²⁵ Die Definition der einzubeziehenden Strecke ist im Abschnitt „Kurvigkeitsklassen“ (vgl. auch Abbildung 6o) enthalten.

²⁶ Gemäss Beschreibung in Ziffer 9 der bestehenden Norm [3].

Die gleiche Empfehlung wird im Grundsatz – trotz der Reduktion der generellen Tempolimits von 100 auf 80 km/h – auch für Strassen a.o. mit Gegenverkehr postuliert²⁷. Dies mit folgender Begründung:

Die fahrdynamische Auslegung der erwähnten Ausbildungselemente auf ein höheres Niveau der Fahrgeschwindigkeiten bietet nach der Herabsetzung der Tempolimits die Möglichkeit, gewisse Sicherheitsvorteile zu erzielen. Im Hinblick auf den negativen Aspekt des Risikoverhaltens von Fahrzeuglenkern hätte dies den nicht zu unterschätzenden Vorteil, dass die Verkehrsteilnehmer von den entstandenen Sicherheitsreserven nichts wissen und sie deshalb nicht missbrauchen können. Im Fall der erwähnten konstruktiven Elemente ist zudem zu beachten, dass bei ihrer Festlegung auch Ergebnisse von Unfallauswertungen berücksichtigt wurden.

Eine analoge Entscheidung hat die VSS-Fachkommission 2 vor einigen Jahren auch bei der Revision der Norm über das Quergefälle getroffen. Die Richtwerte für das Quergefälle in Kurven basieren bis heute auf dem Geschwindigkeitsniveau der früheren Tempolimits.

Gegen die obige Empfehlung spricht der fahrdynamisch nicht begründbare Mehrbedarf an Platz für die Ausbildung von Zusatzstreifen. Umgekehrt ist kaum anzunehmen, dass bestehende, nach der geltenden Norm erstellte Zusatzstreifen in Steigungen mit entsprechendem Aufwand umgebaut würden.

Aufgrund dieser Überlegungen empfiehlt die Forschungsstelle, die Fragen der Ausbildung von Zusatzstreifen erst bei der Erarbeitung der zu revidierenden Norm zu behandeln. Allfällige Anpassungen der Elemente können dabei fallweise und aufgrund der Diskussion mit der begleitenden Kommission festgelegt werden.

9.4. Auswirkungen der Normungsvorschläge

In 9.2. und 9.3. wurden Vorschläge zur Anpassung der Einsatzkriterien für Zusatzstreifen in Steigungen unterbreitet. In diesem Abschnitt werden die Auswirkungen dieser Vorschläge geprüft. Im Vordergrund stehen dabei die fahrdynamischen Kriterien. Die in 9.2.1.3. empfohlenen Kriterien sind nachfolgend nochmals wiedergegeben:

Aus fahrdynamischer Sicht sind Zusatzstreifen in Steigungen prüfenswert, wenn die Geschwindigkeit von langsamen Lastwagen folgenden Wert (in % der Projektierungsgeschwindigkeit V_p von Personenwagen) unterschreitet:

- Etwa **65%** über eine zusammenhängende Strecke von mindestens 200 m (Hauptstr. a.o.)
- Etwa **55%** über eine zusammenhängende Strecke von mindestens 500 m (HLS).

Zur Überprüfung werden zwei Beispiele von Steigungsstrecken verwendet:

- Das erste Beispiel ist eine *Steigungsstrecke auf einer Hauptstrasse ausserorts* (Tempolimit 80 km/h). Es handelt sich um jene Strecke, die in der bisher geltenden Norm [3] in Ziffer 14 bzw. in Abbildung 6 enthalten ist. Das Normbeispiel stammt noch aus der Zeit mit Tempolimit 100 km/h. Für Vergleichszwecke ist die erwähnte Abbildung in Anhang 4 (Beilage 4.2) dargestellt. Die neuen Geschwindigkeitsverläufe gemäss den vorliegenden Vorschlägen sind in Abbildung 64 dargestellt.
- Das zweite Beispiel ist eine *Steigungsstrecke auf einer HLS* (Tempolimit 120 km/h). Es handelt sich um die Richtungsfahrbahn der Gotthard-Südrampe auf der Autobahn A2, auf der heute in Steigungsrichtung zwei Zusatzstreifen vorhanden sind. Die Geschwindigkeitsverläufe gemäss den vorliegenden Vorschlägen sind in Abbildung 66 dargestellt.

9.4.1. Steigungsstrecke auf Hauptstrasse

Bei diesem Beispiel werden die Auswirkungen neuer Vorschläge im Vergleich zur bestehender Norm anhand einer theoretischen Situation geprüft. Dabei ist zu beachten, dass sich der Verlauf der V_p infolge der Herabsetzung der Tempolimits von 100 auf 80 km/h verändert hat.

Wie aus Abbildung 64 ersichtlich, unterschreitet die Geschwindigkeit langsamer Lastwagen (V_{LW} in Richtung „O“ – „K“) die auf 65% reduzierte Projektierungsgeschwindigkeit (V_p) zwischen ca. km 1.88 (kurz vor Mitte des Abschnitts mit 7.0 % Steigung) und ca. km 2.55 (kurz nach der Kuppe zwischen den Abschnitten mit 5.0% und -1.0%), also auf einer Länge von ca. 670 m. Der Einfluss der vertikalen Linienführung auf die V_p beschränkt sich auf den Steigungsabschnitt mit 7.8% ($V_p = 75$ km/h, gemäss Tabelle 44). Analog zur bestehenden Norm ist in Abbildung 64 auch der Verlauf der V_{LW} in der Gegenrichtung („K“ – „O“) dargestellt.

²⁷ Bzgl. Mindestlängen von Zusatzstreifen wurde diese Empfehlung bereits in 9.2.1.3 abgegeben.

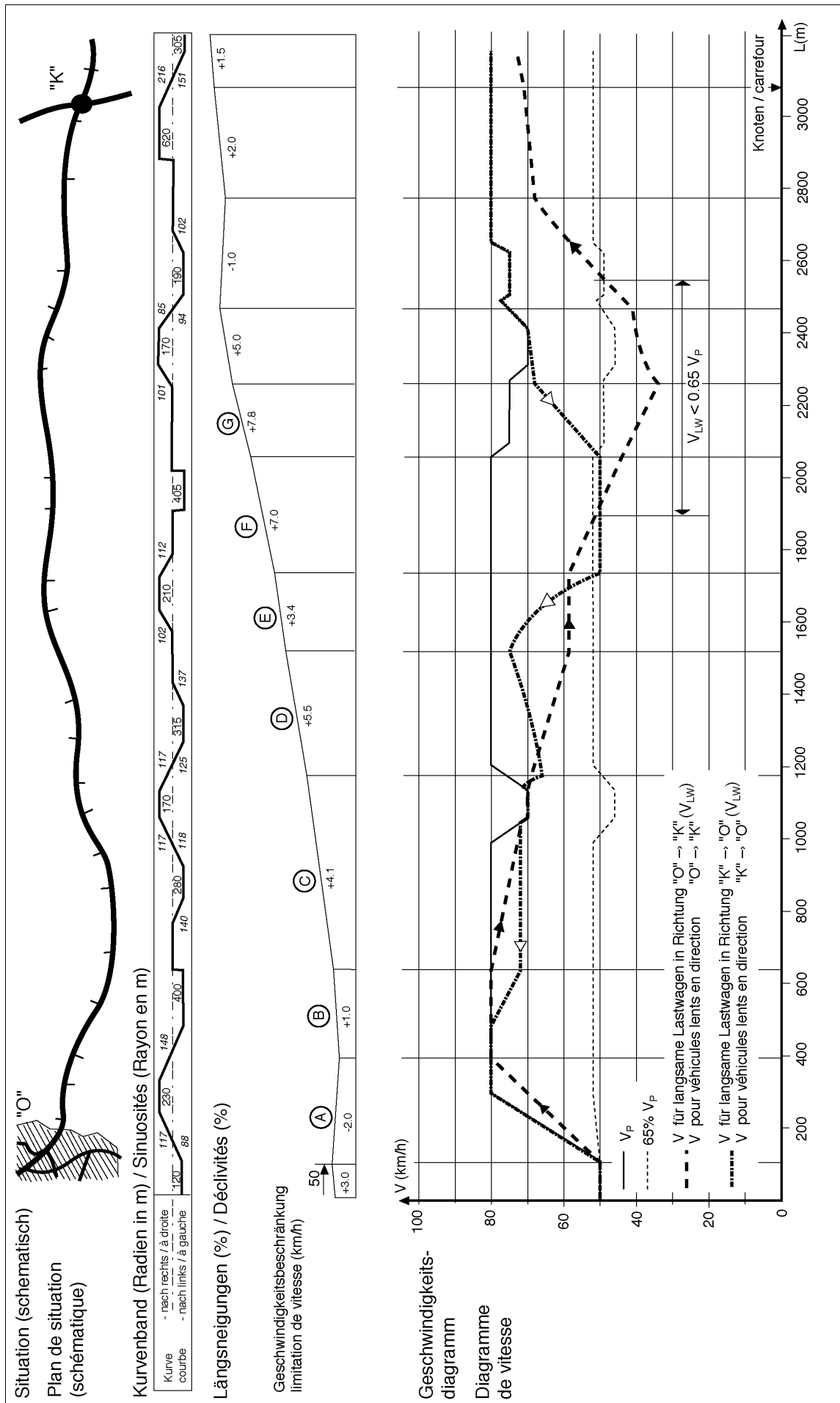


Abb. 64: Beispiel der Steigungsstrecke auf einer Hauptstrasse a.o.

In der bestehenden Norm [3] war die Unterschreitung der auf 50% reduzierten V_p zwischen ca. km 1.76 und ca. km 2.48, also auf einer Länge von ca. 720 m vorhanden (siehe Anhang 4, Beilage 4.2). Die zwei Bereiche sind also ähnlich lang und stimmen räumlich weitgehend überein. Allerdings gab es nach der bestehenden Norm noch einen zweiten kürzeren Bereich bei km 1.40 bis 1.53 mit Unterschreitung der $0.50 \cdot V_p$.

Aus dieser Überprüfung geht hervor, dass auch nach den hier unterbreiteten Vorschlägen ein Zusatzstreifen in der Steigungsrichtung auf dieser Strecke *fahrdynamisch* wünschbar wäre: Die auf 65% reduzierte V_p wird auf einer Länge von mehr als 200 m unterschritten. Die verkehrstechnische Zweckmässigkeit des Zusatzstreifens kann ohne Kenntnis der Verkehrsdaten (MSV und %LW) und der Sichtverhältnisse auf der Strecke nicht beurteilt werden. Weil zur Beurteilung der Sichtweiten ein neuer Vorschlag unterbreitet wurde (vgl. Kurvigkeitsklassen in 9.2.2.3.), wird auf dessen Handhabung nachfolgend eingegangen.

Zur Beurteilung der Sichtweiten muss die *Kurvigkeit der Strecke* [gon/km] berechnet werden. Für die Ermittlung der Winkeländerungen braucht es Angaben über Kreisbogenradien, Klothoidenparameter (diese sind in Abbildung 64 im Kurvenband kursiv angegeben) sowie entsprechende Distanzangaben. Die Ergebnisse der Kurvigkeitsberechnung sind in Abbildung 65 für die gesamte Strecke (km 0.0 - 3.2) dargestellt.

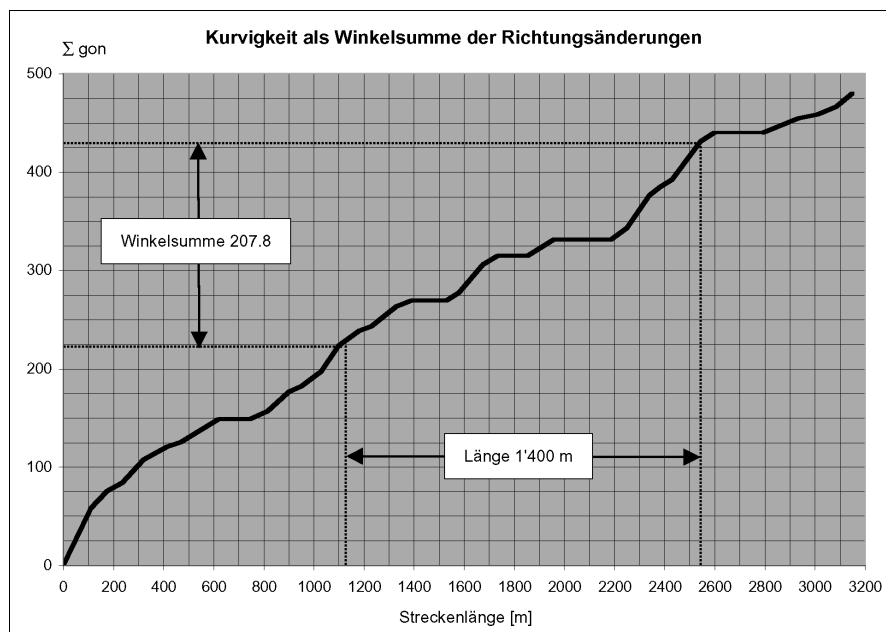


Abb. 65: Aufsummierte Kurvigkeit der Steigungsstrecke aus Abbildung 64

Gemäss Empfehlung (vgl. Abbildung 60) soll für die Beurteilung nicht nur der Abschnitt mit $V_{LW} < 0.65 \cdot V_p$ (zwischen ca. km 1.88 und 2.55), sondern auch jener stromaufwärts, bis die V_{LW} die Höhe der V_p wieder erreicht, betrachtet werden. Im vorliegenden Beispiel ist dies bei ca. km 1.15 (Ende des Kreisbogens mit $R = 170$ m) der Fall. In diesem insgesamt 1.4 km langen Abschnitt beträgt die aufsummierte Kurvigkeit ca. 208 gon, was pro km ca. 148 gon entspricht.

Für die verkehrstechnische Beurteilung wäre die Abbildung 63 rechts ($i > 6.0\%$) anzuwenden. Da die Kurvigkeit fast 150 gon/km (und unter Berücksichtigung allfälliger Überholverbote im Kuppen- und Knotenbereich mehr als 150 gon/km) beträgt, wäre ein Zusatzstreifen verkehrstechnisch auch dann zweckmässig, wenn die Verkehrsmengen (MSV und %LW) in den Bereich B zu liegen kommen.

9.4.2. Steigungsstrecke auf Autobahn

Am Beispiel der Gotthard-Südrampe auf der Autobahn A2 wird geprüft, wie weit die neuen Vorschläge die fahrdynamische Zweckmässigkeit der bereits erstellten Zusatzstreifen in ihrer Lage und Ausdehnung bestätigen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Planung dieser Zusatzstreifen in den 1970er Jahren erfolgte. Die bestehende Norm [3] existierte damals noch nicht und die Vorgängernorm²⁸ basierte auf Erhebungen Ende der 1950er Jahre.

In Abbildung 66 ist im oberen Teil der Verlauf der Längsneigungen zwischen dem Anschluss Biasca und dem Südportal des Gotthardtunnels (Kilometrierung von Nord nach Süd) dargestellt. Diese Richtungsfahrbahn

²⁸ VSS-Norm SN 640 138 „Linienführung: Länge der Steigungen; Kriechspuren“, Dezember 1959

wurde im Rahmen einer Untersuchung des ASTRA [35] analysiert. Eingetragen sind auf der Strecke zwei Zusatzstreifen in der Steigungsrichtung (Fahrtrichtung Süd – Nord). Im unteren Teil der Abbildung sind die Geschwindigkeitsverläufe dargestellt. Da es sich um eine sehr lange Strecke handelt, erfolgte die Darstellung in einer etwas generalisierten Form. Die Projektierungsgeschwindigkeit V_p ist auf dieser Autobahnstrecke nur eine Funktion der Tempolimit (120 bzw. 100 km/h und 80 km/h vor dem Tunnelportal).

Wie aus Abbildung 66 ersichtlich, unterschreitet die Geschwindigkeit langsamer Lastwagen (V_{LW}) die auf 55% reduzierte Projektierungsgeschwindigkeit (V_p) in zwei Bereichen, die mit der Lage der bestehenden Zusatzstreifen übereinstimmen. Sie sind erwartungsgemäss wesentlich kürzer, da die Dauergeschwindigkeiten von Lastwagen deutlich höher liegen als jene Ende der 1950er Jahre. Auch in diesem Beispiel zeigt sich also, dass die hier empfohlenen Normanpassungen insgesamt zweckmässig und für die Anwendung in der Praxis geeignet sind.

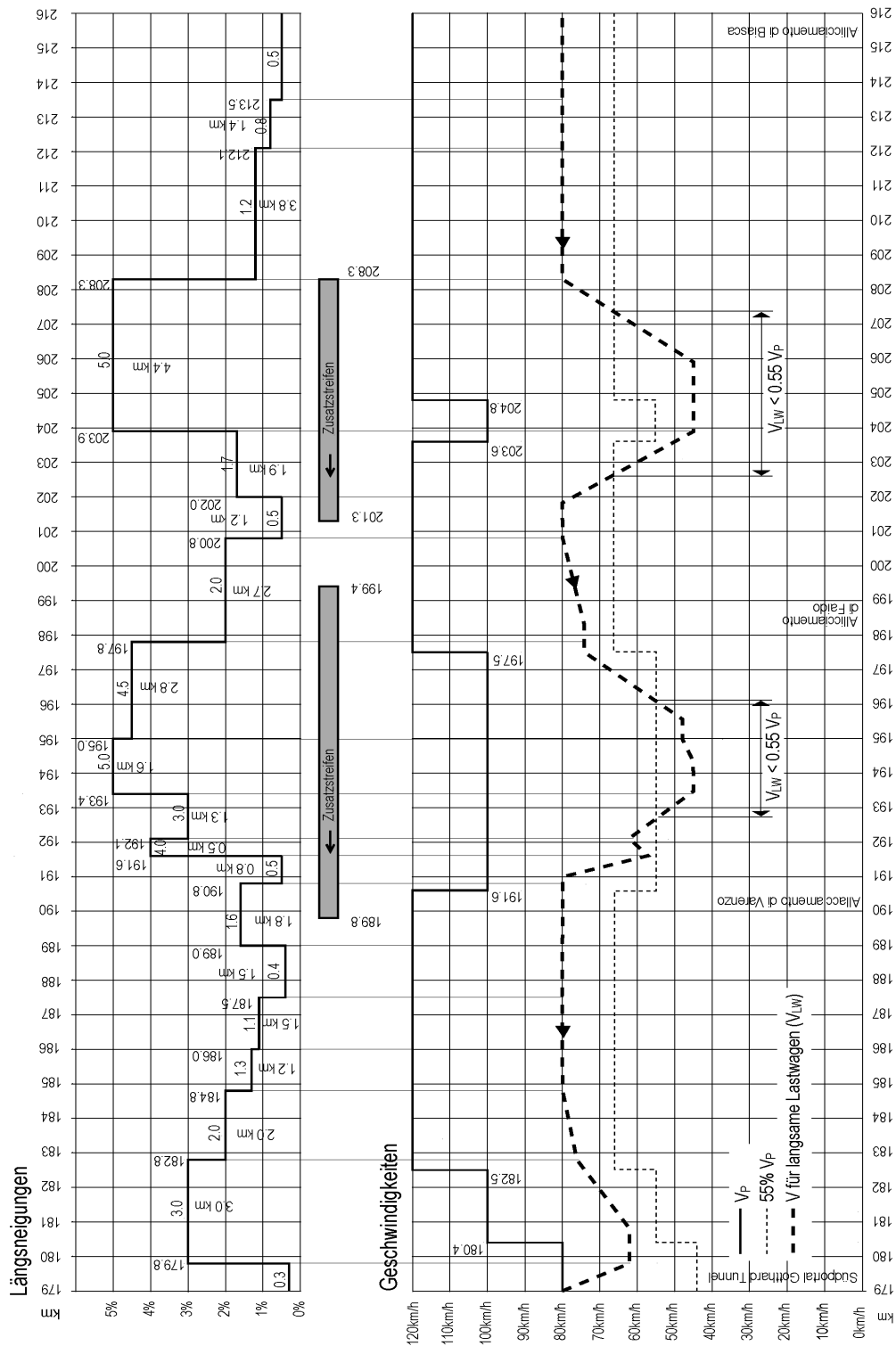


Abb. 66: Beispiel der Steigungsstrecke auf der Gotthard-Südrampe (Autobahn A2)

10. WICHTIGSTE ERGEBNISSE UND EMPFEHLUNGEN

10.1. Wichtigste Ergebnisse

Die im Rahmen dieser Forschungsarbeit durchgeführten Untersuchungen brachten neue Erkenntnisse zum Geschwindigkeitsverhalten von Personenwagen und Lastwagen in Steigungen und Gefällen, welche zur Anpassung bestehender Normen führen. Die Ergebnisse basieren auf rund 40 Erhebungen im Verkehrsablauf auf Hochleistungsstrassen und auf Hauptstrassen ausserorts sowie auf ergänzenden Simulationsberechnungen. Die Veränderungen gegenüber früheren Erhebungen, wo auf Strassen a.o. die generelle Tempolimite noch bei 100 km/h lag, wurden anhand der 1999 durchgeführten Messungen analysiert. Die Erhebungen vom Sommer 2002 dienten zur Analyse der Auswirkungen der in der Zwischenzeit veränderten Rechtsgrundlagen bzgl. Zulassung von Lastwagen mit bis zu 40t Gesamtgewicht. Im Folgenden werden die wichtigsten Ergebnisse der vorliegenden Arbeit zusammengefasst.

Bei den *Personenwagen (PW)* zeigte sich bei den Geschwindigkeitsverteilungen von 1999 eine Homogenisierung gegenüber 1978 [4]. Die Geschwindigkeitsdifferenzen zwischen den schnellen ($V_{85\%}$) und langsamen ($V_{15\%}$) PW liegen unabhängig von den Neigungsverhältnissen bei rund 20 km/h, während sie 1978 ca. 5 - 10 km/h höher lagen. Zudem zeigte sich auf Steigungsstrecken, im Gegensatz zu Gefällsstrecken, eine leichte Abhängigkeit zwischen Längsneigung und Geschwindigkeit. Die angesprochene Homogenisierung ist primär auf die Reduktion der Geschwindigkeiten von schnellen PW zurückzuführen. Anhand der durchgeführten *Regressionsberechnungen* konnte festgestellt werden, dass die Dauergeschwindigkeiten (V_D) von Personenwagen in Steigungen bis zu einer Längsneigung von ca. 8 % tiefer liegen als 1978, und zwar bei kleinen Längsneigungen um bis zu 8 km/h. Erst bei sehr grossen Steigungen war eine leichte Zunahme zu verzeichnen. Diese Veränderungen lassen sich durch die herabgesetzte Geschwindigkeitslimite von damals 100 km/h auf Strassen a.o. auf heute 80 km/h erklären.

Bei den *Lastwagen (LW)* zeigten die Erhebungen von 1999 bei zunehmender Längsneigung eine klare Tendenz zur Abnahme der Geschwindigkeiten und damit einen deutlichen Zusammenhang zwischen Geschwindigkeit und Längsneigung. Die Geschwindigkeitsverteilungen der Lastwagen fielen dabei leicht weniger homogen aus als jene der Personenwagen. Dennoch haben sich 1999 gegenüber 1983 [5] die Geschwindigkeitsdifferenzen zwischen den schnellen ($V_{85\%}$) und langsamen, beladenen ($V_{15\%}$) LW ebenfalls deutlich verringert und damit das Geschwindigkeitsverhalten homogenisiert. Die Erhebungen von 2002 zeigten in Steigungen gegenüber 1999 eine leichte Zunahme der Geschwindigkeitsdifferenzen, in Gefällen konnte eine weitere Abnahme beobachtet werden. Im Vergleich zu 1983 konnte bei den mittleren Geschwindigkeiten (V_M) der Erhebungen von 1999 eine deutliche Zunahme bei gleichzeitig kleineren Standardabweichungen festgestellt werden. Die V_M von 2002 blieben gegenüber 1999 in Steigungen praktisch unverändert, in Gefällen zeigte sich eine weitere Zunahme. Bei den $V_{15\%}$, welche als Dauergeschwindigkeiten für beladene LW repräsentativ sind, konnten sowohl 1999 als auch 2002 teilweise sehr grosse Zunahmen gegenüber 1983 festgestellt werden. Die Messungen der $V_{15\%}$ in Steigungen von 2002 lagen gegenüber 1999 leicht tiefer, während auf Gefällsstrecken eine weitere Zunahme beobachtet werden konnte.

Die Abnahme der Dauergeschwindigkeiten 2002 von Lastwagen in Steigungen wies aber nicht das Ausmass auf, welches von verschiedenen Seiten im Vorfeld der Zulassung von LW mit bis zu 40t Gesamtgewicht befürchtet worden war. Auch eine Zusatzauswertung für schwere Lastwagen (SLW) über 12.5 m Länge (Lastenzüge und Sattelschlepper) zeigte, dass die SLW 1999 eher schneller unterwegs waren als das gesamte Lastwagenkollektiv. Im 2002 zeigte der Vergleich zwischen LW und SLW sogar keine Unterschiede bzgl. der Geschwindigkeiten in Steigungen. Das bedeutet, dass sich die Geschwindigkeiten von beladenen Lastenzügen und Sattelschleppern mit der neuen 40t Limite in etwa auf dem Niveau des gesamten Kollektivs der beladenen Lastwagen bewegen und sich die Befürchtungen von untermotorisierten und damit behindernden SLW nicht bestätigt haben.

Die durchgeführten *Regressionsberechnungen* haben ergeben, dass die Dauergeschwindigkeiten (V_D) von freifahrenden Lastwagen 1999 sowohl in Steigungen als auch in Gefällen deutlich höher liegen als 1983. In Steigungen liegen die Dauergeschwindigkeiten im Mittel um 13.7 km/h höher als 1983, in Gefällen zwischen 10 km/h bei kleinen und 16 km/h bei grossen Längsneigungen. Die Erhebungen von 2002 zeigten gegenüber 1999 in Steigungen eine leichte Abnahme der Dauergeschwindigkeiten (im Mittel -3.8 km/h), während in Gefällen eine weitere Erhöhung der V_D (im Mittel +4.8 km/h) zu verzeichnen war. Dennoch liegen die V_D der Lastwagen in Steigungen heute (2002) um ca. 10 km/h über den Ergebnissen von 1983. Da die Tempolimite für LW nicht verändert worden ist, liegt der Grund für die Zunahme bei den Geschwindigkeiten einerseits bei Veränderungen im Lastwagenpark (höhere Motorleistungen, besser abgestimmte Getriebeverhältnisse) und andererseits in der Tatsache, dass die Transportunternehmer für den alpenquerenden Güterverkehr besser motorisierte Fahrzeuge zur Verfügung stellen, welche damit weit über der gesetzlich vorgeschriebenen Mindestnutzleistung von 5.0 KW/t liegen. Diese Vermutung konnte durch die Auswertung der dynamischen Gewichtsmessungen (WIM) am Gotthard bestätigt werden.

Die *statistischen Auswertungen* bzgl. des Lastwagenparks in der Schweiz haben gezeigt, dass seit der Einführung der leistungsabhängigen Schwerverkehrsabgabe (LSVA) die Zahl der Lieferwagen (+5.4%) und vor allem die der Schwerverfahrzeuge mit Anhänger (+11.6%) deutlich zugenommen hat. Bei den Betriebsgewichten der in der Schweiz zugelassenen Nutzfahrzeuge konnte nach Einführung der LSVA bei den LW über 26t eine Zunahme von knapp 11% festgestellt werden, während in den kleineren Gewichtsklassen eine Abnahme zu beobachten war.

Die *WIM-Auswertung* zeigte für den Nord-Süd-Verkehr im Sommer 2002 eine deutliche Zunahme bei der Anzahl und dem Anteil von Nutzfahrzeugen mit Betriebsgewichten über der alten Gewichtslimite von 28t gegenüber der Vergleichsperiode im Jahr 1999. Am Gotthard beispielsweise erhöhte sich der Anteil von 6.5% auf 19%. Eine Abschätzung der Weiterentwicklung dieses Trends zu höheren Betriebsgewichten, ein Vergleich mit der Situation in Österreich sowie die verkehrspolitischen Zielsetzungen des Bundes (Verlagerung des Schwerverkehrs auf die Bahn ab 2005 sowie die Anhebung der LSVA-Tarife auf 100%) haben die Forschungsstelle veranlasst, die für die Normung zu Grunde zu legenden Dauergeschwindigkeiten in Steigungen um 10% gegenüber den Ergebnissen von 2002 zu reduzieren. Für die Gefällsrichtung sollten die 2002 gemessenen Dauergeschwindigkeiten unverändert übernommen werden.

Zur Verifizierung der empirischen Messergebnisse wurden *Simulationsberechnungen* durchgeführt. Simuliert wurden Verzögerungs- und Anfahrvorgänge von LW mit unterschiedlichen Nutzleistungen und Hinterachsübersetzungen in verschiedenen Längsneigungen. Die Ergebnisse wurden anschliessend in Geschwindigkeit-Weg-Diagramme transformiert. Anhand einer Gegenüberstellung von empirischen und simulierten Werten konnte ein neuer Bemessungslastwagen festgelegt und ein Normvorschlag für die Dauergeschwindigkeiten von Lastwagen ausgearbeitet werden. Zudem wurde ein Vorschlag für neue Geschwindigkeitsprofile von Lastwagen in Steigungen und Gefällen für die zu revidierende Norm [3] entwickelt. Beim *Vergleich mit ausländischen Richtlinien und Forschungsergebnissen* hat sich gezeigt, dass die Dauergeschwindigkeiten des neuen Bemessungslastwagens, der auf einer spezifischen Nutzleistung von 11.1 PS/t beruht, etwas höher liegen als im Ausland.

In einem letzten Schritt wurden weitere *Grundlagen zur Anpassung der bestehenden VSS-Norm* „Zusatzstreifen in Steigungen und Gefällen“ erarbeitet. Eine Überprüfung der Norm hat ergeben, dass sich das Verfahren zur Beurteilung der Notwendigkeit von Zusatzstreifen grundsätzlich bewährt hat. Bei den fahrdynamischen Kriterien drängen sich Anpassungen bzgl. der Quotienten zwischen V_{PW} und V_{LW} auf. Bei den verkehrstechnischen Kriterien ergibt sich ebenfalls ein Anpassungsbedarf. Hier lehnt sich der Vorschlag für ein neues Modell an das HBS 2001 [16] an und berücksichtigt verschiedene Steigungsklassen, Kurvigkeitsklassen und Verkehrsqualitätsstufen. Die Anwendbarkeit und Handhabung des neuen Normvorschlages wurde an zwei Beispielen (HLS-Abschnitt und Hauptstrasse a.o.) überprüft.

10.2. Empfehlungen

Aufgrund der Erkenntnisse der vorliegenden Forschungsarbeit empfiehlt die Forschungsstelle der Begleitkommission, die Revision der VSS-Norm 640 138a „Linienführung, Zusatzstreifen in Steigungen und Gefällen“ gemäss den Vorschlägen in Kapitel 9.2.1.3. (fahrdynamische Kriterien) und Kapitel 9.2.2.3. (verkehrstechnische Kriterien) durchzuführen.

Im Hinblick auf die Überarbeitung der VSS-Norm 640 080b „Geschwindigkeit als Projektierungselement“ sollte Punkt 5 (Abschnitt C) gemäss Kapitel 8.2.2. angepasst werden.

Eine letzte Empfehlung steht im Zusammenhang mit der geplanten Verlagerung des Schwerverkehrs auf die Bahn ab dem Jahr 2005 (vgl. 5.3.). Sollte es zutreffen, dass v.a. Transporte mit hohen Betriebsgewichten auf die Bahn verlagert werden, wird sich die Struktur der Strassentransporte hinsichtlich der Betriebsgewichte bedeutend verändern. Aus diesem Grund wäre es zweckmässig, die Erhebungen zum Geschwindigkeitsverhalten von Lastwagen in Steigungen und Gefällen (v.a. auf Autobahnen) zu gegebener Zeit zu wiederholen.

11. VERZEICHNISSE UND QUELLEN

11.1. Quellenverzeichnis

- [1] VSS-Norm SN 640 080b: „Grundlagen, Geschwindigkeit als Projektierungselement“
- [2] VSS-Norm SN 640 110: „Linienführung, Elemente der vertikalen Linienführung“
- [3] VSS-Norm SN 640 138a: „Linienführung, Zusatzstreifen in Steigungen und Gefällen“
- [4] BOPPART E., LINDENMANN H.P., RANFT B.: „Geschwindigkeit in Steigungen und Gefällen“, IVT-ETH Zürich, EDI-Forschungsauftrag Nr. 3/77, Oktober 1979
- [5] SPACEK P., DÜGGELI Ph.: „Geschwindigkeiten von Lastwagen in Steigungen und Gefällen“, IVT-ETH Zürich, EVED-Forschungsauftrag Nr. 21/80, Oktober 1984
- [6] BELOPITOV I., SPACEK P.: „Geschwindigkeiten in Kurven“, IVT-ETH Zürich, UVEK-Forschungsauftrag Nr. 1/96, Februar 1999
- [7] KOY Th., SPACEK P.: „Geschwindigkeiten in Steigungen und Gefällen“, IVT-ETH Zürich, UVEK-Forschungsauftrag Nr. 20/98, Juli 2000, Zwischenbericht zu Händen der VSS Begleitkommission 2.05
- [8] „Auswirkungen der 40t-Limite auf die Strassen“, internes Forschungsprogramm des ASTRA (nicht veröffentlicht)
- [9] SPACEK P.: „Fahrverhalten und Unfallgeschehen in Kurven, Fahrverhalten in Kurvenbereichen“, EVED-Forschungsauftrag Nr. 16/84, IVT-ETH Zürich, Juni 1998
- [10] SCHEIFELE U., SPACEK P.: „Messpfosten: Eine Messeinrichtung für Erhebungen des Fahrverhaltens auf Strassen“, IVT-ETH Zürich, Fonds für Verkehrssicherheit, Dezember 1992
- [11] Bundesamt für Statistik (BfS): „Strassenfahrzeuge in der Schweiz“, Bestand am 30. September 2001, Fachbereich 11: Verkehr und Nachrichtenwesen, Neuchâtel 2001
- [12] Bundesamt für Statistik (BfS): http://www.statistik.admin.ch/stat_ch/ber11/dufr11.htm, Fahrzeugbestand für 2002, Neuchâtel 2002
- [13] GHIEMMETTI M., PITZINGER P., SPACEK P.: „Gutachten Verkehrssicherheit Nationalstrasse A13, Soazza – Thusis“, Kantonspolizei und Tiefbauamt Graubünden, 2002
- [14] GHIEMMETTI M., PITZINGER P., SPACEK P.: „Ergänzungsgutachten Verkehrssicherheit Nationalstrasse A13, Soazza – Thusis“, Kantonspolizei und Tiefbauamt Graubünden, 2003
- [15] ECOPLAN: „Die verkehrlichen Auswirkungen des bilateralen Landverkehrsabkommens zwischen der Schweiz und der Europäischen Union auf den Strassen- und Schienenverkehr“, GVF-Bericht 2/99 im Auftrag des GS UVEK, Bern Juni 1999
- [16] Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen: „Handbuch für die Bemessung von Strassenverkehrsanlagen (HBS) 2001“, Köln 2001
- [17] Forschungsgesellschaft für das Verkehrs- und Strassenwesen in Wien: „Richtlinien und Vorschriften für den Strassenbau - RVS 3.23: Trassierung, Linienführung“, Januar 1997
- [18] SETRA: „Instructions sur les Conditions Techniques d'Aménagement des Routes Nationales (I.C.T.A.R.N.)“, Bagnex Cedex 1994
- [19] Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen: „Richtlinien für die Anlage von Strassen, Teil Querschnitte (RAS-Q)“, Ausgabe 1996, Köln
- [20] Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen: „Richtlinien für die Anlage von Strassen, Teil Querschnitte (RAS-Q)“, Ausgabe 1982, Köln
- [21] BRILON W., BRESSLER A.: „Verkehrssicherheit von Steigungsstrecken – Kriterien für Zusatzfahrstreifen“, Lehrstuhl für Verkehrswesen, Ruhr-Universität Bochum, Berichte der Bundesanstalt für Strassenwesen (bast), Bergisch Gladbach, Juli 2001
- [22] Interim Guide to the Geometric Design of Rural Roads, National Association of Australian State Road Authorities (NAASRA), Sydney 1980
- [23] Transportation Research Board: „Highway Capacity Manual (HCM 94)“, National Research Council, Washington D.C., USA 1994

- [24] Transportation Research Board: „Highway Capacity Manual (HCM 2000)“, National Research Council, Washington D.C., USA 2000
- [25] VERWEIJ C.A.: „Evaluating Truck Speeds on Vertical Alignments“, Ministry of Transport, Civil Engineering Division, Niederlande 2001
- [26] DIETRICH K., LINDENMANN H.P., CHABOT-ZHANG Y.: „25 Jahre IVT-Messungen zum Verkehrsablauf auf Autobahnen“, Schriftenreihe des IVT Nr. 118, IVT-ETH Zürich, 1998
- [27] DURTH W., HABERMEHL K.: „Überholvorgänge auf einbahnigen Strassen“, Forschung Strassenbau und Strassenverkehrstechnik, Heft 489, Darmstadt, 1986.
- [28] VSS-Norm SN 640 017: „Leistungsfähigkeit, Verkehrsqualität, Belastbarkeit: Grundlagennorm“
- [29] KÖPPEL G., BOCK H. (1979): „Fahrgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Kurvigkeit“, Forschung Strassenbau und Strassenverkehrstechnik, Heft 269, München.
- [30] VSS-Norm SN 640 020: „Leistungsfähigkeit, Verkehrsqualität, Belastbarkeit: Hauptverkehrs- und Verbindungsstrassen“
- [31] BRILON W., WEISER F. (1997): „Ermittlung von Q-V-Diagrammen für zweistreifige Strassen ausserhalb geschlossener Ortschaften“, Forschung Strassenbau und Strassenverkehrstechnik, Heft 747, Bonn.
- [32] VSS-Norm SN 640 018: „Leistungsfähigkeit, Verkehrsqualität, Belastbarkeit: Freie Strecken auf Autobahnen“
- [33] BRILON W. (1976): „Warteschlangenmodell des Verkehrsablaufs auf zweispurigen Landstrassen“, Forschung Strassenbau und Strassenverkehrstechnik, Heft 201, Bonn.
- [34] OTT K.: „Die Leistungsfähigkeit von Gebirgsautobahnen“, Dissertation an der Universität Innsbruck, 1977
- [35] PITZINGER P., SPACEK P.: „Mindestgeschwindigkeiten für schwere Motorwagen zum Gütertransport (MINGE), Expertenbericht Verkehrstechnik“, Bundesamt für Strassen (ASTRA), Bern, November 2000

11.2. Abbildungsverzeichnis

| | | |
|----------|---|----|
| Abb. 1: | Ablaufschema des Untersuchungsvorgehens..... | 4 |
| Abb. 2: | Verschiedene Ansichten des Messpfostens | 6 |
| Abb. 3: | Prinzip der Messanordnung für Geschwindigkeitsmessungen in Steigungsrichtung..... | 7 |
| Abb. 4: | Messpfosten und Videokamera im Einsatz | 8 |
| Abb. 5: | Beispiel einer Auswertung der Geschwindigkeitsverläufe und -verteilungen | 9 |
| Abb. 6: | Darstellung der Ergebnisse der Simulationsberechnungen (Beispiel) | 11 |
| Abb. 7: | Geschwindigkeitsverteilungen von Personenwagen am Ende der Steigungsstrecken (1999)..... | 14 |
| Abb. 8: | Geschwindigkeitsverteilungen von Personenwagen am Ende der Gefällsstrecken (1999)..... | 14 |
| Abb. 9: | Schematische Geschwindigkeitsverläufe in den Untersuchungsstrecken für $V_{85\%}$ | 16 |
| Abb. 10: | Geschwindigkeitsverteilung von Lastwagen am Ende der Steigungsstrecken (1999)..... | 18 |
| Abb. 11: | Geschwindigkeitsverteilung von Lastwagen am Ende der Gefällsstrecken (1999)..... | 18 |
| Abb. 12: | Geschwindigkeitsverteilung von Lastwagen am Ende der Steigungsstrecken (2002)..... | 20 |
| Abb. 13: | Geschwindigkeitsverteilung von Lastwagen am Ende der Gefällsstrecken (2002)..... | 20 |
| Abb. 14: | Schematische Geschwindigkeitsverläufe in den Untersuchungsstrecken für $V_{15\%}$ (1999)..... | 24 |
| Abb. 15: | Schematische Geschwindigkeitsverläufe in den Untersuchungsstrecken für $V_{15\%}$ (2002)..... | 24 |
| Abb. 16: | Zusammenhang zwischen Geschwindigkeit und Längsneigung von Personenwagen (1999) nach linearem Ansatz (oben) und quadratischem Ansatz (unten)..... | 28 |
| Abb. 17: | Vergleich der Dauergeschwindigkeiten von Personenwagen in Steigungen zwischen 1978 und 1999 | 29 |
| Abb. 18: | Zusammenhang zwischen Geschwindigkeit und Längsneigung von Lastwagen (1999) nach linearem Ansatz (oben) und quadratischem Ansatz (unten)..... | 32 |
| Abb. 19: | Vergleich der Dauergeschwindigkeiten von Lastwagen in Steigungen (links) und Gefällen (rechts) zwischen 1978 und 1999..... | 33 |
| Abb. 20: | Zusammenhang zwischen Geschwindigkeit und Längsneigung von Lastwagen (2002) nach linearem Ansatz (oben) und quadratischem Ansatz (unten)..... | 34 |
| Abb. 21: | Vergleich der Dauergeschwindigkeiten von Lastwagen in Steigungen (links) und Gefällen (rechts) im Zustand „Vorher“ (1999) und „Nachher“ (2002)..... | 35 |
| Abb. 22: | Durchschnittlicher Bestand verschiedener Nutzfahrzeuge in den Zeiträumen 1990-1998, 1999-2000 („Vorher“) und 2001-2002 („Nachher“)..... | 38 |
| Abb. 23: | Durchschnittlicher Bestand von Sachtransportfahrzeugen nach zulässigem Gesamtgewicht in den Zeiträumen 1999-2000 („Vorher“) und 2001-2002 („Nachher“)..... | 39 |
| Abb. 24: | Verteilung der Hersteller von Lastwagen mit > 3,5 t Gesamtgewicht nach Anzahl der Zulassungen..... | 40 |
| Abb. 25: | Verteilung der Hersteller von Lastwagen mit > 3,5 t Gesamtgewicht in Prozent der Zulassungen | 40 |
| Abb. 26: | Verteilung der Hersteller von Lastwagen nach Anzahl der Zulassungen für verschiedene Gewichtsklassen..... | 40 |
| Abb. 27: | Verteilung der Hersteller von Lastwagen in Prozent der Zulassungen für verschiedene Gewichtsklassen | 40 |
| Abb. 28: | Verteilung der Betriebsgewichte von Nutzfahrzeugen im Gotthardtunnel (Messstelle Nr. 402)..... | 42 |
| Abb. 29: | Verteilung der Betriebsgewichte von Nutzfahrzeugen im Plazzastunnel (Messstelle Nr. 403)..... | 42 |
| Abb. 30: | Verteilung der Betriebsgewichte von Nutzfahrzeugen bei Mattstetten (Messstelle Nr. 401)..... | 42 |
| Abb. 31: | Verteilung der Betriebsgewichte von Nutzfahrzeugen am Brennersee (Messstelle Nr. 159)..... | 45 |
| Abb. 32: | Verteilung der Betriebsgewichte von Nutzfahrzeugen bei Linz (Messstelle Nr. 83)..... | 46 |
| Abb. 33: | Verteilung der Betriebsgewichte von Nutzfahrzeugen bei Bad Sauerbrunn (Messstelle Nr. 145)..... | 46 |
| Abb. 34: | Geschwindigkeitsverläufe der simulierten Lastwagentypen entlang der Steigungsstrecke in Abhängigkeit der Längsneigung, der spezifischen Nutzleistung und des Übersetzungs- verhältnisses für Anfahren aus dem Stillstand..... | 48 |

| | |
|--|----|
| Abb. 35: Geschwindigkeitsverläufe des simulierten Lastwagens für Verzögerungsvorgänge entlang der Steigungsstrecke in Abhängigkeit der Längsneigung | 49 |
| Abb. 36: Simulierte Dauergeschwindigkeiten in Funktion der Nutzleistung und Längsneigung | 49 |
| Abb. 37: Gegenüberstellung von simulierten und empirisch ermittelten Dauergeschwindigkeiten in Steigungen in Abhängigkeit der Längsneigung | 50 |
| Abb. 38: Gegenüberstellung von simulierten und empirisch ermittelten Dauergeschwindigkeiten in Abhängigkeit der spezifischen Nutzleistung | 50 |
| Abb. 39: Vergleich der Dauergeschwindigkeiten von Lastwagen in Steigungen, aus Messungen (LW 2002 – 10 %), theoretischen Berechnungen (LW 11.1 PS/t) und gemäss bestehender Norm | 51 |
| Abb. 40: Normvorschlag für Dauergeschwindigkeiten von Lastwagen in Steigungen | 52 |
| Abb. 41: Geschwindigkeitsprofil des Bemessungslastwagens (11.1 PS/t) in Steigungen beim Anfahren aus dem Stillstand (interpoliert) | 53 |
| Abb. 42: Geschwindigkeitsprofil des Bemessungslastwagens (11.1 PS/t) für Verzögerungsvorgänge in Steigungen (extrapoliert) | 54 |
| Abb. 43: Gegenüberstellung der empirischen Geschwindigkeitsverläufe in Steigungen ($V_{15\%}$) mit der Simulation für Beschleunigungsvorgänge | 55 |
| Abb. 44: Gegenüberstellung der empirischen Geschwindigkeitsverläufe in Steigungen ($V_{15\%}$) mit der Simulation für Verzögerungsvorgänge | 55 |
| Abb. 45: Gegenüberstellung der simulierten Geschwindigkeitsverläufe für Beschleunigungsvorgänge in Steigungen mit der bestehenden Norm [3] | 56 |
| Abb. 46: Gegenüberstellung der simulierten Geschwindigkeitsverläufe für Verzögerungsvorgänge in Steigungen mit der bestehenden Norm [3] | 57 |
| Abb. 47: Geschwindigkeitsprofile für LW in Deutschland gemäss HBS 2001 [16] | 57 |
| Abb. 48: Vorschlag für neue fahrdynamische Grundlagen von Lastwagen | 59 |
| Abb. 49: Vergleich der Veränderungen der Dauergeschwindigkeiten in Steigungen von Personenwagen (links) und Lastwagen (rechts) gegenüber früheren Erhebungen | 62 |
| Abb. 50: Geschwindigkeiten von Personenwagen in Steigungen gemäss Erhebungen von 1999 sowie ausländischen Richtlinien und Normen | 64 |
| Abb. 51: Dauergeschwindigkeiten von Lastwagen in Steigungen gemäss bestehender Norm [3], neuem Normvorschlag sowie ausländischen Richtlinien und Forschungsarbeiten | 65 |
| Abb. 52: Vergleich der Dauergeschwindigkeiten (oben) und der mittleren Geschwindigkeiten (unten) in Steigungen zwischen PW und LW in den Zuständen vor (1978 bzw. 1983) und nach (1999 bzw. 2002) Herabsetzung der generellen Tempolimite ausserorts | 69 |
| Abb. 53: Geschwindigkeiten der am Überholvorgang beteiligten Fahrzeuge | 70 |
| Abb. 54: Geschwindigkeitsdifferenzen ΔV in Funktion von $V_{1_{aus}}$ (aus [27]) | 70 |
| Abb. 55: Zusammenhang zwischen Dauergeschwindigkeit von PW (auf Basis $V_{85\%}$) und Grösse der Steigung | 73 |
| Abb. 56: Beispiel eines Q-V-Diagrammes für die Steigungsklasse 4 (aus [20]) | 74 |
| Abb. 57: Zusammenhang zwischen Sichtweite und Kurvigkeit (aus [29]) | 74 |
| Abb. 58: Mittlere Lastwagenanteile des Jahres 2000 | 76 |
| Abb. 59: Abgrenzung der Gruppen mittlere und grosse Steigungen | 77 |
| Abb. 60: Regelung zur Ermittlung der Kurvigkeit | 78 |
| Abb. 61: Verkehrsstärke-Geschwindigkeit-Diagramm aus [16] | 79 |
| Abb. 62: Ermittlung der Verkehrsstärken bei verschiedenen Lastwagenanteilen in der Verkehrsqualitätsstufe C | 80 |
| Abb. 63: Verkehrstechnische Einsatzgrenzen für Zusatzstreifen bei mittleren Steigungen (links) und bei grossen Steigungen (rechts) | 80 |
| Abb. 64: Beispiel der Steigungsstrecke auf einer Hauptstrasse a.o. | 83 |
| Abb. 65: Aufsummierte Kurvigkeit der Steigungsstrecke aus Abbildung 64 | 84 |
| Abb. 66: Beispiel der Steigungsstrecke auf der Gotthard-Südrampe (Autobahn A2) | 85 |

11.3. Tabellenverzeichnis

| | | |
|----------|--|----|
| Tab. 1: | Ausgewählte Untersuchungsstrecken..... | 5 |
| Tab. 2: | Ergänzende Radarmessstellen..... | 9 |
| Tab. 3: | Charakteristiken der Lastwagen für die Fahrsimulation von Beschleunigungsfahrten (Anfahren aus dem Stillstand)..... | 12 |
| Tab. 4: | Vergleich der Geschwindigkeitsdifferenzen $V_{85\%} - V_{15\%}$ von PW zwischen 1978 [4] und 1999..... | 15 |
| Tab. 5: | Vergleich der mittleren Geschwindigkeiten (V_M) und Standardabweichungen (s) von Personenwagen zwischen 1978 [4] und 1999..... | 15 |
| Tab. 6: | Vergleich der $V_{85\%}$ -Geschwindigkeiten von PW zwischen 1978 [4] und 1999..... | 16 |
| Tab. 7: | Theoretische Verzögerungs- und Beschleunigungswerte von „schnellen“ Personenwagen ($V_{85\%}$) am Ende der Neigungsstrecke..... | 17 |
| Tab. 8: | Vergleich der $V_{85\%}$ -Geschwindigkeiten von PW zwischen 2002 und 1999..... | 17 |
| Tab. 9: | Vergleich der Geschwindigkeitsdifferenzen $V_{85\%} - V_{15\%}$ von LW zwischen 1983 [5] und 1999..... | 19 |
| Tab. 10: | Vergleich der Geschwindigkeitsdifferenzen $V_{85\%} - V_{15\%}$ von LW zwischen 1999 und 2002..... | 21 |
| Tab. 11: | Vergleich der mittleren Geschwindigkeiten und Standardabweichungen von Lastwagen zwischen 1983 [5] und 1999..... | 21 |
| Tab. 12: | Vergleich der mittleren Geschwindigkeiten und Standardabweichungen von Lastwagen zwischen 1999 und 2002..... | 22 |
| Tab. 13: | Vergleich der $V_{15\%}$ -Geschwindigkeiten von LW zwischen 1983 [5] und 1999..... | 23 |
| Tab. 14: | Vergleich der $V_{15\%}$ -Geschwindigkeiten von LW zwischen 1999 und 2002..... | 23 |
| Tab. 15: | Theoretische Verzögerungs- und Beschleunigungswerte von Lastwagen (1999)..... | 25 |
| Tab. 16: | Theoretische Verzögerungs- und Beschleunigungswerte von Lastwagen (2002)..... | 25 |
| Tab. 17: | Vergleich der $V_{15\%}$ -Geschwindigkeiten von SLW und LW zwischen 1999 und 2002..... | 26 |
| Tab. 18: | Ergebnisse der Regressionsberechnungen für Personenwagen (1999)..... | 28 |
| Tab. 19: | Geschwindigkeitswerte für Personenwagen in Steigungen gemäss Regressionsberechnung nach quadratischem Ansatz..... | 29 |
| Tab. 20: | Vergleich der berechneten Geschwindigkeiten V_D für Personenwagen in Steigungen in den Jahren 1978 [4] und 1999..... | 29 |
| Tab. 21: | Geschwindigkeitsveränderungen von Personenwagen entlang der Neigungsstrecke..... | 30 |
| Tab. 22: | Zusätzlich miteinbezogene HLS-Messquerschnitte im Zufahrtsbereich zur Ergänzung der Stichprobe für die Regressionsberechnungen der Gruppe der LW..... | 31 |
| Tab. 23: | Ergebnisse der Regressionsberechnungen für Lastwagen (1999)..... | 31 |
| Tab. 24: | Vergleich der berechneten Geschwindigkeiten V_D für Lastwagen in Steigungen und Gefällen in den Jahren 1983 [5] und 1999..... | 33 |
| Tab. 25: | Ergebnisse der Regressionsberechnungen für Lastwagen (2002)..... | 33 |
| Tab. 26: | Vergleich der berechneten Geschwindigkeiten V_D für Lastwagen in Steigungen und Gefällen im Zustand „Vorher“ (1999) und „Nachher“ (2002)..... | 35 |
| Tab. 27: | Geschwindigkeitsveränderungen von Lastwagen entlang der Neigungsstrecke (1999)..... | 36 |
| Tab. 28: | Geschwindigkeitsveränderungen von Lastwagen entlang der Neigungsstrecke (2002)..... | 36 |
| Tab. 29: | Veränderungen im Bestand verschiedener Nutzfahrzeuge..... | 38 |
| Tab. 30: | Veränderungen im Bestand von Sachtransportfahrzeugen nach zulässigem Gesamtgewicht..... | 39 |
| Tab. 31: | Festgelegte Gewichtsklassen..... | 41 |
| Tab. 32: | Veränderungen der Betriebsgewichte im Gotthardtunnel (Messstelle Nr. 402)..... | 43 |
| Tab. 33: | Veränderungen der Betriebsgewichte im Plazzastunnel (Messstelle Nr. 403)..... | 43 |
| Tab. 34: | Betriebsgewichte im Zustand „Nachher“ bei Mattstetten (Messstelle Nr. 401)..... | 44 |
| Tab. 35: | Empfohlene reduzierte Dauergeschwindigkeiten von Lastwagen in Steigungen..... | 46 |
| Tab. 36: | Theoretische Dauergeschwindigkeiten in Steigungen der simulierten Lastwagen in Abhängig- keit der Längsneigung, der spezifischen Nutzleistung und der Hinterachsübersetzung (AÜ)..... | 47 |

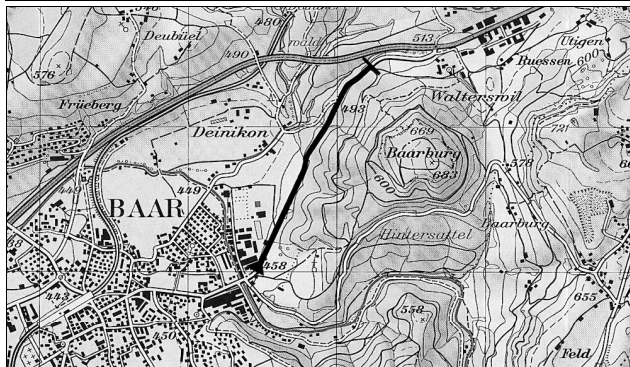
| | | |
|----------|---|----|
| Tab. 37: | Durch Interpolation ermittelte spezifische Nutzleistungen der empirischen Messergebnisse..... | 51 |
| Tab. 38: | Vergleich der Dauergeschwindigkeiten von Lastwagen in Steigungen, aus Messungen (LW 2002 – 10%) und aus theoretischen Berechnungen (LW 11.1 PS/t)..... | 51 |
| Tab. 39: | Vergleich der Dauergeschwindigkeiten von Lastwagen in Steigungen nach neuem Normvorschlag und bestehender Norm..... | 52 |
| Tab. 40: | Geschwindigkeiten von Lastwagen in Steigungen, bei der Verzögerung aus 80 km/h, nach Abbildung 48 (neuer Vorschlag), nach <i>bestehender Norm</i> [3] und nach HBS 2001 [16]..... | 58 |
| Tab. 41: | Geschwindigkeiten von Lastwagen in Steigungen und in Gefälle, bei der Beschleunigung aus 0 km/h, nach Abbildung 48 (neuer Vorschlag), nach <i>bestehender Norm</i> [3] und nach HBS 2001 [16]..... | 58 |
| Tab. 42: | Richtwerte für maximale Längsneigungen gemäss SN 640 110 [2]..... | 63 |
| Tab. 43: | Zusammenstellung der ΔV -Werte aus Funktionskurve in Abb. 54 und der Quotienten aus $V_{1\text{aus}}$ | 71 |
| Tab. 44: | Richtwerte für V_p von Personenwagen in grossen Längsneigungen i | 73 |
| Tab. 45: | Zuordnung von Steigungsklassen zu Geschwindigkeitsklassen in [22]..... | 77 |
| Tab. 46: | Empfohlene Bereiche für mittlere und grosse Steigungen..... | 77 |
| Tab. 47: | Kurvigkeitszuschlag bei Überholverbotten..... | 79 |

ANHANG

- Anhang 1: Untersuchungsstrecken Nr. 1 bis 19** (Beilagen 1.1 – 1.39)
- Anhang 2: Ergänzende Radarmessungen** (Beilagen 2.1 – 2.3)
- Anhang 3: Regressionsberechnungen für V_M** (Beilage 3.1)
- Anhang 4: Q-V-Diagramme gemäss HBS 2001** (Beilage 4.1)
- Bestehendes Normbeispiel für Steigungsstrecke a.o.** (Beilage 4.2)

UNTERSUCHUNGSSTRECKE

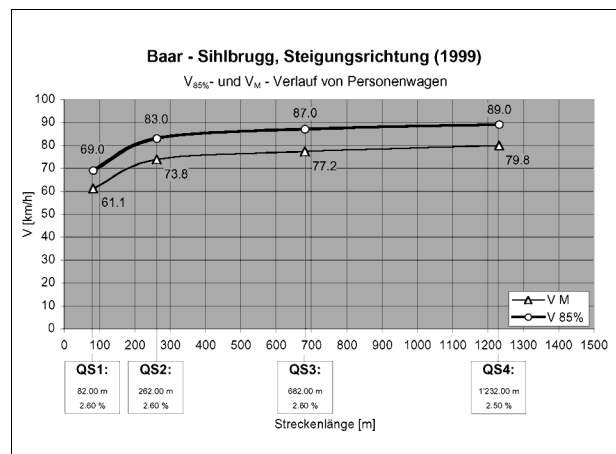
| | |
|---|-------------------------|
| 1 | Baar - Sihlbrugg |
| Steigungsrichtung / $i_{\text{massg.}}$ 2.5 % | |



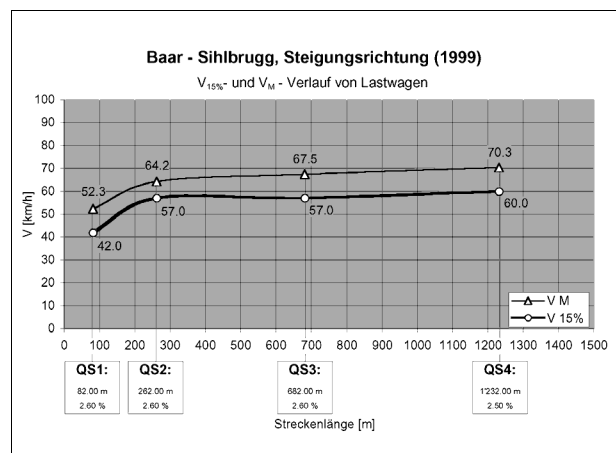
Messergebnisse Steigungsrichtung 1999

Neigung bei Querschnitt: 2.60 % 2.60 % 2.60 % 2.50 %
 Dist. zu Nullpunkt: 82.0 m 262.0 m 682.0 m 1'232.0 m

| Personenwagen ($\Delta t \geq 4$ sec. / $L \leq 6.5$ m) | | | | | | |
|--|---------|----------|----------|----------|--|--|
| Querschnitt | QS 1 | QS 2 | QS 3 | QS 4 | | |
| V-Bereich | 30 - 95 | 40 - 110 | 45 - 110 | 45 - 115 | | |
| Anzahl Fz. | 366 | 534 | 503 | 378 | | |
| V_M | 61.1 | 73.8 | 77.2 | 79.8 | | |
| Standardabw. | 8.3 | 9.5 | 9.9 | 10.6 | | |
| $V_{05\%}$ | 47.0 | 60.0 | 61.0 | 61.0 | | |
| $V_{15\%}$ | 54.0 | 65.0 | 68.0 | 70.0 | | |
| $V_{50\%}$ | 61.0 | 73.0 | 77.0 | 80.0 | | |
| $V_{85\%}$ | 69.0 | 83.0 | 87.0 | 89.0 | | |
| $V_{95\%}$ | 74.0 | 92.0 | 94.0 | 97.0 | | |



| Lastwagen ($\Delta t \geq 4$ sec. / $L > 6.5$ m) | | | | | | |
|---|---------|---------|----------|----------|--|--|
| Querschnitt | QS 1 | QS 2 | QS 3 | QS 4 | | |
| V-Bereich | 30 - 80 | 40 - 90 | 45 - 100 | 45 - 100 | | |
| Anzahl Fz. | 66 | 67 | 65 | 43 | | |
| V_M | 52.3 | 64.2 | 67.5 | 70.3 | | |
| Standardabw. | 8.7 | 9.1 | 9.9 | 10.2 | | |
| $V_{05\%}$ | 40.0 | 50.0 | 54.0 | 54.0 | | |
| $V_{15\%}$ | 42.0 | 57.0 | 57.0 | 60.0 | | |
| $V_{50\%}$ | 52.0 | 63.0 | 66.0 | 68.0 | | |
| $V_{85\%}$ | 61.0 | 74.0 | 78.0 | 82.0 | | |
| $V_{95\%}$ | 67.0 | 80.0 | 85.0 | 87.0 | | |

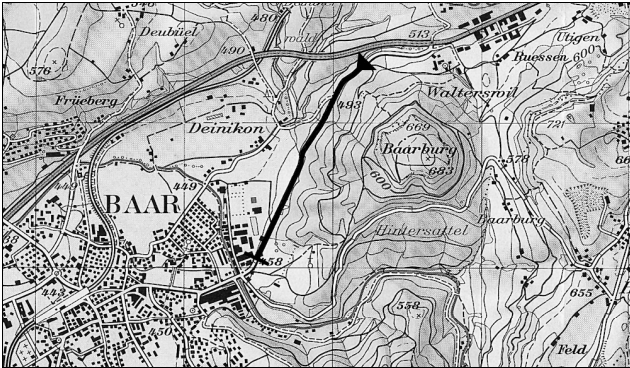


Bemerkungen

QS 1 unmittelbar nach Signal „Ende T60“

UNTERSUCHUNGSTRECKE

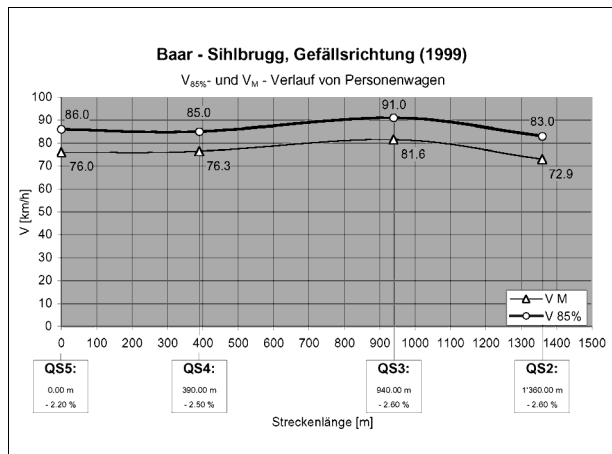
| | |
|--|-------------------------|
| 1 | Baar - Sihlbrugg |
| Gefällsrichtung / $i_{massg.} - 2.6\%$ | |



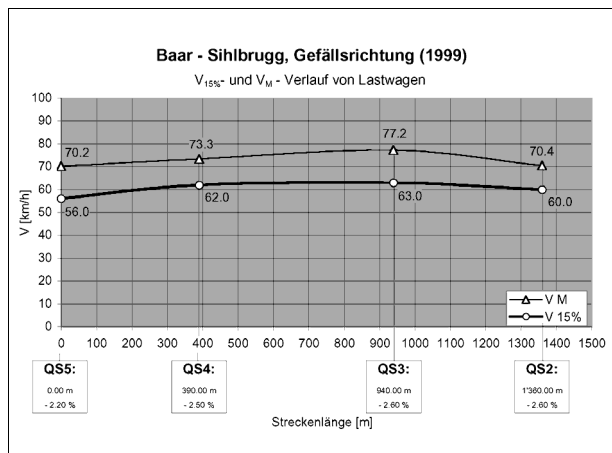
Messergebnisse Gefällsrichtung 1999

Neigung bei Querschnitt: -2.20% -2.50% -2.60% -2.60%
 Dist. zu Nullpunkt: 0.0 m 390.0 m 940.0 m 1360.0 m

| Personenwagen ($\Delta t \geq 4 \text{ sec.} / L \leq 6.5 \text{ m}$) | | | | | | |
|---|-------------|-------------|-------------|-------------|--|--|
| Querschnitt | QS 5 | QS 4 | QS 3 | QS 2 | | |
| V-Bereich | 45 - 110 | 45 - 115 | 45 - 110 | 40 - 110 | | |
| Anzahl Fz. | 465 | 250 | 408 | 354 | | |
| V_M | 76.0 | 76.3 | 81.6 | 72.9 | | |
| Standardabw. | 9.0 | 10.2 | 9.6 | 9.8 | | |
| $V_{05\%}$ | 61.0 | 60.0 | 66.0 | 58.0 | | |
| $V_{15\%}$ | 67.0 | 67.0 | 72.0 | 64.0 | | |
| $V_{50\%}$ | 76.0 | 76.0 | 82.0 | 72.0 | | |
| $V_{85\%}$ | 86.0 | 85.0 | 91.0 | 83.0 | | |
| $V_{95\%}$ | 91.0 | 94.0 | 98.0 | 92.0 | | |



| Lastwagen ($\Delta t \geq 4 \text{ sec.} / L > 6.5 \text{ m}$) | | | | | | |
|--|-------------|-------------|-------------|-------------|--|--|
| Querschnitt | QS 5 | QS 4 | QS 3 | QS 2 | | |
| V-Bereich | 45 - 100 | 45 - 105 | 40 - 105 | 40 - 100 | | |
| Anzahl Fz. | 54 | 36 | 53 | 49 | | |
| V_M | 70.2 | 73.3 | 77.2 | 70.4 | | |
| Standardabw. | 11.9 | 11.2 | 11.7 | 11.2 | | |
| $V_{05\%}$ | 50.0 | 54.0 | 57.0 | 56.0 | | |
| $V_{15\%}$ | 56.0 | 62.0 | 63.0 | 60.0 | | |
| $V_{50\%}$ | 69.0 | 75.0 | 78.0 | 70.0 | | |
| $V_{85\%}$ | 80.0 | 83.0 | 89.0 | 83.0 | | |
| $V_{95\%}$ | 91.0 | 86.0 | 99.0 | 87.0 | | |



Bemerkungen

Messung in Gefällsrichtung erfolgte gleichzeitig mit Messung in Steigungsrichtung

UNTERSUCHUNGSSTRECKE

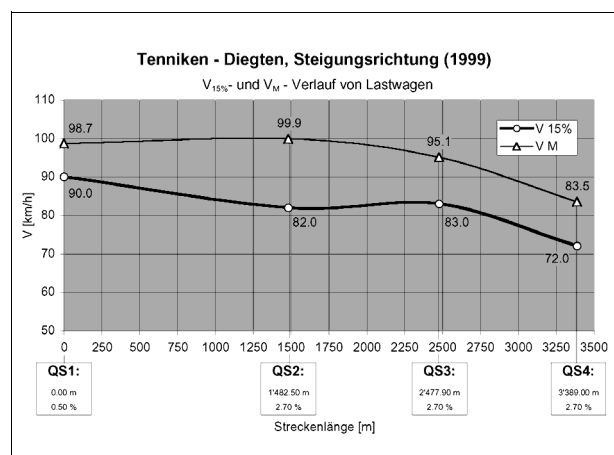
| | |
|---|--------------------------------|
| 2 | Tenniken - Diegten (A2) |
| <i>Steigungsrichtung / i_{massg.} 2.7 %</i> | |



Messergebnisse Steigungsrichtung 1999

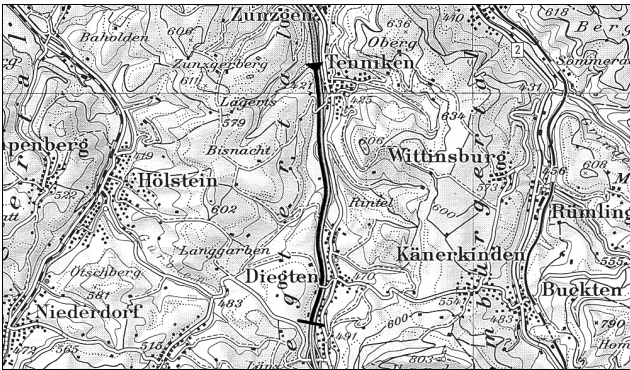
Neigung bei Querschnitt: 0.50 % 2.70 % 2.70 % 2.70 %
 Dist. zu Nullpunkt: 0.0 m 1'482.5 m 2'477.9 m 3'389.0 m

| Lastwagen ($\Delta t \geq 4$ sec. / $L > 6.5$ m) | | | | | | |
|---|----------|----------|----------|----------|--|--|
| Querschnitt | QS 1 | QS 2 | QS 3 | QS 4 | | |
| V-Bereich | 70 - 135 | 65 - 130 | 60 - 120 | 55 - 120 | | |
| Anzahl Fz. | 370 | 46 | 206 | 269 | | |
| V_M | 98.7 | 99.9 | 95.1 | 83.5 | | |
| Standardabw. | 10.5 | 16.8 | 13.1 | 11.2 | | |
| V_{05%} | 85.0 | 73.0 | 73.0 | 66.0 | | |
| V_{15%} | 90.0 | 82.0 | 83.0 | 72.0 | | |
| V_{50%} | 96.0 | 98.0 | 92.0 | 84.0 | | |
| V_{85%} | 109.0 | 122.0 | 112.0 | 92.0 | | |
| V_{95%} | 119.0 | 125.0 | 116.0 | 104.0 | | |



UNTERSUCHUNGSSTRECKE

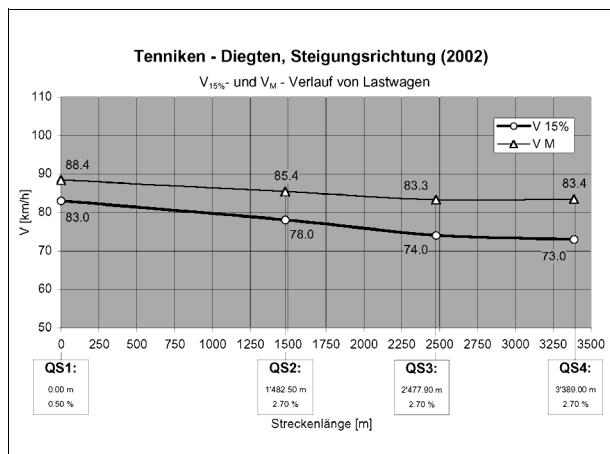
| | |
|---|--------------------------------|
| 2 | Tenniken - Diegten (A2) |
| Steigungsrichtung / $i_{\text{massg.}}$ 2.7 % | |



Messergebnisse Steigungsrichtung 2002

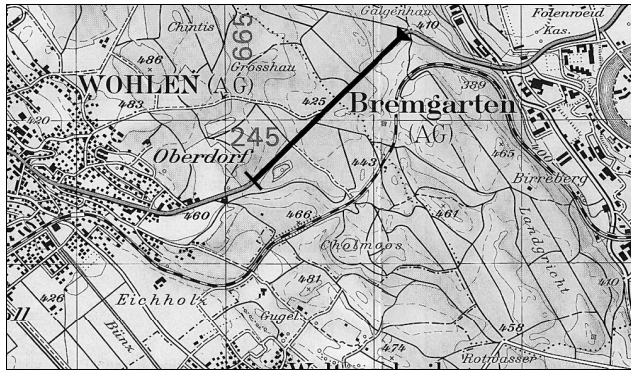
Neigung bei Querschnitt: 0.50 % 2.70 % 2.70 % 2.70 %
 Dist. zu Nullpunkt: 0.0 m 1'482.5 m 2'477.9 m 3'389.0 m

| Lastwagen ($\Delta t \geq 4 \text{ sec.} / L > 6.5 \text{ m}$) | | | | | | |
|--|----------|----------|----------|----------|--|--|
| Querschnitt | QS 1 | QS 2 | QS 3 | QS 4 | | |
| V-Bereich | 70 - 135 | 65 - 130 | 60 - 120 | 55 - 120 | | |
| Anzahl Fz. | 368 | 266 | 436 | 351 | | |
| V_M | 88.4 | 85.4 | 83.3 | 83.4 | | |
| Standardabw. | 9.0 | 9.1 | 9.8 | 11.7 | | |
| $V_{05\%}$ | 80.0 | 71.0 | 66.0 | 65.0 | | |
| $V_{15\%}$ | 83.0 | 78.0 | 74.0 | 73.0 | | |
| $V_{50\%}$ | 86.0 | 86.0 | 84.0 | 83.0 | | |
| $V_{85\%}$ | 92.0 | 91.0 | 90.0 | 94.0 | | |
| $V_{95\%}$ | 113.0 | 102.0 | 97.0 | 107.0 | | |



UNTERSUCHUNGSSTRECKE

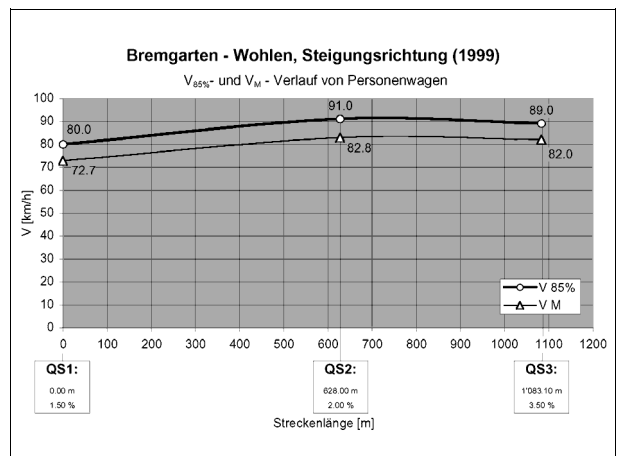
| | |
|---|----------------------------|
| 3 | Bremgarten - Wohlen |
| <i>Steigungsrichtung / i_{massg.} 3.5 %</i> | |



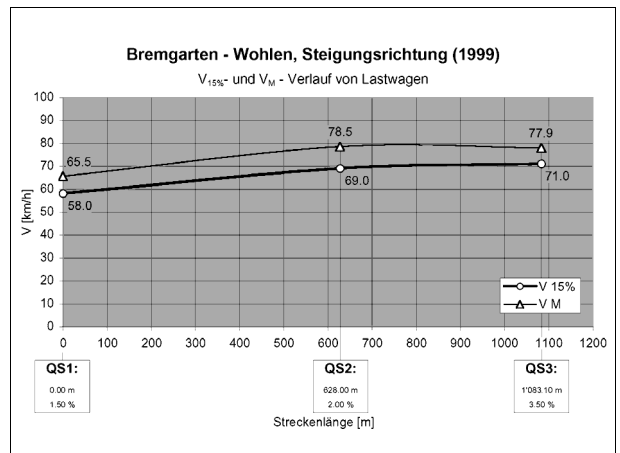
Messergebnisse Steigungsrichtung 1999

Neigung bei Querschnitt: 1.50 % 2.00 % 3.50 %
 Dist. zu Nullpunkt: 0.0 m 628.0 m 1'083.1 m

| Personenwagen ($\Delta t \geq 4$ sec. / $L \leq 6.5$ m) | | | | | | |
|--|----------|----------|----------|--|--|--|
| Querschnitt | QS 1 | QS 2 | QS 3 | | | |
| V-Bereich | 40 - 100 | 50 - 115 | 50 - 115 | | | |
| Anzahl Fz. | 692 | 491 | 451 | | | |
| V_M | 72.7 | 82.8 | 82.0 | | | |
| Standardabw. | 7.2 | 9.1 | 8.4 | | | |
| $V_{05\%}$ | 61.0 | 69.0 | 69.0 | | | |
| $V_{15\%}$ | 65.5 | 75.0 | 75.0 | | | |
| $V_{50\%}$ | 72.5 | 82.0 | 81.0 | | | |
| $V_{85\%}$ | 80.0 | 91.0 | 89.0 | | | |
| $V_{95\%}$ | 85.0 | 98.0 | 98.0 | | | |

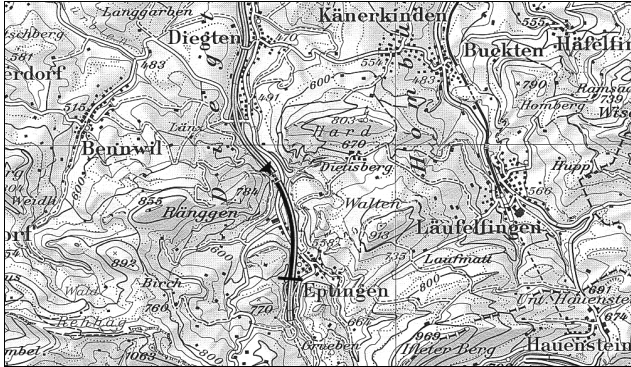


| Lastwagen ($\Delta t \geq 4$ sec. / $L > 6.5$ m) | | | | | | |
|---|---------|----------|----------|--|--|--|
| Querschnitt | QS 1 | QS 2 | QS 3 | | | |
| V-Bereich | 45 - 80 | 50 - 100 | 50 - 100 | | | |
| Anzahl Fz. | 87 | 93 | 84 | | | |
| V_M | 65.5 | 78.5 | 77.9 | | | |
| Standardabw. | 7.0 | 8.5 | 8.4 | | | |
| $V_{05\%}$ | 51.5 | 62.0 | 63.0 | | | |
| $V_{15\%}$ | 58.0 | 69.0 | 71.0 | | | |
| $V_{50\%}$ | 66.0 | 80.0 | 78.0 | | | |
| $V_{85\%}$ | 73.0 | 86.0 | 86.0 | | | |
| $V_{95\%}$ | 76.5 | 89.0 | 90.0 | | | |



UNTERSUCHUNGSTRECKE

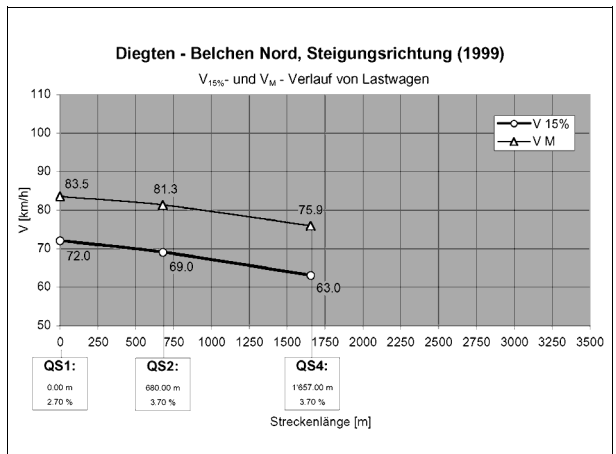
| | |
|---|------------------------------------|
| 4 | Diegten - Belchen Nord (A2) |
| Steigungsrichtung / $i_{\text{massg.}}$ 3.7 % | |



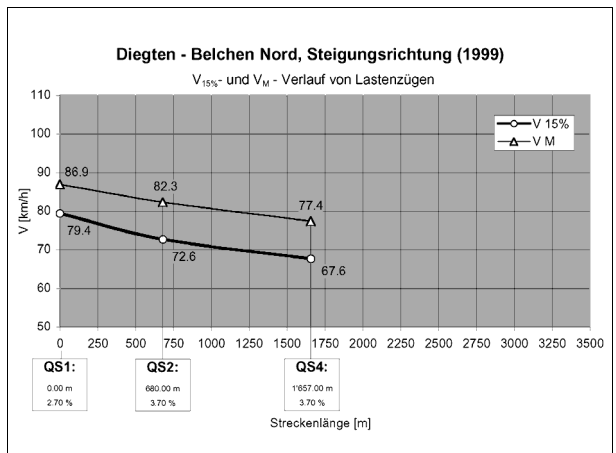
Messergebnisse Steigungsrichtung 1999

Neigung bei Querschnitt: 2.70 % 3.70 % 3.70 %
 Dist. zu Nullpunkt: 0.0 m 680.0 m 1'657.0 m

| Lastwagen ($\Delta t \geq 4$ sec. / $L > 6.5$ m) | | | | | |
|---|----------|----------|----------|--|--|
| Querschnitt | QS 1 | QS 2 | QS 4 | | |
| V-Bereich | 55 - 120 | 50 - 120 | 50 - 110 | | |
| Anzahl Fz. | 269 | 189 | 169 | | |
| V_M | 83.5 | 81.3 | 75.9 | | |
| Standardabw. | 11.2 | 10.7 | 10.2 | | |
| $V_{05\%}$ | 66.0 | 63.0 | 57.0 | | |
| $V_{15\%}$ | 72.0 | 69.0 | 63.0 | | |
| $V_{50\%}$ | 84.0 | 82.0 | 78.0 | | |
| $V_{85\%}$ | 92.0 | 89.0 | 85.0 | | |
| $V_{95\%}$ | 104.0 | 98.0 | 89.0 | | |

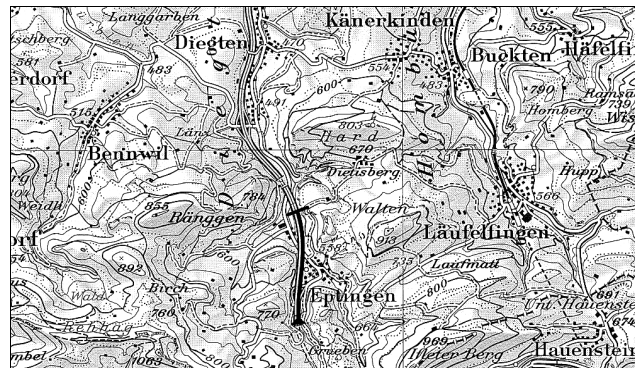


| Lastenzüge ($\Delta t \geq 4$ sec. / $L > 12.5$ m) | | | | | |
|---|----------|----------|----------|--|--|
| Querschnitt | QS 1 | QS 2 | QS 4 | | |
| V-Bereich | 55 - 120 | 50 - 120 | 50 - 110 | | |
| Anzahl Fz. | 67 | 118 | 104 | | |
| V_M | 86.9 | 82.3 | 77.4 | | |
| Standardabw. | 9.4 | 10.4 | 9.4 | | |
| $V_{05\%}$ | 75.7 | 63.4 | 58.3 | | |
| $V_{15\%}$ | 79.4 | 72.6 | 67.6 | | |
| $V_{50\%}$ | 85.7 | 83.7 | 79.1 | | |
| $V_{85\%}$ | 91.3 | 88.8 | 85.5 | | |
| $V_{95\%}$ | 110.0 | 97.2 | 89.0 | | |



UNTERSUCHUNGSSTRECKE

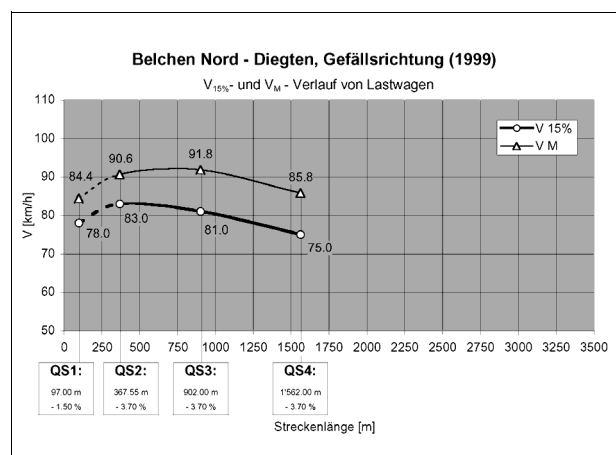
| | |
|---|------------------------------------|
| 4 | Belchen Nord - Diegten (A2) |
| Gefällsrichtung / $i_{\text{massg.}} - 3.7\%$ | |



Messergebnisse Gefällsrichtung 1999

Neigung bei Querschnitt: -1.50 % -3.70 % -3.70 % -3.70 %
 Dist. zu Nullpunkt: 97.0 m 367.6 m 902.0 m 1562.0 m

| Lastwagen ($\Delta t \geq 4$ sec. / $L > 6.5$ m) | | | | | | |
|---|----------|----------|----------|----------|--|--|
| Querschnitt | QS 1 | QS 2 | QS 3 | QS 4 | | |
| V-Bereich | 50 - 110 | 60 - 130 | 60 - 130 | 60 - 130 | | |
| Anzahl Fz. | 44 | 60 | 164 | 254 | | |
| V_M | 84.4 | 90.6 | 91.8 | 85.8 | | |
| Standardabw. | 10.8 | 10.8 | 13.0 | 8.8 | | |
| $V_{05\%}$ | 64.0 | 79.0 | 73.0 | 70.0 | | |
| $V_{15\%}$ | 78.0 | 83.0 | 81.0 | 75.0 | | |
| $V_{50\%}$ | 86.0 | 88.0 | 90.0 | 87.0 | | |
| $V_{85\%}$ | 93.0 | 99.0 | 104.0 | 94.0 | | |
| $V_{95\%}$ | 99.0 | 116.0 | 122.0 | 99.0 | | |

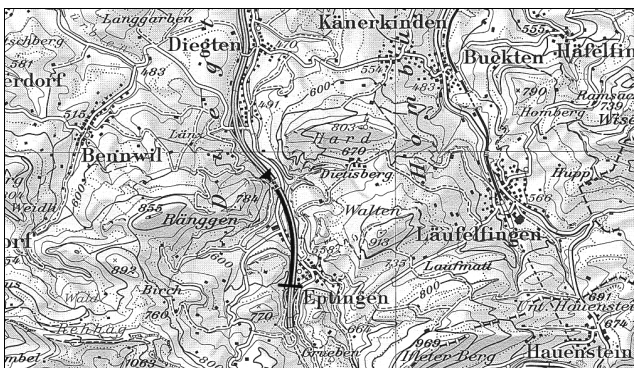


Bemerkungen

QS1 unmittelbar nach Ende T8o (im Belchentunnel)

UNTERSUCHUNGSTRECKE

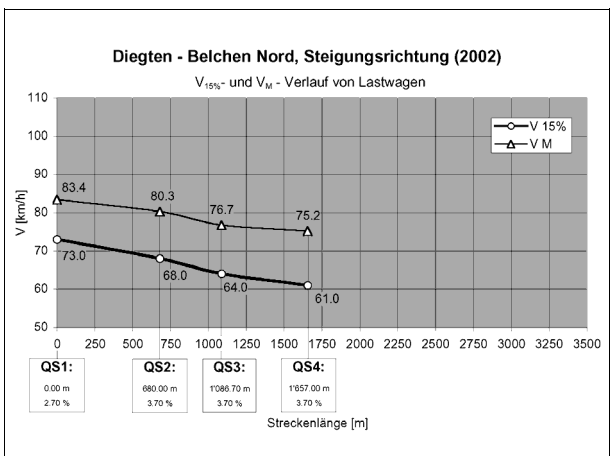
| | |
|---|------------------------------------|
| 4 | Diegten - Belchen Nord (A2) |
| Steigungsrichtung / $i_{\text{massg.}}$ 3.7 % | |



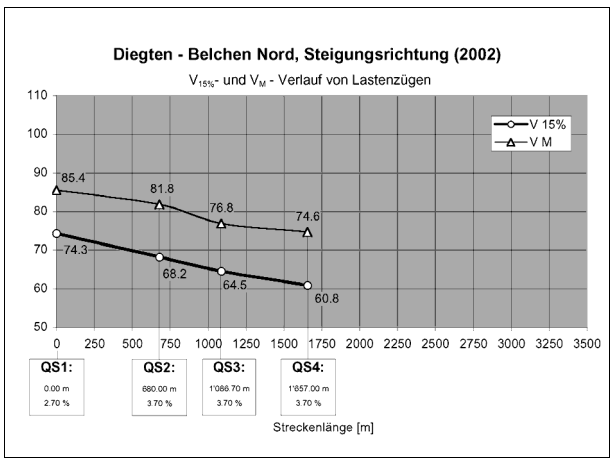
Messergebnisse Steigungsrichtung 2002

Neigung bei Querschnitt: 2.70 % 3.70 % 3.70 % 3.70 %
 Dist. zu Nullpunkt: 0.0 m 680.0 m 1'086.7 m 1'857.0 m

| Lastwagen ($\Delta t \geq 4$ sec. / $L > 6.5$ m) | | | | | | |
|---|----------|----------|----------|----------|--|--|
| Querschnitt | QS 1 | QS 2 | QS 3 | QS 4 | | |
| V-Bereich | 55 - 120 | 50 - 120 | 50 - 110 | 50 - 110 | | |
| Anzahl Fz. | 351 | 373 | 511 | 419 | | |
| V_M | 83.4 | 80.3 | 76.7 | 75.2 | | |
| Standardabw. | 11.7 | 11.9 | 11.1 | 11.9 | | |
| $V_{05\%}$ | 65.0 | 62.0 | 57.0 | 54.0 | | |
| $V_{15\%}$ | 73.0 | 68.0 | 64.0 | 61.0 | | |
| $V_{50\%}$ | 83.0 | 81.0 | 79.0 | 77.0 | | |
| $V_{85\%}$ | 94.0 | 90.0 | 87.0 | 88.0 | | |
| $V_{95\%}$ | 107.0 | 104.0 | 91.0 | 92.0 | | |

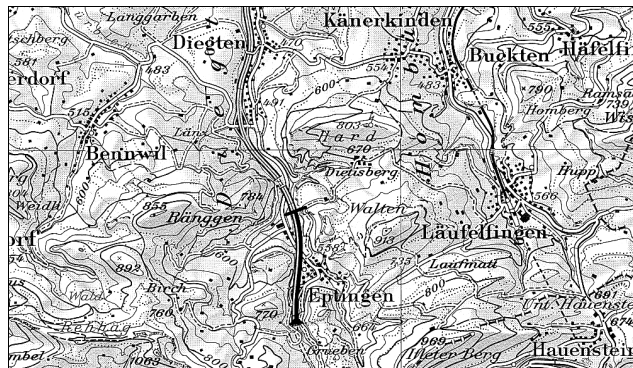


| Lastenzüge ($\Delta t \geq 4$ sec. / $L > 12.5$ m) | | | | | | |
|---|----------|----------|----------|----------|--|--|
| Querschnitt | QS 1 | QS 2 | QS 3 | QS 4 | | |
| V-Bereich | 55 - 120 | 50 - 120 | 50 - 110 | 50 - 110 | | |
| Anzahl Fz. | 107 | 219 | 315 | 272 | | |
| V_M | 85.4 | 81.8 | 76.8 | 74.6 | | |
| Standardabw. | 10.3 | 12.6 | 10.2 | 11.4 | | |
| $V_{05\%}$ | 71.1 | 61.6 | 58.8 | 54.4 | | |
| $V_{15\%}$ | 74.3 | 68.2 | 64.5 | 60.8 | | |
| $V_{50\%}$ | 85.7 | 83.0 | 79.1 | 76.8 | | |
| $V_{85\%}$ | 93.0 | 91.6 | 87.0 | 87.3 | | |
| $V_{95\%}$ | 106.9 | 108.5 | 89.9 | 89.4 | | |



UNTERSUCHUNGSSTRECKE

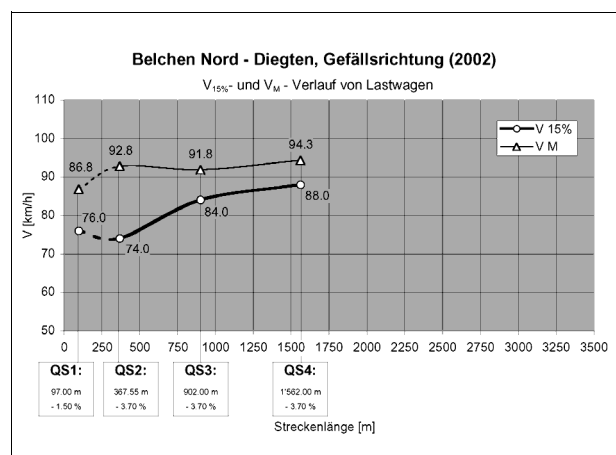
| | |
|---|------------------------------------|
| 4 | Belchen Nord - Diegten (A2) |
| Gefällsrichtung / $i_{\text{massg.}} - 3.7\%$ | |



Messergebnisse Gefällsrichtung 2002

Neigung bei Querschnitt: -1.50 % -3.70 % -3.70 % -3.70 %
 Dist. zu Nullpunkt: 97.0 m 367.6 m 902.0 m 1562.0 m

| Lastwagen ($\Delta t \geq 4$ sec. / $L > 6.5$ m) | | | | | | |
|---|----------|----------|----------|----------|--|--|
| Querschnitt | QS 1 | QS 2 | QS 3 | QS 4 | | |
| V-Bereich | 50 - 110 | 60 - 130 | 60 - 130 | 60 - 130 | | |
| Anzahl Fz. | 425 | 312 | 437 | 315 | | |
| V_M | 86.8 | 92.8 | 91.8 | 94.3 | | |
| Standardabw. | 11.7 | 17.0 | 10.2 | 7.8 | | |
| $V_{05\%}$ | 68.0 | 65.0 | 74.0 | 85.0 | | |
| $V_{15\%}$ | 76.0 | 74.0 | 84.0 | 88.0 | | |
| $V_{50\%}$ | 85.0 | 92.0 | 91.0 | 93.0 | | |
| $V_{85\%}$ | 102.0 | 113.0 | 100.0 | 101.0 | | |
| $V_{95\%}$ | 106.0 | 123.0 | 112.0 | 107.0 | | |

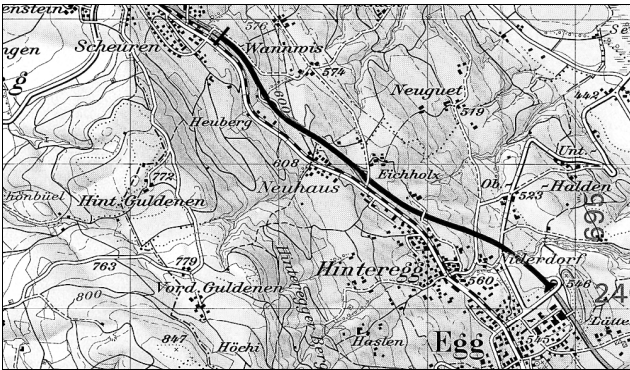


Bemerkungen

QS1 unmittelbar nach Ende T8o (im Belchentunnel)

UNTERSUCHUNGSTRECKE

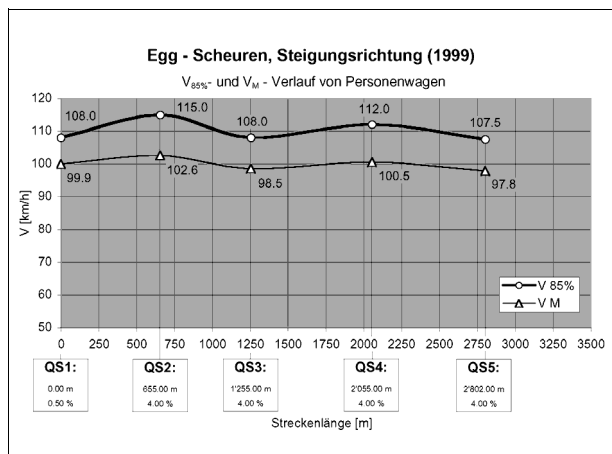
| | |
|---|--------------------------------------|
| 5 | Egg - Scheuren (Forchstrasse) |
| Steigungsrichtung / $i_{\text{massg.}}$ 4.0 % | |



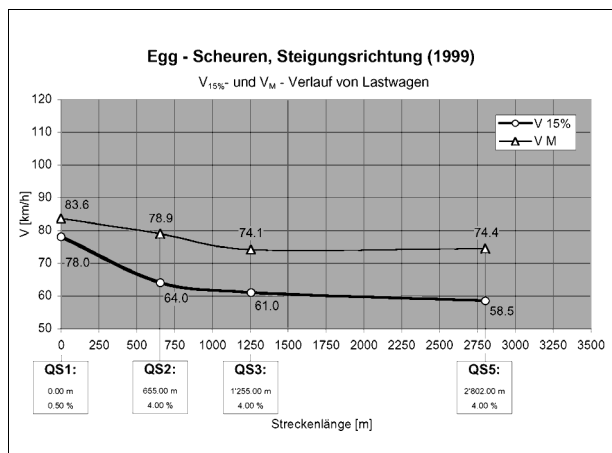
Messergebnisse Steigungsrichtung 1999

Neigung bei Querschnitt: 0.50 % 4.00 % 4.00 % 4.00 % 4.00 %
 Dist. zu Nullpunkt: 0.0 m 655.0 m 1'255.0 m 2'055.0 2'802.0 m

| Personenwagen ($\Delta t \geq 4 \text{ sec.} / L \leq 6.5 \text{ m}$) | | | | | |
|---|----------|----------|----------|----------|----------|
| Querschnitt | QS 1 | QS 2 | QS 3 | QS 4 | QS 5 |
| V-Bereich | 65 - 130 | 65 - 130 | 60 - 120 | 60 - 120 | 60 - 120 |
| Anzahl Fz. | 387 | 568 | 641 | 582 | 597 |
| V_M | 99.9 | 102.6 | 98.5 | 100.5 | 97.8 |
| Standardabw. | 8.9 | 11.7 | 9.9 | 11.2 | 9.6 |
| $V_{05\%}$ | 85.0 | 83.0 | 81.0 | 80.0 | 80.5 |
| $V_{15\%}$ | 91.0 | 90.0 | 89.0 | 90.0 | 88.5 |
| $V_{50\%}$ | 100.0 | 103.0 | 99.0 | 101.0 | 98.5 |
| $V_{85\%}$ | 108.0 | 115.0 | 108.0 | 112.0 | 107.5 |
| $V_{95\%}$ | 114.0 | 122.0 | 114.0 | 117.0 | 112.0 |



| Lastwagen ($\Delta t \geq 4 \text{ sec.} / L > 6.5 \text{ m}$) | | | | | |
|--|----------|----------|----------|------|----------|
| Querschnitt | QS 1 | QS 2 | QS 3 | QS 4 | QS 5 |
| V-Bereich | 63 - 130 | 55 - 115 | 50 - 110 | | 50 - 100 |
| Anzahl Fz. | 42 | 60 | 66 | | 68 |
| V_M | 83.6 | 78.9 | 74.1 | | 74.4 |
| Standardabw. | 6.4 | 12.2 | 12.0 | | 12.7 |
| $V_{05\%}$ | 72.0 | 56.0 | 53.0 | | 53.5 |
| $V_{15\%}$ | 78.0 | 64.0 | 61.0 | | 58.5 |
| $V_{50\%}$ | 84.0 | 78.0 | 74.0 | | 74.0 |
| $V_{85\%}$ | 88.0 | 90.0 | 86.0 | | 88.0 |
| $V_{95\%}$ | 92.0 | 101.0 | 91.0 | | 92.0 |

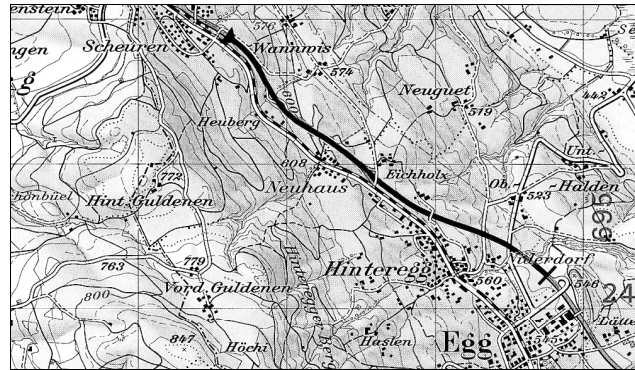


Bemerkungen

4-streifige Autostrasse mit Temporegime 80/100
 QS4 konnte für LW nicht ausgewertet werden

UNTERSUCHUNGSSTRECKE

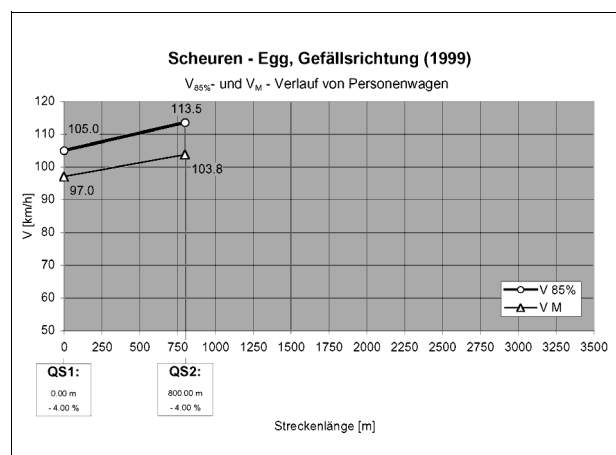
| | |
|--|--------------------------------------|
| 5 | Scheuren - Egg (Forchstrasse) |
| Gefällsrichtung / $i_{massg.} - 4.0\%$ | |



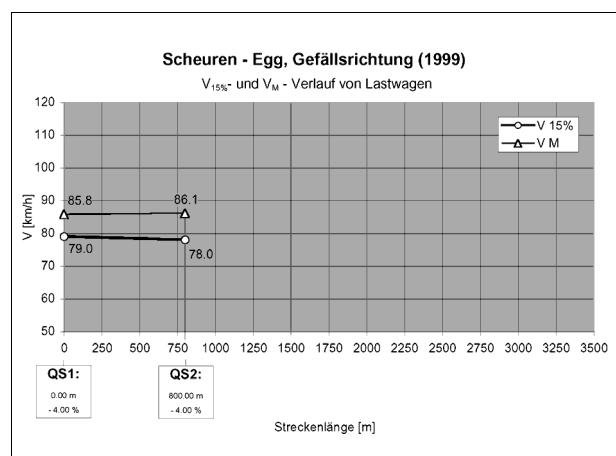
Messergebnisse Gefällsrichtung 1999

Neigung bei Querschnitt: -4.00 % -4.00 %
 Dist. zu Nullpunkt: 0.0 m 800.0 m

| Personenwagen ($\Delta t \geq 4$ sec. / $L \leq 6.5$ m) | | | | | |
|--|----------|----------|--|--|--|
| Querschnitt | QS 1 | QS 2 | | | |
| V-Bereich | 70 - 125 | 70 - 125 | | | |
| Anzahl Fz. | 451 | 425 | | | |
| V_M | 97.0 | 103.8 | | | |
| Standardabw. | 8.8 | 8.8 | | | |
| $V_{05\%}$ | 82.0 | 90.0 | | | |
| $V_{15\%}$ | 88.0 | 96.0 | | | |
| $V_{50\%}$ | 97.0 | 103.0 | | | |
| $V_{85\%}$ | 105.0 | 113.5 | | | |
| $V_{95\%}$ | 111.5 | 118.0 | | | |



| Lastwagen ($\Delta t \geq 4$ sec. / $L > 6.5$ m) | | | | | |
|---|----------|----------|--|--|--|
| Querschnitt | QS 1 | QS 2 | | | |
| V-Bereich | 60 - 110 | 60 - 105 | | | |
| Anzahl Fz. | 37 | 32 | | | |
| V_M | 85.8 | 86.1 | | | |
| Standardabw. | 8.6 | 7.5 | | | |
| $V_{05\%}$ | 74.0 | 75.0 | | | |
| $V_{15\%}$ | 79.0 | 78.0 | | | |
| $V_{50\%}$ | 84.5 | 86.0 | | | |
| $V_{85\%}$ | 91.0 | 92.0 | | | |
| $V_{95\%}$ | 103.0 | 101.0 | | | |

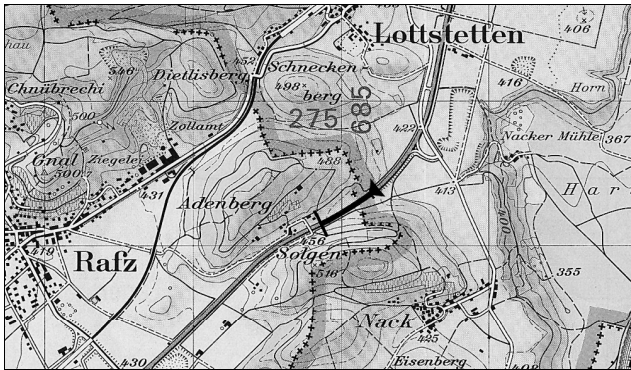


Bemerkungen

4-streifige Autostrasse mit Temporegime 80/100

UNTERSUCHUNGSTRECKE

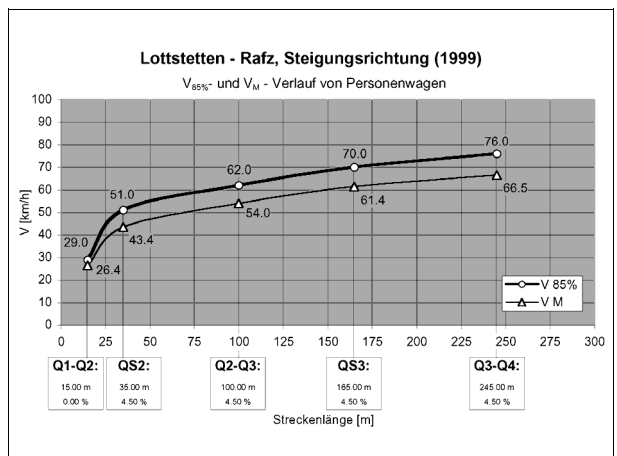
| | |
|---|---------------------------|
| 6 | Lottstetten - Rafz |
| Steigungsrichtung / $i_{\text{massg.}}$ 4.5 % | |



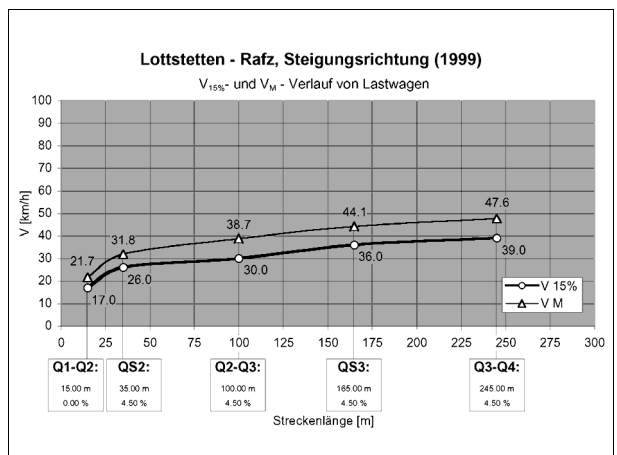
Messergebnisse Steigungsrichtung 1999

| | | | | | |
|--------------------------|--------|--------|---------|---------|---------|
| Neigung bei Querschnitt: | 0.00 % | 4.50 % | 4.50 % | 4.50 % | 4.50 % |
| Dist. zu Nullpunkt: | 15.0 m | 35.0 m | 100.0 m | 165.0 m | 245.0 m |

| Personenwagen ($\Delta t \geq 4 \text{ sec.} / L \leq 6.5 \text{ m}$) | | | | | |
|---|---------|---------|---------|---------|---------|
| Querschnitt | Q1 - Q2 | QS 2 | Q2 - Q3 | QS 3 | Q3 - Q4 |
| V-Bereich | 10 - 90 | 10 - 90 | 10 - 90 | 10 - 90 | 10 - 90 |
| Anzahl Fz. | 415 | 415 | 346 | 383 | 378 |
| V_M | 26.4 | 43.4 | 54.0 | 61.4 | 66.5 |
| Standardabw. | 5.7 | 8.3 | 9.4 | 8.8 | 9.8 |
| $V_{05\%}$ | 19.0 | 29.0 | 40.0 | 49.0 | 51.0 |
| $V_{15\%}$ | 23.0 | 35.0 | 46.0 | 54.0 | 59.0 |
| $V_{50\%}$ | 26.0 | 44.0 | 54.0 | 61.0 | 66.0 |
| $V_{85\%}$ | 29.0 | 51.0 | 62.0 | 70.0 | 76.0 |
| $V_{95\%}$ | 37.0 | 55.0 | 67.0 | 75.0 | 82.0 |



| Lastwagen ($\Delta t \geq 4 \text{ sec.} / L > 6.5 \text{ m}$) | | | | | |
|--|---------|---------|---------|---------|---------|
| Querschnitt | Q1 - Q2 | QS 2 | Q2 - Q3 | QS 3 | Q3 - Q4 |
| V-Bereich | 10 - 70 | 10 - 70 | 10 - 70 | 10 - 70 | 10 - 70 |
| Anzahl Fz. | 63 | 63 | 79 | 95 | 94 |
| V_M | 21.7 | 31.8 | 38.7 | 44.1 | 47.6 |
| Standardabw. | 6.8 | 6.8 | 8.2 | 8.0 | 9.0 |
| $V_{05\%}$ | 14.0 | 21.0 | 28.0 | 32.2 | 34.0 |
| $V_{15\%}$ | 17.0 | 26.0 | 30.0 | 36.0 | 39.0 |
| $V_{50\%}$ | 20.0 | 31.0 | 37.0 | 43.0 | 46.0 |
| $V_{85\%}$ | 26.0 | 37.0 | 45.0 | 52.0 | 57.0 |
| $V_{95\%}$ | 37.0 | 44.0 | 56.0 | 60.0 | 62.0 |



Bemerkungen

Mehrheitlich Anfahren aus Stillstand (Zollamt)

UNTERSUCHUNGSSTRECKE

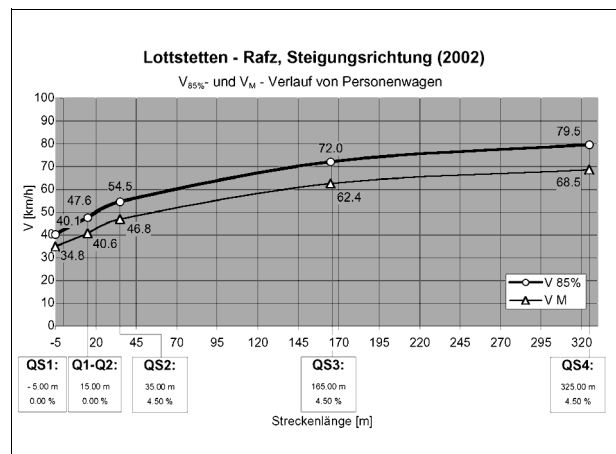
| | |
|---|---------------------------|
| 6 | Lottstetten - Rafz |
| <i>Steigungsrichtung / $i_{\text{massg.}}$ 4.5 %</i> | |



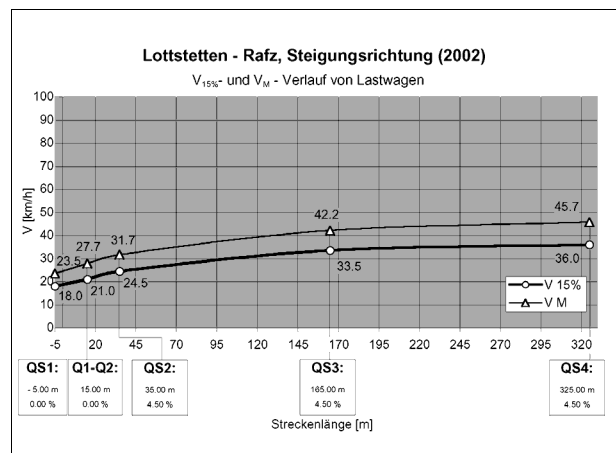
Messergebnisse Steigungsrichtung 2002

| | | | | | |
|--------------------------|--------|--------|--------|---------|---------|
| Neigung bei Querschnitt: | 0.00 % | 4.50 % | 4.50 % | 4.50 % | 4.50 % |
| Dist. zu Nullpunkt: | -5.0 m | 15.0 m | 35.0 m | 165.0 m | 325.0 m |

| Personenwagen ($\Delta t \geq 4 \text{ sec.} / L \leq 6.5 \text{ m}$) | | | | | |
|---|---------|---------|---------|---------|----------|
| Querschnitt | QS 1 | Q1 - Q2 | QS 2 | QS 3 | QS 4 |
| V-Bereich | 10 - 65 | 10 - 65 | 25 - 70 | 25 - 90 | 35 - 100 |
| Anzahl Fz. | 279 | 272 | 325 | 345 | 378 |
| V_M | 34.8 | 40.6 | 46.8 | 62.4 | 68.5 |
| Standardabw. | 6.7 | 7.6 | 7.6 | 10.0 | 12.8 |
| $V_{05\%}$ | 21.0 | 25.1 | 32.0 | 43.0 | 41.5 |
| $V_{15\%}$ | 29.6 | 34.3 | 40.0 | 53.5 | 57.0 |
| $V_{50\%}$ | 35.7 | 41.5 | 47.0 | 62.5 | 69.5 |
| $V_{85\%}$ | 40.1 | 47.6 | 54.5 | 72.0 | 79.5 |
| $V_{95\%}$ | 44.5 | 51.6 | 59.0 | 78.0 | 87.0 |



| Lastwagen ($\Delta t \geq 4 \text{ sec.} / L > 6.5 \text{ m}$) | | | | | |
|--|---------|---------|---------|---------|---------|
| Querschnitt | QS 1 | Q1 - Q2 | QS 2 | QS 3 | QS 4 |
| V-Bereich | 10 - 50 | 10 - 50 | 15 - 55 | 20 - 70 | 30 - 70 |
| Anzahl Fz. | 79 | 76 | 77 | 77 | 81 |
| V_M | 23.5 | 27.7 | 31.7 | 42.2 | 45.7 |
| Standardabw. | 5.1 | 5.6 | 6.2 | 8.7 | 9.3 |
| $V_{05\%}$ | 15.3 | 20.0 | 23.0 | 29.5 | 35.0 |
| $V_{15\%}$ | 18.0 | 21.0 | 24.5 | 33.5 | 36.0 |
| $V_{50\%}$ | 23.4 | 27.0 | 31.0 | 41.0 | 43.0 |
| $V_{85\%}$ | 29.1 | 33.0 | 38.0 | 53.0 | 59.0 |
| $V_{95\%}$ | 32.3 | 38.0 | 43.5 | 55.5 | 62.0 |

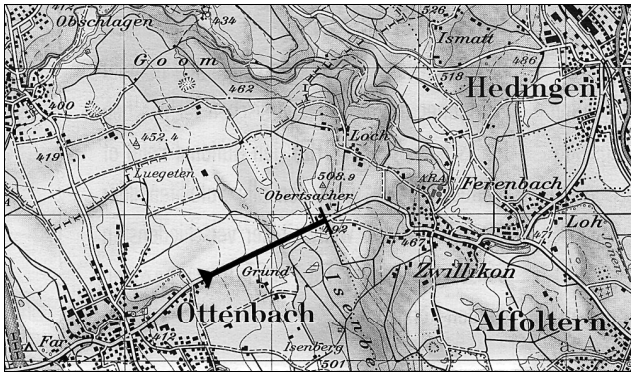


Bemerkungen

Mehrheitlich Anfahren aus Stillstand (Zollamt)

UNTERSUCHUNGSTRECKE

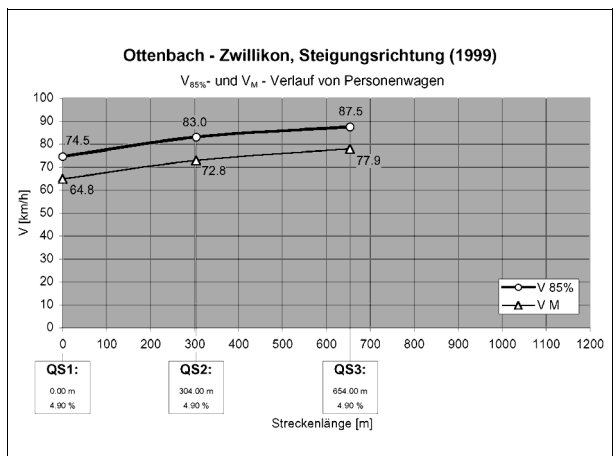
| | |
|---|------------------------------|
| 7 | Ottenbach - Zwillikon |
| Steigungsrichtung / $i_{\text{massg.}}$ 4.9 % | |



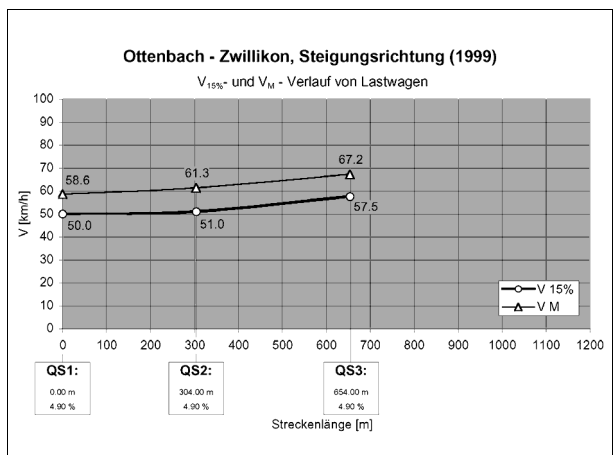
Messergebnisse Steigungsrichtung 1999

Neigung bei Querschnitt: 4.90 % 4.90 % 4.90 %
 Dist. zu Nullpunkt: 0.0 m 304.0 m 654.0 m

| Personenwagen ($\Delta t \geq 4$ sec. / $L \leq 6.5$ m) | | | | | |
|--|---------|----------|----------|--|--|
| Querschnitt | QS 1 | QS 2 | QS 3 | | |
| V-Bereich | 40 - 97 | 40 - 100 | 40 - 100 | | |
| Anzahl Fz. | 408 | 357 | 346 | | |
| V_M | 64.8 | 72.8 | 77.9 | | |
| Standardabw. | 9.2 | 9.5 | 9.4 | | |
| $V_{05\%}$ | 50.0 | 57.0 | 59.5 | | |
| $V_{15\%}$ | 55.0 | 64.0 | 69.0 | | |
| $V_{50\%}$ | 65.0 | 73.0 | 78.5 | | |
| $V_{85\%}$ | 74.5 | 83.0 | 87.5 | | |
| $V_{95\%}$ | 80.0 | 89.0 | 92.5 | | |

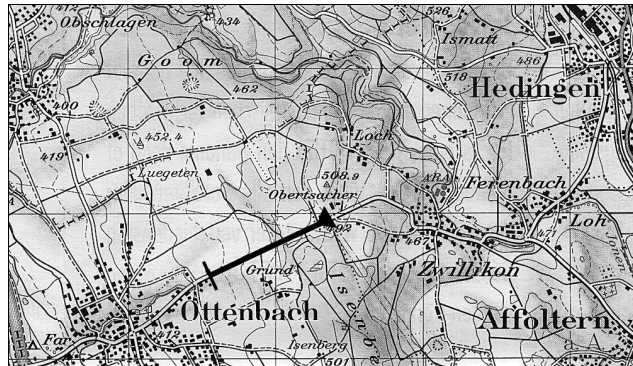


| Lastwagen ($\Delta t \geq 4$ sec. / $L > 6.5$ m) | | | | | |
|---|---------|---------|---------|--|--|
| Querschnitt | QS 1 | QS 2 | QS 3 | | |
| V-Bereich | 35 - 90 | 48 - 85 | 45 - 85 | | |
| Anzahl Fz. | 65 | 49 | 65 | | |
| V_M | 58.6 | 61.3 | 67.2 | | |
| Standardabw. | 8.9 | 7.8 | 9.1 | | |
| $V_{05\%}$ | 42.0 | 50.0 | 50.5 | | |
| $V_{15\%}$ | 50.0 | 51.0 | 57.5 | | |
| $V_{50\%}$ | 59.5 | 62.0 | 68.0 | | |
| $V_{85\%}$ | 67.0 | 69.0 | 77.5 | | |
| $V_{95\%}$ | 70.5 | 73.0 | 82.0 | | |



UNTERSUCHUNGSTRECKE

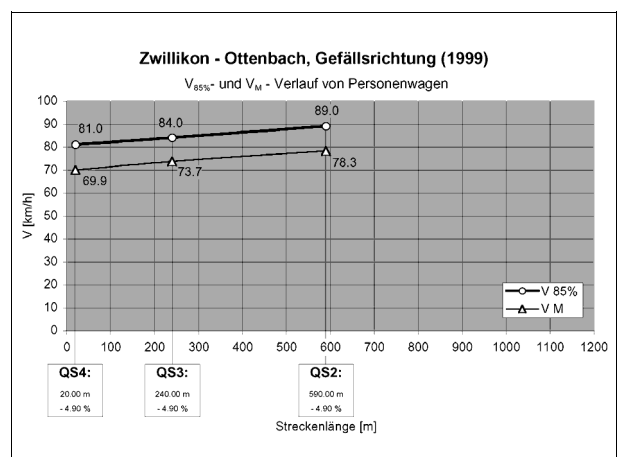
| | |
|---|------------------------------|
| 7 | Zwillikon - Ottenbach |
| Gefällsrichtung / $i_{\text{massg.}} - 4.9\%$ | |



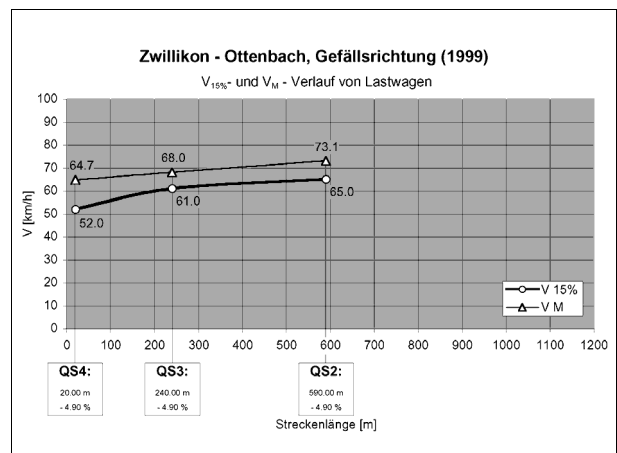
Messergebnisse Gefällsrichtung 1999

Neigung bei Querschnitt: -4.90% -4.90% -4.90%
 Dist. zu Nullpunkt: 20.0 m 240.0 m 590.0 m

| Personenwagen ($\Delta t \geq 4 \text{ sec.} / L \leq 6.5 \text{ m}$) | | | | | | |
|---|----------|----------|----------|--|--|--|
| Querschnitt | QS 4 | QS 3 | QS 2 | | | |
| V-Bereich | 45 - 100 | 50 - 100 | 50 - 110 | | | |
| Anzahl Fz. | 421 | 323 | 275 | | | |
| V_M | 69.9 | 73.7 | 78.3 | | | |
| Standardabw. | 10.4 | 9.1 | 9.8 | | | |
| $V_{05\%}$ | 53.0 | 59.0 | 63.0 | | | |
| $V_{15\%}$ | 59.0 | 63.0 | 68.0 | | | |
| $V_{50\%}$ | 69.0 | 74.0 | 78.0 | | | |
| $V_{85\%}$ | 81.0 | 84.0 | 89.0 | | | |
| $V_{95\%}$ | 87.5 | 88.0 | 95.0 | | | |



| Lastwagen ($\Delta t \geq 4 \text{ sec.} / L > 6.5 \text{ m}$) | | | | | | |
|--|---------|---------|---------|--|--|--|
| Querschnitt | QS 4 | QS 3 | QS 2 | | | |
| V-Bereich | 40 - 90 | 45 - 90 | 45 - 90 | | | |
| Anzahl Fz. | 40 | 25 | 41 | | | |
| V_M | 64.7 | 68.0 | 73.1 | | | |
| Standardabw. | 10.2 | 8.4 | 8.7 | | | |
| $V_{05\%}$ | 46.5 | 53.0 | 60.0 | | | |
| $V_{15\%}$ | 52.0 | 61.0 | 65.0 | | | |
| $V_{50\%}$ | 63.5 | 67.0 | 74.0 | | | |
| $V_{85\%}$ | 75.0 | 76.0 | 82.0 | | | |
| $V_{95\%}$ | 80.0 | 83.0 | 87.0 | | | |

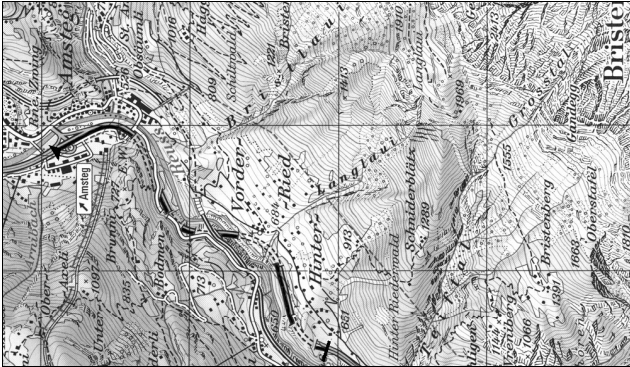


Bemerkungen

Messung in Gefällsrichtung erfolgte gleichzeitig mit Messung in Steigungsrichtung

UNTERSUCHUNGSTRECKE

| | |
|---|-----------------------------|
| 8 | Amsteg - Wassen (A2) |
| Steigungsrichtung / $i_{\text{massg.}}$ 4.9 % | |

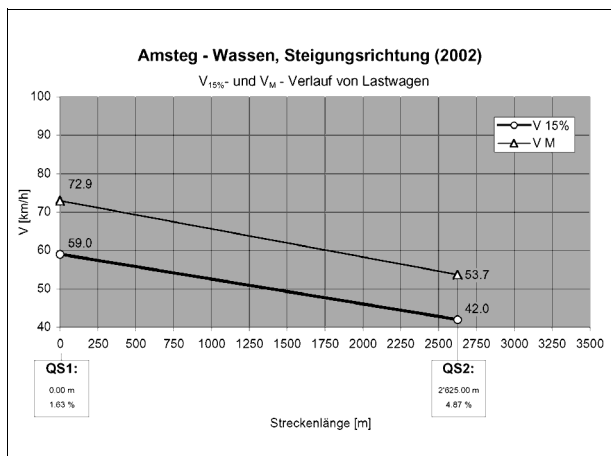


Kein Foto vorhanden

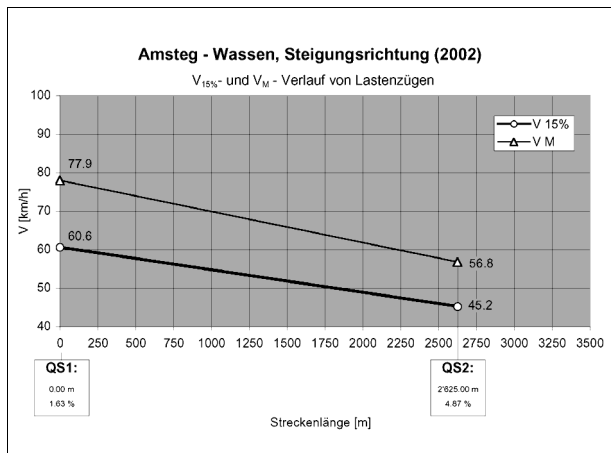
Messergebnisse Steigungsrichtung 2002

Neigung bei Querschnitt: 1.63 % 4.87 %
 Dist. zu Nullpunkt: 0.0 m 2'625.0 m

| Lastwagen ($\Delta t \geq 4 \text{ sec.} / L > 6.5 \text{ m}$) | | | | | |
|--|----------|---------|--|--|--|
| Querschnitt | QS 1 | QS 2 | | | |
| V-Bereich | 45 - 105 | 33 - 75 | | | |
| Anzahl Fz. | 28 | 47 | | | |
| V_M | 72.9 | 53.7 | | | |
| Standardabw. | 14.8 | 11.5 | | | |
| $V_{05\%}$ | 52.0 | 35.0 | | | |
| $V_{15\%}$ | 59.0 | 42.0 | | | |
| $V_{50\%}$ | 69.0 | 54.0 | | | |
| $V_{85\%}$ | 89.0 | 66.0 | | | |
| $V_{95\%}$ | 103.0 | 73.0 | | | |

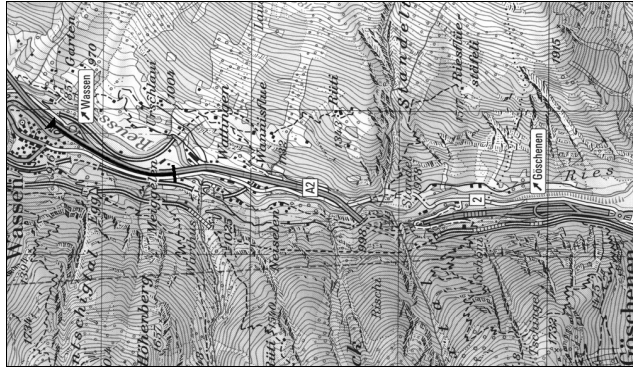


| Lastenzüge ($\Delta t \geq 4 \text{ sec.} / L > 12.5 \text{ m}$) | | | | | |
|--|----------|----------|--|--|--|
| Querschnitt | QS 1 | QS 2 | | | |
| V-Bereich | 45 - 120 | 33 - 100 | | | |
| Anzahl Fz. | 9 | 17 | | | |
| V_M | 77.9 | 56.8 | | | |
| Standardabw. | 18.9 | 9.5 | | | |
| $V_{05\%}$ | 53.9 | 44.3 | | | |
| $V_{15\%}$ | 60.6 | 45.2 | | | |
| $V_{50\%}$ | 71.1 | 59.1 | | | |
| $V_{85\%}$ | 100.1 | 65.8 | | | |
| $V_{95\%}$ | 103.6 | 70.3 | | | |



UNTERSUCHUNGSSTRECKE

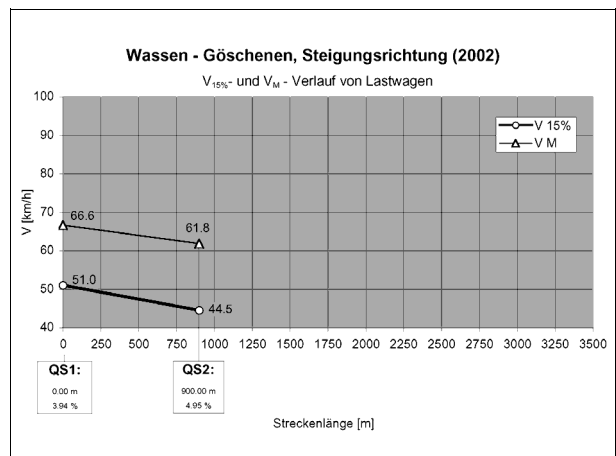
| | |
|---|--------------------------------|
| 9 | Wassen - Göschenen (A2) |
| <i>Steigungsrichtung / i_{massg.} 5.0 %</i> | |



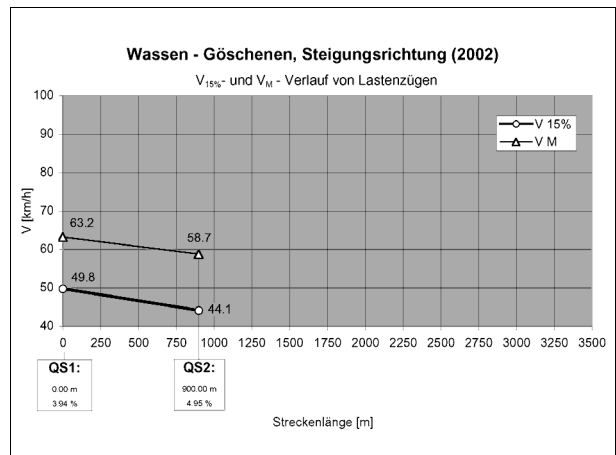
Messergebnisse Steigungsrichtung 2002

Neigung bei Querschnitt: 3.94 % 4.95 %
 Dist. zu Nullpunkt: 0.0 m 900.0 m

| Lastwagen ($\Delta t \geq 4$ sec. / $L > 6.5$ m) | | | | | |
|---|----------|----------|--|--|--|
| Querschnitt | QS 1 | QS 2 | | | |
| V-Bereich | 35 - 100 | 30 - 100 | | | |
| Anzahl Fz. | 231 | 188 | | | |
| V_M | 66.6 | 61.8 | | | |
| Standardabw. | 13.9 | 15.9 | | | |
| V _{05%} | 46.0 | 37.5 | | | |
| V _{15%} | 51.0 | 44.5 | | | |
| V _{50%} | 66.0 | 59.0 | | | |
| V _{85%} | 83.0 | 80.0 | | | |
| V _{95%} | 90.0 | 87.5 | | | |

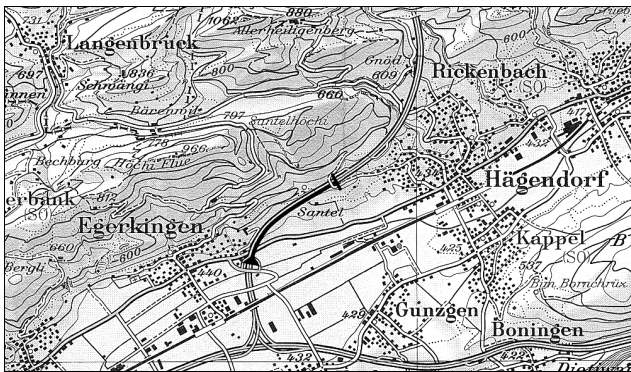


| Lastenzüge ($\Delta t \geq 4$ sec. / $L > 12.5$ m) | | | | | |
|---|----------|----------|--|--|--|
| Querschnitt | QS 1 | QS 2 | | | |
| V-Bereich | 35 - 110 | 30 - 110 | | | |
| Anzahl Fz. | 154 | 120 | | | |
| V_M | 63.2 | 58.7 | | | |
| Standardabw. | 12.4 | 14.9 | | | |
| V _{05%} | 46.4 | 37.3 | | | |
| V _{15%} | 49.8 | 44.1 | | | |
| V _{50%} | 60.6 | 56.3 | | | |
| V _{85%} | 78.8 | 75.3 | | | |
| V _{95%} | 85.6 | 87.0 | | | |



UNTERSUCHUNGSTRECKE

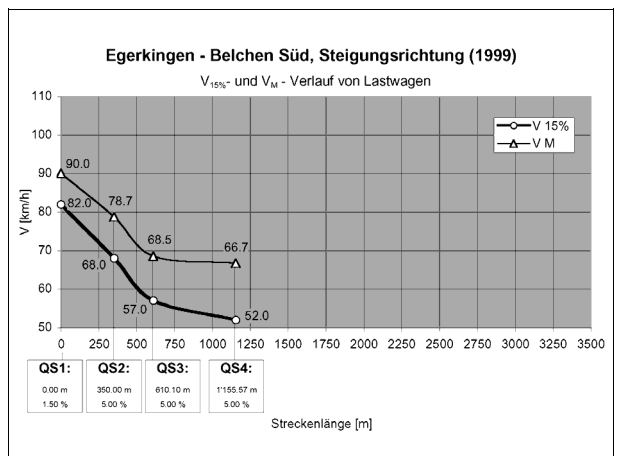
| | |
|---|--------------------------------------|
| 10 | Egerkingen - Belchen Süd (A2) |
| Steigungsrichtung / $i_{\text{massg.}}$ 5.0 % | |



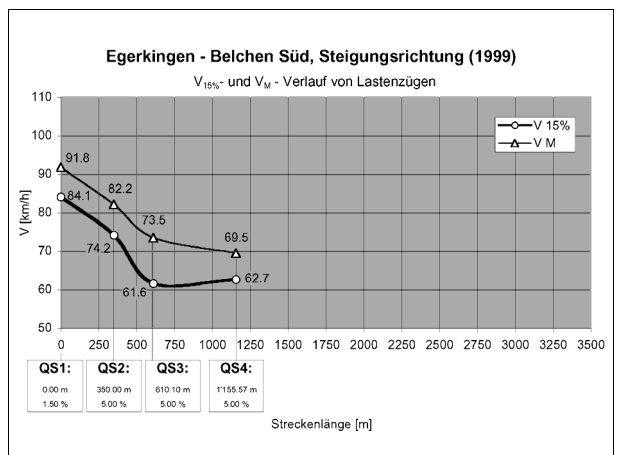
Messergebnisse Steigungsrichtung 1999

| | | | | | |
|--------------------------|--------|---------|---------|-----------|-----------|
| Neigung bei Querschnitt: | 1.50 % | 5.00 % | 5.00 % | 5.00 % | 5.00 % |
| Dist. zu Nullpunkt: | 0.0 m | 350.0 m | 610.0 m | 1'155.6 m | 1'670.6 m |

| Lastwagen ($\Delta t \geq 4$ sec. / $L > 6.5$ m) | | | | | |
|---|----------|----------|----------|----------|----------|
| Querschnitt | QS 1 | QS 2 | QS 3 | QS 4 | QS 5 |
| V-Bereich | 69 - 120 | 45 - 116 | 45 - 115 | 45 - 115 | 30 - 110 |
| Anzahl Fz. | 237 | 219 | 101 | 96 | 216 |
| V_M | 90.0 | 78.7 | 68.5 | 66.7 | 75.3 |
| Standardabw. | 10.0 | 11.6 | 12.0 | 13.5 | 15.9 |
| $V_{05\%}$ | 78.0 | 58.0 | 50.0 | 47.0 | 50.0 |
| $V_{15\%}$ | 82.0 | 68.0 | 57.0 | 52.0 | 58.0 |
| $V_{50\%}$ | 87.0 | 79.0 | 67.0 | 64.0 | 76.0 |
| $V_{85\%}$ | 100.0 | 88.0 | 82.0 | 82.0 | 92.0 |
| $V_{95\%}$ | 114.0 | 100.0 | 87.0 | 88.0 | 102.0 |

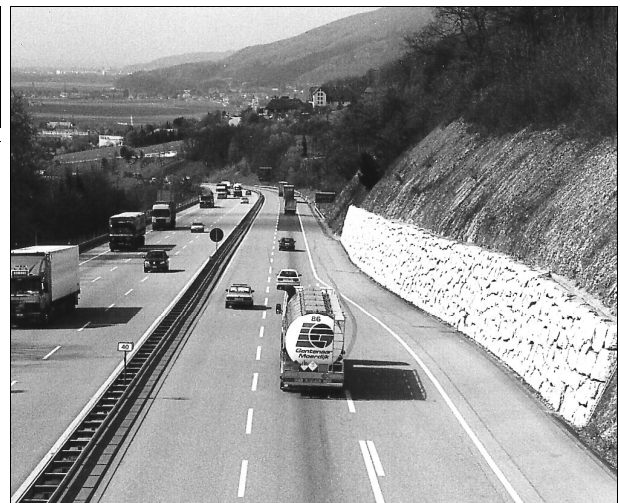
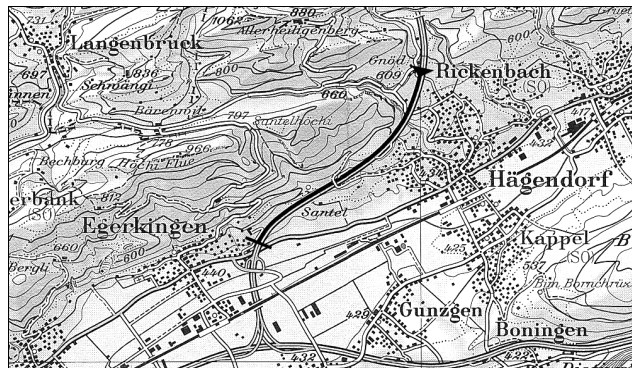


| Lastenzüge ($\Delta t \geq 4$ sec. / $L > 12.5$ m) | | | | | |
|---|----------|----------|----------|----------|----------|
| Querschnitt | QS 1 | QS 2 | QS 3 | QS 4 | QS 5 |
| V-Bereich | 69 - 120 | 45 - 116 | 45 - 115 | 45 - 115 | 30 - 110 |
| Anzahl Fz. | 133 | 104 | 25 | 28 | 108 |
| V_M | 91.8 | 82.2 | 73.5 | 69.5 | 78.2 |
| Standardabw. | 11.1 | 9.5 | 11.1 | 6.8 | 14.3 |
| $V_{05\%}$ | 79.7 | 69.7 | 56.6 | 59.1 | 56.7 |
| $V_{15\%}$ | 84.1 | 74.2 | 61.6 | 62.7 | 62.3 |
| $V_{50\%}$ | 87.4 | 81.7 | 72.3 | 69.3 | 77.7 |
| $V_{85\%}$ | 108.5 | 87.8 | 85.2 | 76.9 | 94.6 |
| $V_{95\%}$ | 116.2 | 99.5 | 86.9 | 79.7 | 103.9 |



UNTERSUCHUNGSSTRECKE

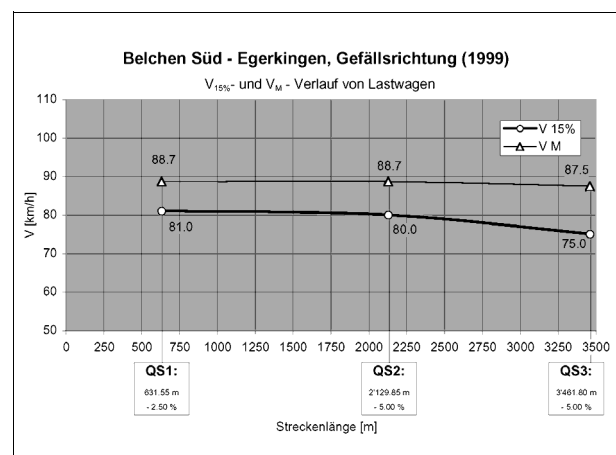
| | |
|--|--------------------------------------|
| 10 | Belchen Süd - Egerkingen (A2) |
| Gefällsrichtung / $i_{\text{massg.}} - 5.0 \%$ | |



Messergebnisse Gefällsrichtung 1999

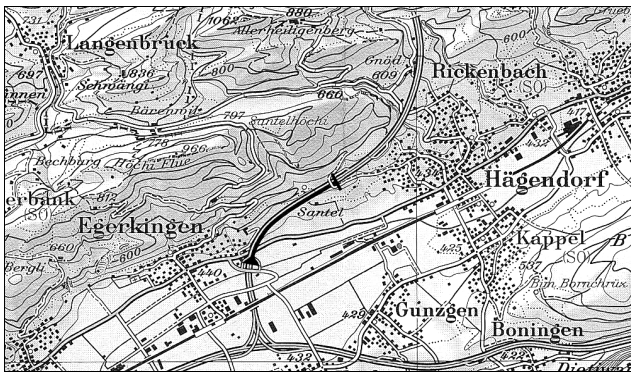
Neigung bei Querschnitt: - 2.50 % - 5.00 % - 5.00 %
 Dist. zu Nullpunkt: 631.6 m 2'129.9 m 3'461.8 m

| Lastwagen ($\Delta t \geq 4 \text{ sec.} / L > 6.5 \text{ m}$) | | | | | |
|--|----------|----------|----------|--|--|
| Querschnitt | QS 1 | QS 2 | QS 3 | | |
| V-Bereich | 60 - 130 | 60 - 125 | 50 - 120 | | |
| Anzahl Fz. | 144 | 83 | 54 | | |
| V_M | 88.7 | 88.7 | 87.5 | | |
| Standardabw. | 10.7 | 9.0 | 12.6 | | |
| $V_{05\%}$ | 76.0 | 77.0 | 65.0 | | |
| $V_{15\%}$ | 81.0 | 80.0 | 75.0 | | |
| $V_{50\%}$ | 87.0 | 89.0 | 87.0 | | |
| $V_{85\%}$ | 95.0 | 95.0 | 102.0 | | |
| $V_{95\%}$ | 116.0 | 106.0 | 108.0 | | |



UNTERSUCHUNGSSTRECKE

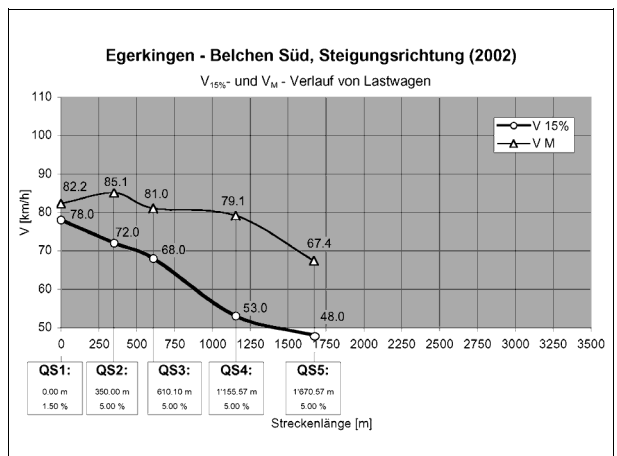
| | |
|---|--------------------------------------|
| 10 | Egerkingen - Belchen Süd (A2) |
| Steigungsrichtung / $i_{\text{massg.}}$ 5.0 % | |



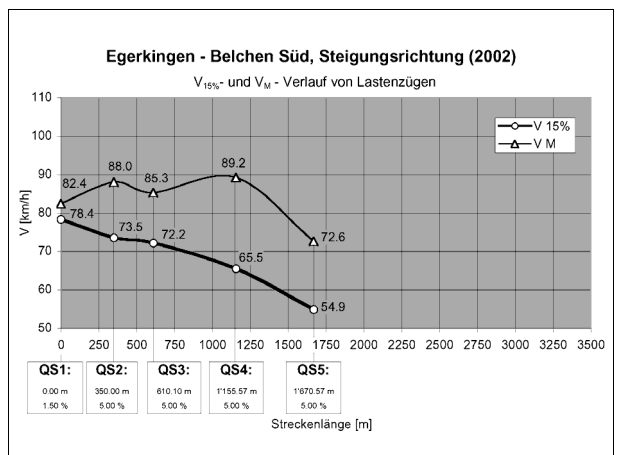
Messergebnisse Steigungsrichtung 2002

Neigung bei Querschnitt: 1,50 % 5,00 % 5,00 % 5,00 % 5,00 %
 Dist. zu Nullpunkt: 0,0 m 350,0 m 610,0 m 1'155,6 m 1'670,6 m

| Lastwagen ($\Delta t \geq 4$ sec. / $L > 6,5$ m) | | | | | |
|---|----------|----------|----------|----------|----------|
| Querschnitt | QS 1 | QS 2 | QS 3 | QS 4 | QS 5 |
| V-Bereich | 60 - 120 | 45 - 115 | 45 - 115 | 40 - 115 | 30 - 110 |
| Anzahl Fz. | 513 | 411 | 197 | 41 | 421 |
| V_M | 82.2 | 85.1 | 81.0 | 79.1 | 67.4 |
| Standardabw. | 7.3 | 12.9 | 12.6 | 21.2 | 16.4 |
| $V_{05\%}$ | 72.0 | 65.0 | 62.0 | 45.0 | 40.0 |
| $V_{15\%}$ | 78.0 | 72.0 | 68.0 | 53.0 | 48.0 |
| $V_{50\%}$ | 81.0 | 85.0 | 81.0 | 74.0 | 69.0 |
| $V_{85\%}$ | 86.0 | 100.0 | 95.0 | 106.0 | 85.0 |
| $V_{95\%}$ | 94.0 | 110.0 | 102.0 | 109.0 | 92.0 |

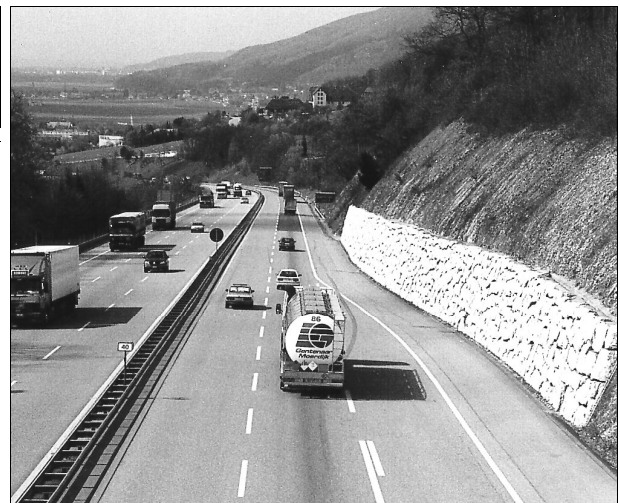
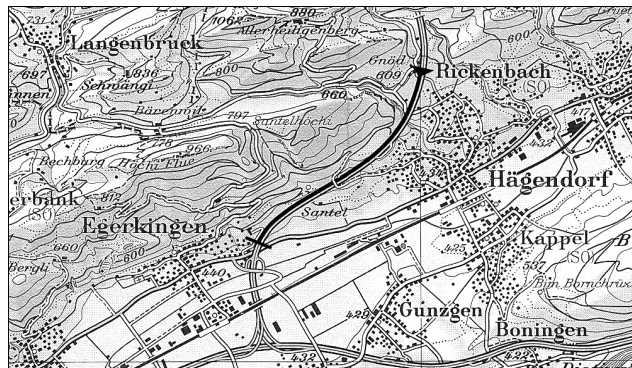


| Lastenzüge ($\Delta t \geq 4$ sec. / $L > 12,5$ m) | | | | | |
|---|----------|----------|----------|----------|----------|
| Querschnitt | QS 1 | QS 2 | QS 3 | QS 4 | QS 5 |
| V-Bereich | 60 - 120 | 45 - 115 | 45 - 115 | 40 - 115 | 30 - 110 |
| Anzahl Fz. | 306 | 186 | 40 | 9 | 108 |
| V_M | 82.4 | 88.0 | 85.3 | 89.2 | 72.6 |
| Standardabw. | 6.7 | 13.8 | 13.7 | 22.5 | 15.2 |
| $V_{05\%}$ | 75.1 | 68.7 | 65.3 | 57.0 | 45.4 |
| $V_{15\%}$ | 78.4 | 73.5 | 72.2 | 65.5 | 54.9 |
| $V_{50\%}$ | 81.3 | 86.5 | 86.1 | 101.5 | 75.4 |
| $V_{85\%}$ | 84.9 | 107.2 | 99.4 | 110.1 | 86.5 |
| $V_{95\%}$ | 93.3 | 112.8 | 107.4 | 112.0 | 93.3 |



UNTERSUCHUNGSSTRECKE

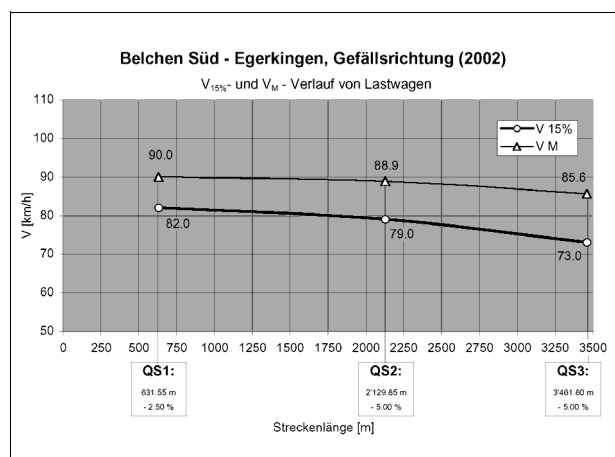
| | |
|--|--------------------------------------|
| 10 | Belchen Süd - Egerkingen (A2) |
| Gefällsrichtung / $i_{\text{massg.}} - 5.0 \%$ | |



Messergebnisse Gefällsrichtung 2002

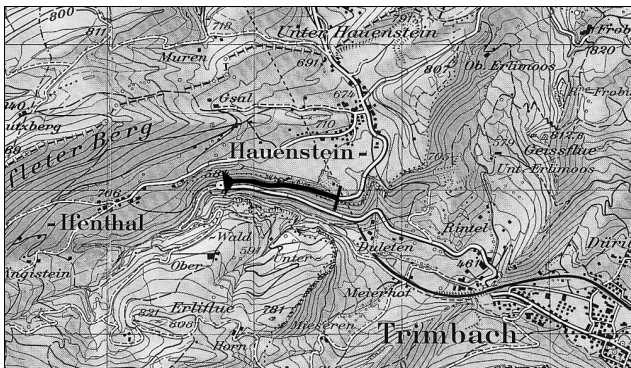
Neigung bei Querschnitt: - 2.50 % - 5.00 % - 5.00 %
 Dist. zu Nullpunkt: 631.6 m 2'129.9 m 3'461.8 m

| Lastwagen ($\Delta t \geq 4 \text{ sec.} / L > 6.5 \text{ m}$) | | | | | |
|--|----------|----------|----------|--|--|
| Querschnitt | QS 1 | QS 2 | QS 3 | | |
| V-Bereich | 60 - 130 | 60 - 125 | 50 - 120 | | |
| Anzahl Fz. | 338 | 356 | 484 | | |
| V_M | 90.0 | 88.9 | 85.6 | | |
| Standardabw. | 10.2 | 10.6 | 11.7 | | |
| $V_{05\%}$ | 77.0 | 71.0 | 68.0 | | |
| $V_{15\%}$ | 82.0 | 79.0 | 73.0 | | |
| $V_{50\%}$ | 88.0 | 89.0 | 86.0 | | |
| $V_{85\%}$ | 99.0 | 98.0 | 98.0 | | |
| $V_{95\%}$ | 113.0 | 106.0 | 105.0 | | |



UNTERSUCHUNGSTRECKE

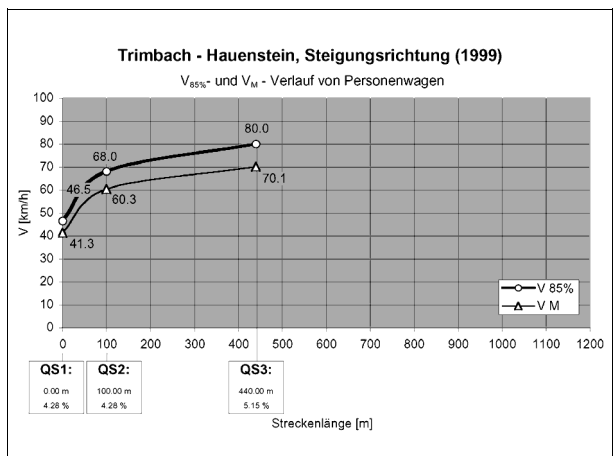
| | |
|---|------------------------------|
| 11 | Trimbach - Hauenstein |
| Steigungsrichtung / i_{massg} 5.2 % | |



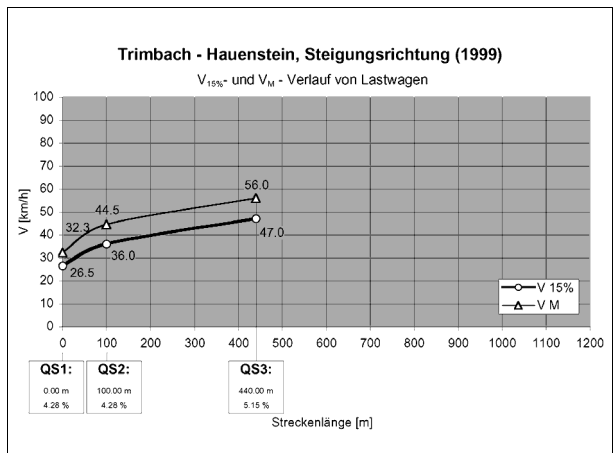
Messergebnisse Steigungsrichtung 1999

Neigung bei Querschnitt: 4.28 % 4.28 % 5.15 %
 Dist. zu Nullpunkt: 0.0 m 100.0 m 440.0 m

| Personenwagen ($\Delta t \geq 4$ sec. / $L \leq 6.5$ m) | | | | | |
|--|---------|---------|----------|--|--|
| Querschnitt | QS 1 | QS 2 | QS 3 | | |
| V-Bereich | 20 - 70 | 25 - 90 | 30 - 100 | | |
| Anzahl Fz. | 342 | 330 | 167 | | |
| V_M | 41.3 | 60.3 | 70.1 | | |
| Standardabw. | 5.3 | 7.8 | 10.4 | | |
| $V_{05\%}$ | 31.5 | 48.0 | 53.0 | | |
| $V_{15\%}$ | 36.5 | 54.0 | 60.0 | | |
| $V_{50\%}$ | 41.5 | 60.0 | 69.0 | | |
| $V_{85\%}$ | 46.5 | 68.0 | 80.0 | | |
| $V_{95\%}$ | 49.5 | 73.0 | 86.0 | | |

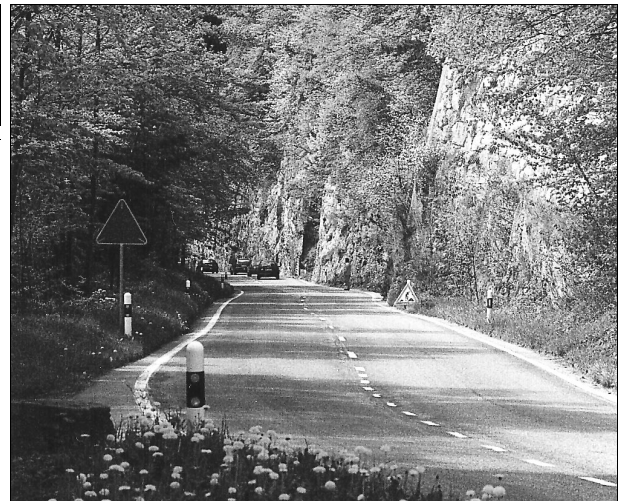
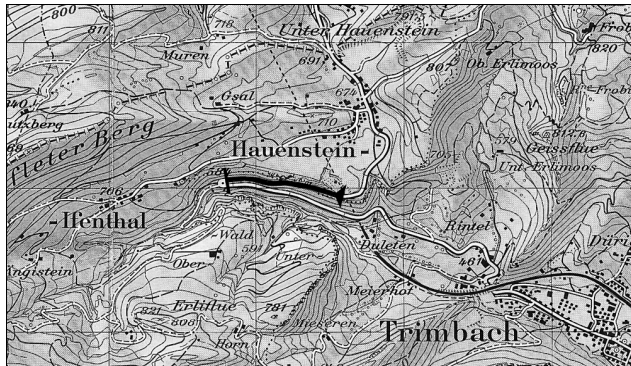


| Lastwagen ($\Delta t \geq 4$ sec. / $L > 6.5$ m) | | | | | |
|---|---------|---------|---------|--|--|
| Querschnitt | QS 1 | QS 2 | QS 3 | | |
| V-Bereich | 10 - 55 | 25 - 65 | 35 - 80 | | |
| Anzahl Fz. | 54 | 59 | 42 | | |
| V_M | 32.3 | 44.5 | 56.0 | | |
| Standardabw. | 5.5 | 7.6 | 9.4 | | |
| $V_{05\%}$ | 22.0 | 27.0 | 41.0 | | |
| $V_{15\%}$ | 26.5 | 36.0 | 47.0 | | |
| $V_{50\%}$ | 33.0 | 45.0 | 55.0 | | |
| $V_{85\%}$ | 38.0 | 52.0 | 64.0 | | |
| $V_{95\%}$ | 42.0 | 56.0 | 75.0 | | |



UNTERSUCHUNGSSTRECKE

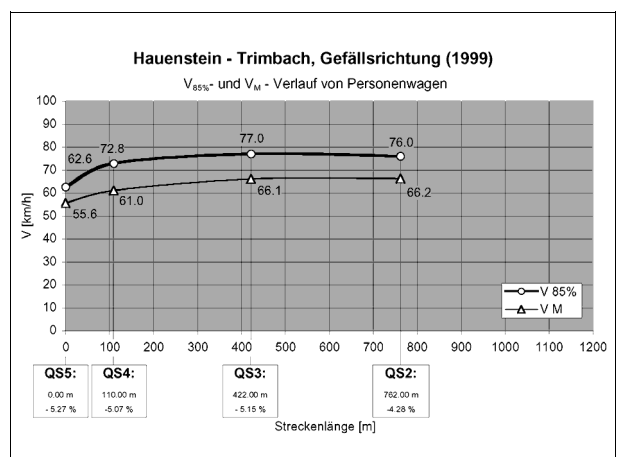
| | |
|---|-----------------------|
| 11 | Hauenstein - Trimbach |
| <i>Gefällsrichtung / i_{massg.} - 5.2 %</i> | |



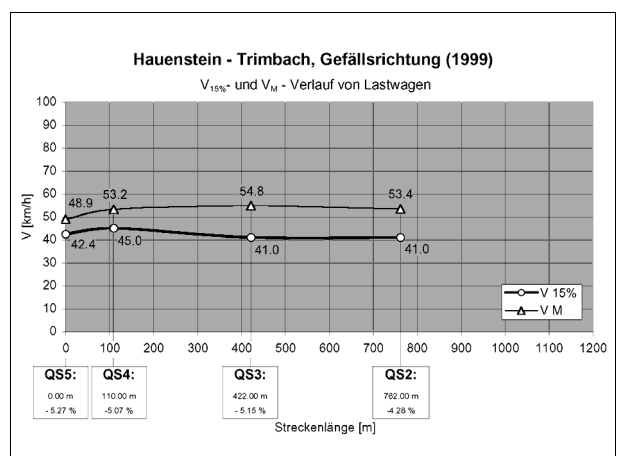
Messergebnisse Gefällsrichtung 1999

Neigung bei Querschnitt: - 5.27 % - 5.07 % - 5.15 % - 4.28 %
 Dist. zu Nullpunkt: 0.0 m 110.0 m 422.0 m 762.0 m

| Personenwagen ($\Delta t \geq 4$ sec. / $L \leq 6.5$ m) | | | | | | |
|--|---------|---------|---------|---------|--|--|
| Querschnitt | QS 5 | QS 4 | QS 3 | QS 2 | | |
| V-Bereich | 25 - 95 | 25 - 95 | 30 - 95 | 30 - 95 | | |
| Anzahl Fz. | 203 | 84 | 138 | 290 | | |
| V_M | 55.6 | 61.0 | 66.1 | 66.2 | | |
| Standardabw. | 7.7 | 14.1 | 10.6 | 9.6 | | |
| $V_{05\%}$ | 43.0 | 30.0 | 50.0 | 53.0 | | |
| $V_{15\%}$ | 48.7 | 48.4 | 56.0 | 57.0 | | |
| $V_{50\%}$ | 55.8 | 62.9 | 65.0 | 65.0 | | |
| $V_{85\%}$ | 62.6 | 72.8 | 77.0 | 76.0 | | |
| $V_{95\%}$ | 68.4 | 82.4 | 87.0 | 83.0 | | |



| Lastwagen ($\Delta t \geq 4$ sec. / $L > 6.5$ m) | | | | | | |
|---|---------|---------|---------|---------|--|--|
| Querschnitt | QS 5 | QS 4 | QS 3 | QS 2 | | |
| V-Bereich | 30 - 85 | 30 - 85 | 30 - 90 | 30 - 90 | | |
| Anzahl Fz. | 38 | 20 | 36 | 49 | | |
| V_M | 48.9 | 53.2 | 54.8 | 53.4 | | |
| Standardabw. | 6.6 | 8.2 | 10.1 | 10.5 | | |
| $V_{05\%}$ | 41.3 | 31.4 | 33.0 | 35.0 | | |
| $V_{15\%}$ | 42.4 | 45.0 | 41.0 | 41.0 | | |
| $V_{50\%}$ | 47.6 | 53.3 | 57.0 | 56.0 | | |
| $V_{85\%}$ | 53.6 | 60.6 | 62.0 | 63.0 | | |
| $V_{95\%}$ | 60.3 | 64.4 | 73.0 | 66.0 | | |

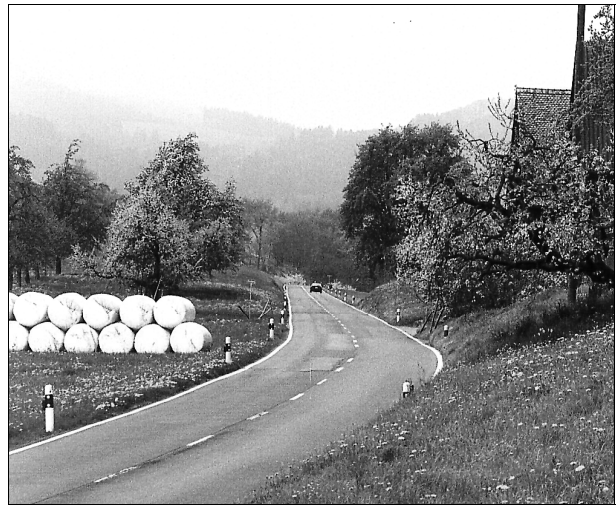
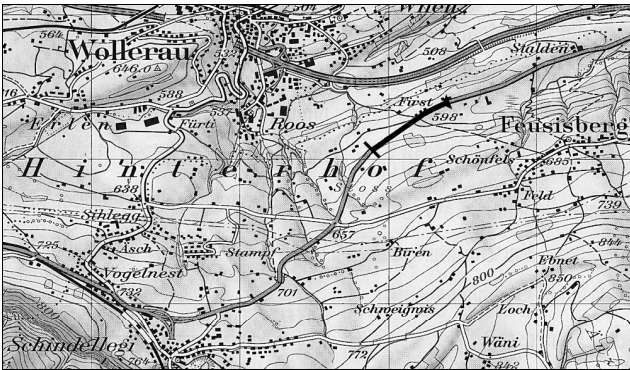


Bemerkungen

Messung in Gefällsrichtung erfolgte gleichzeitig mit Messung in Steigungsrichtung
 QS 5 nach Kurve

UNTERSUCHUNGSTRECKE

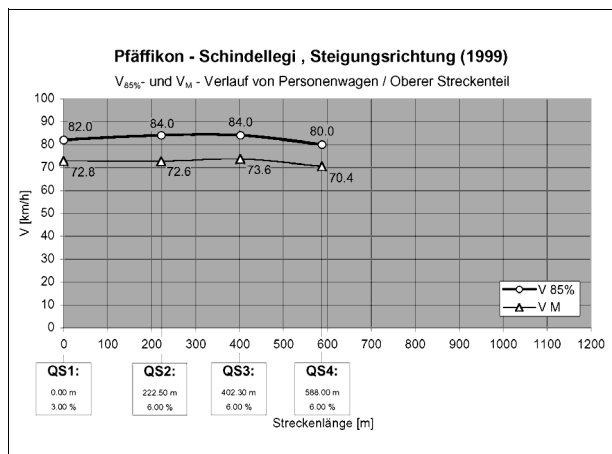
| | |
|---|--|
| 12 | Pfäffikon - Schindellegi (oben) |
| Steigungsrichtung / $i_{\text{massg.}}$ 6.0 % | |



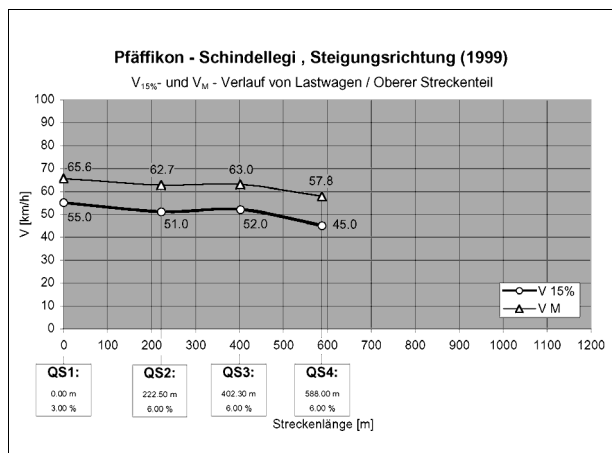
Messergebnisse Steigungsrichtung 1999

| | | | | |
|--------------------------|--------|---------|---------|---------|
| Neigung bei Querschnitt: | 3.00 % | 6.00 % | 6.00 % | 6.00 % |
| Dist. zu Nullpunkt: | 0.0 m | 222.5 m | 402.3 m | 588.0 m |

| Personenwagen ($\Delta t \geq 4 \text{ sec.} / L \leq 6.5 \text{ m}$) | | | | | | |
|---|----------|----------|---------|---------|--|--|
| Querschnitt | QS 1 | QS 2 | QS 3 | QS 4 | | |
| V-Bereich | 50 - 109 | 45 - 100 | 40 - 95 | 40 - 95 | | |
| Anzahl Fz. | 384 | 306 | 406 | 427 | | |
| V_M | 72.8 | 72.6 | 73.6 | 70.4 | | |
| Standardabw. | 10.1 | 11.0 | 10.2 | 9.6 | | |
| $V_{05\%}$ | 55.0 | 52.0 | 55.0 | 53.0 | | |
| $V_{15\%}$ | 62.0 | 60.0 | 63.0 | 61.0 | | |
| $V_{50\%}$ | 73.0 | 73.0 | 74.0 | 71.0 | | |
| $V_{85\%}$ | 82.0 | 84.0 | 84.0 | 80.0 | | |
| $V_{95\%}$ | 89.0 | 90.0 | 89.0 | 84.0 | | |

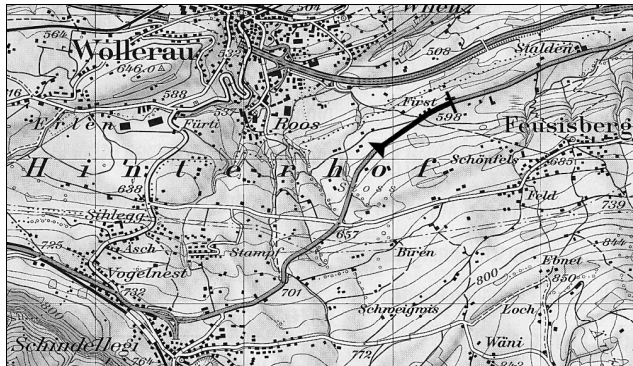


| Lastwagen ($\Delta t \geq 4 \text{ sec.} / L > 6.5 \text{ m}$) | | | | | | |
|--|---------|---------|---------|---------|--|--|
| Querschnitt | QS 1 | QS 2 | QS 3 | QS 4 | | |
| V-Bereich | 30 - 90 | 30 - 85 | 30 - 80 | 30 - 80 | | |
| Anzahl Fz. | 77 | 78 | 78 | 79 | | |
| V_M | 65.6 | 62.7 | 63.0 | 57.8 | | |
| Standardabw. | 10.7 | 10.9 | 9.0 | 10.1 | | |
| $V_{05\%}$ | 48.0 | 46.0 | 48.0 | 40.0 | | |
| $V_{15\%}$ | 55.0 | 51.0 | 52.0 | 45.0 | | |
| $V_{50\%}$ | 65.0 | 63.0 | 63.0 | 59.0 | | |
| $V_{85\%}$ | 76.0 | 75.0 | 74.0 | 69.0 | | |
| $V_{95\%}$ | 84.0 | 82.0 | 77.0 | 75.0 | | |



UNTERSUCHUNGSTRECKE

| | |
|--|--|
| 12 | Schindellegi – Pfäffikon (oben) |
| Gefällsrichtung / $i_{massg.} - 6.0\%$ | |

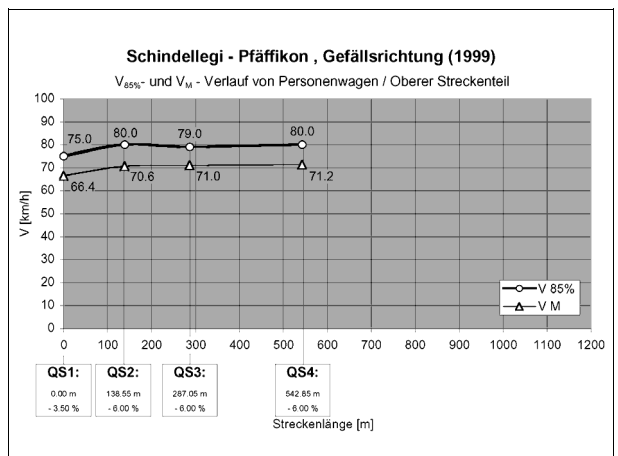


Messergebnisse Gefällsrichtung 1999

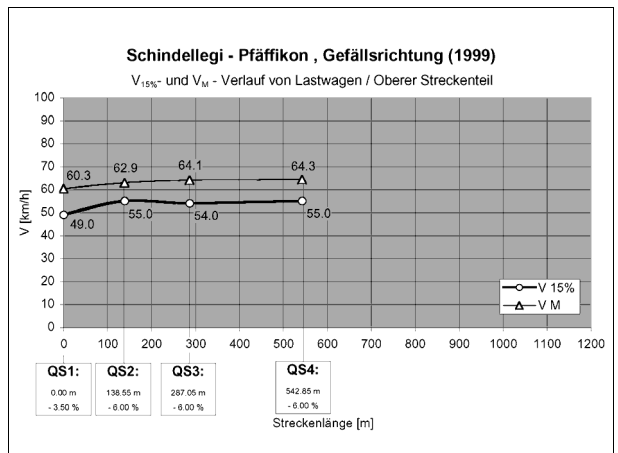
Neigung bei Querschnitt: -3.50% -6.00% -6.00% -6.00%

Dist. zu Nullpunkt: 0.0 m 138.6 m 287.1 m 542.9 m

| Personenwagen ($\Delta t \geq 4 \text{ sec.} / L \leq 6.5 \text{ m}$) | | | | | | |
|---|-------|-------|-------|-------|--|--|
| Querschnitt | QS 1 | QS 2 | QS 3 | QS 4 | | |
| V-Bereich | 50-95 | 45-95 | 45-95 | 45-95 | | |
| Anzahl Fz. | 248 | 261 | 227 | 124 | | |
| V_M | 66.4 | 70.6 | 71.0 | 71.2 | | |
| Standardabw. | 8.1 | 8.8 | 8.2 | 9.1 | | |
| $V_{05\%}$ | 54.0 | 57.0 | 58.0 | 57.0 | | |
| $V_{15\%}$ | 58.0 | 63.0 | 62.0 | 62.0 | | |
| $V_{50\%}$ | 66.0 | 70.0 | 71.0 | 70.0 | | |
| $V_{85\%}$ | 75.0 | 80.0 | 79.0 | 80.0 | | |
| $V_{95\%}$ | 81.0 | 86.0 | 84.0 | 84.0 | | |

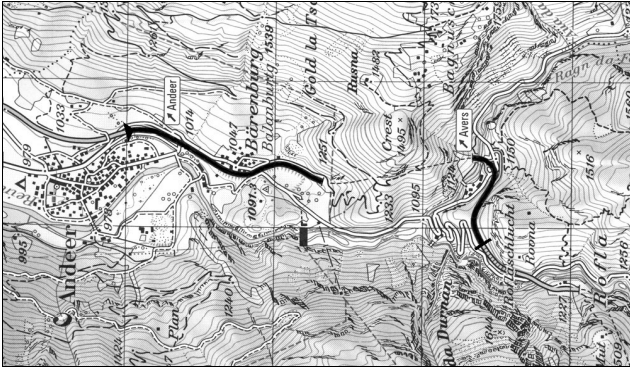


| Lastwagen ($\Delta t \geq 4 \text{ sec.} / L > 6.5 \text{ m}$) | | | | | | |
|--|-------|-------|-------|-------|--|--|
| Querschnitt | QS 1 | QS 2 | QS 3 | QS 4 | | |
| V-Bereich | 40-85 | 40-85 | 40-85 | 40-80 | | |
| Anzahl Fz. | 65 | 68 | 60 | 26 | | |
| V_M | 60.3 | 62.9 | 64.1 | 64.3 | | |
| Standardabw. | 9.3 | 9.5 | 9.8 | 7.5 | | |
| $V_{05\%}$ | 45.0 | 47.0 | 44.0 | 54.0 | | |
| $V_{15\%}$ | 49.0 | 55.0 | 54.0 | 55.0 | | |
| $V_{50\%}$ | 59.0 | 62.0 | 64.0 | 63.0 | | |
| $V_{85\%}$ | 72.0 | 75.0 | 75.0 | 75.0 | | |
| $V_{95\%}$ | 75.0 | 80.0 | 80.0 | 77.0 | | |



UNTERSUCHUNGSTRECKE

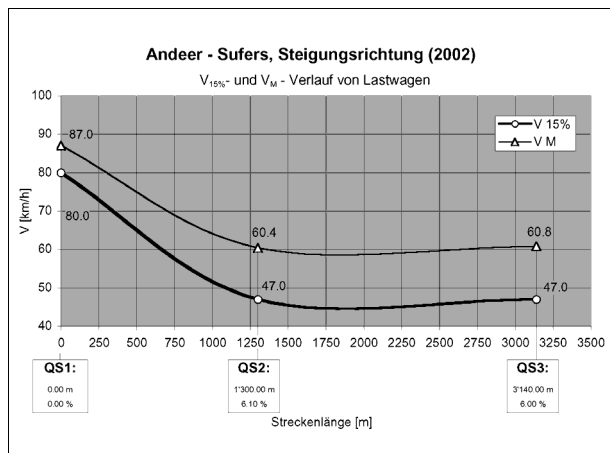
| | |
|---|------------------------------|
| 13 | Andeer - Sufers (A13) |
| Steigungsrichtung / $i_{\text{massg.}}$ 6.0 % | |



Messergebnisse Steigungsrichtung 2002

Neigung bei Querschnitt: 0.00 % 6.10 % 6.00 %
 Dist. zu Nullpunkt: 0.0 m 1'300.0 m 3'140.0 m

| Lastwagen ($\Delta t \geq 4$ sec. / $L > 6.5$ m) | | | | | | |
|---|----------|---------|---------|--|--|--|
| Querschnitt | QS 1 | QS 2 | QS 3 | | | |
| V-Bereich | 60 - 105 | 35 - 95 | 35 - 95 | | | |
| Anzahl Fz. | 128 | 135 | 92 | | | |
| V_M | 87.0 | 60.4 | 60.8 | | | |
| Standardabw. | 7.4 | 12.2 | 12.2 | | | |
| $V_{05\%}$ | 73.0 | 40.0 | 41.0 | | | |
| $V_{15\%}$ | 80.0 | 47.0 | 47.0 | | | |
| $V_{50\%}$ | 88.0 | 59.0 | 61.0 | | | |
| $V_{85\%}$ | 94.0 | 74.0 | 73.0 | | | |
| $V_{95\%}$ | 100.0 | 81.0 | 84.0 | | | |

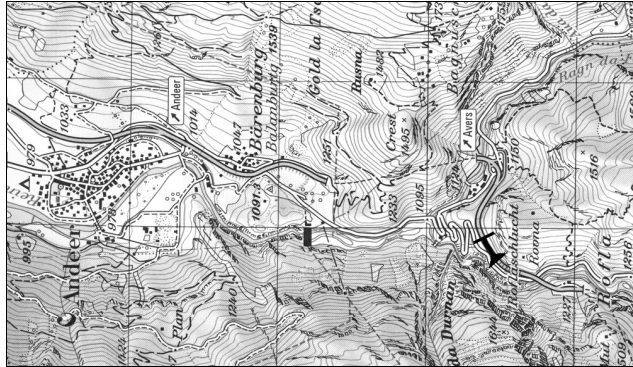


Bemerkungen

2-streifige HLS ohne Richtungstrennung mit Temporegime 80/100

UNTERSUCHUNGSTRECKE

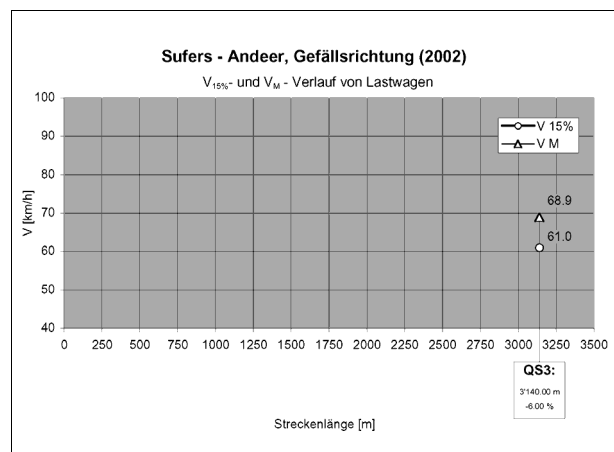
| | |
|--|-----------------------|
| 13 | Sufers – Andeer (A13) |
| Gefällsrichtung / $i_{\text{massg.}} - 6.0 \%$ | |



Messergebnisse Gefällsrichtung 2002

Neigung bei Querschnitt: - 6.00 %
 Dist. zu Nullpunkt: 3'140.0 m

| Lastwagen ($\Delta t \geq 4 \text{ sec.} / L > 6.5 \text{ m}$) | | | | | | |
|--|----------|--|--|--|--|--|
| Querschnitt | QS 3 | | | | | |
| V-Bereich | 45 - 100 | | | | | |
| Anzahl Fz. | 89 | | | | | |
| V_M | 68.9 | | | | | |
| Standardabw. | 8.5 | | | | | |
| $V_{05\%}$ | 52.0 | | | | | |
| $V_{15\%}$ | 61.0 | | | | | |
| $V_{50\%}$ | 70.0 | | | | | |
| $V_{85\%}$ | 76.0 | | | | | |
| $V_{95\%}$ | 83.0 | | | | | |



Bemerkungen

2-streifige HLS ohne Richtungstrennung mit Temporegime 80/100
 Messung in QS 3 erfolgte gleichzeitig mit Messung in Steigungsrichtung

UNTERSUCHUNGSTRECKE

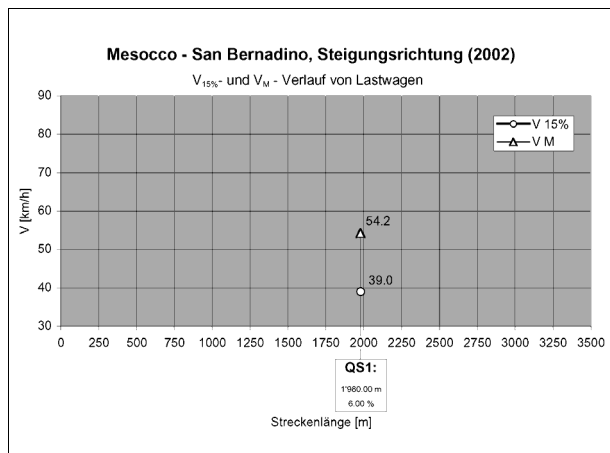
| | |
|---|--------------------------------------|
| 14 | Mesocco - San Bernadino (A13) |
| Steigungsrichtung / $i_{\text{massg.}}$ 6.0 % | |



Messergebnisse Steigungsrichtung 2002

Neigung bei Querschnitt: 6.00 %
 Dist. zu Nullpunkt: 1'980.0 m

| Lastwagen ($\Delta t \geq 4 \text{ sec.} / L > 6.5 \text{ m}$) | | | | | |
|--|---------|--|--|--|--|
| Querschnitt | QS 1 | | | | |
| V-Bereich | 20 - 95 | | | | |
| Anzahl Fz. | 16 | | | | |
| V_M | 54.2 | | | | |
| Standardabw. | 17.0 | | | | |
| $V_{05\%}$ | 22.0 | | | | |
| $V_{15\%}$ | 39.0 | | | | |
| $V_{50\%}$ | 52.0 | | | | |
| $V_{85\%}$ | 68.0 | | | | |
| $V_{95\%}$ | 80.0 | | | | |

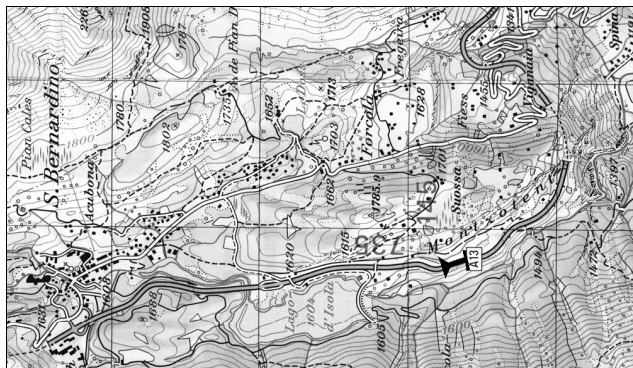


Bemerkungen

2-streifige HLS ohne Richtungstrennung mit Temporegime 80/100

UNTERSUCHUNGSTRECKE

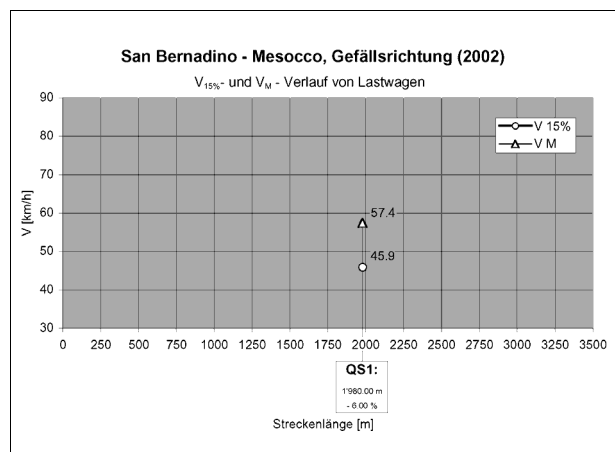
| | |
|--|--------------------------------------|
| 14 | San Bernadino – Mesocco (A13) |
| Gefällsrichtung / $i_{\text{massg.}} - 6.0 \%$ | |



Messergebnisse Gefällsrichtung 2002

Neigung bei Querschnitt: - 6.00 %
 Dist. zu Nullpunkt: 1'980.0 m

| Lastwagen ($\Delta t \geq 4 \text{ sec.} / L > 6.5 \text{ m}$) | | | | | |
|--|---------|--|--|--|--|
| Querschnitt | QS 1 | | | | |
| V-Bereich | 35 - 75 | | | | |
| Anzahl Fz. | 102 | | | | |
| V_M | 57.4 | | | | |
| Standardabw. | 7.1 | | | | |
| $V_{05\%}$ | 45.9 | | | | |
| $V_{15\%}$ | 50.6 | | | | |
| $V_{50\%}$ | 58.2 | | | | |
| $V_{85\%}$ | 64.9 | | | | |
| $V_{95\%}$ | 68.0 | | | | |



Bemerkungen

2-streifige HLS ohne Richtungstrennung mit Temporegime 80/100

UNTERSUCHUNGSTRECKE

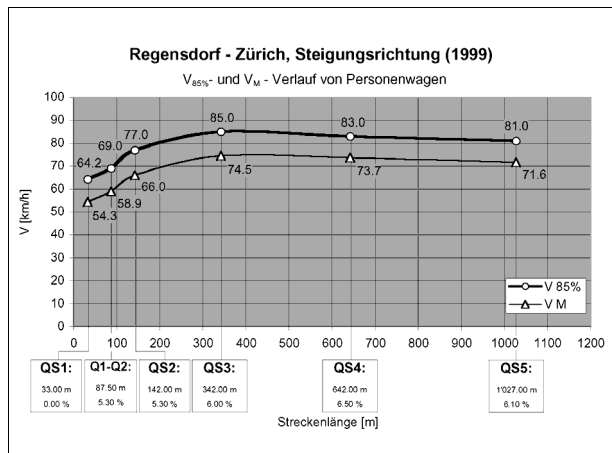
15 (a) Regensdorf - Zürich
 Steigungsrichtung / $i_{massg.}$ 6.1 / 6.5 %



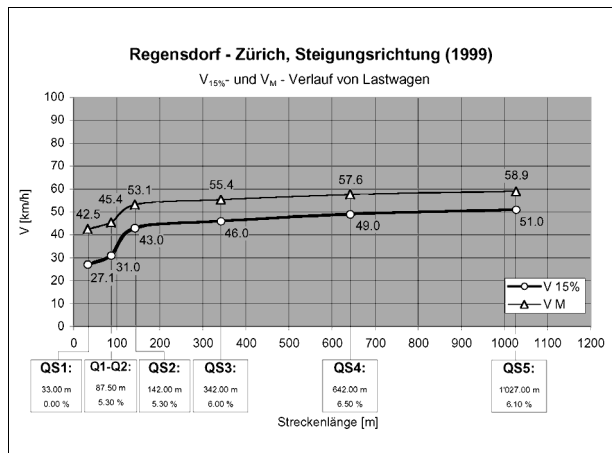
Messergebnisse Steigungsrichtung 1999

| | 15 a | | 15 | | | |
|--------------------------|--------|--------|---------|---------|---------|----------|
| Neigung bei Querschnitt: | 0.00 % | 5.30 % | 5.30 % | 6.00 % | 6.50 % | 6.10 % |
| Dist. zu Nullpunkt: | 33.0 m | 87.5 m | 142.0 m | 342.0 m | 642.0 m | 1027.0 m |

| Personenwagen ($\Delta t \geq 4$ sec. / $L \leq 6.5$ m) | | | | | | |
|--|---------|---------|---------|----------|---------|---------|
| Querschnitt | QS 1 | Q1 - Q2 | QS 2 | QS 3 | QS 4 | QS 5 |
| V-Bereich | 24 - 86 | 30 - 90 | 33 - 95 | 35 - 105 | 40 - 90 | 40 - 90 |
| Anzahl Fz. | 232 | 152 | 366 | 175 | 453 | 411 |
| V_M | 54.3 | 58.9 | 66.0 | 74.5 | 73.7 | 71.6 |
| Standardabw. | 10.2 | 10.0 | 10.1 | 10.5 | 9.1 | 8.6 |
| $V_{05\%}$ | 37.1 | 40.0 | 50.0 | 57.0 | 57.0 | 56.0 |
| $V_{15\%}$ | 43.4 | 49.0 | 56.0 | 64.0 | 64.0 | 63.0 |
| $V_{50\%}$ | 55.0 | 60.0 | 66.0 | 74.0 | 75.0 | 72.0 |
| $V_{85\%}$ | 64.2 | 69.0 | 77.0 | 85.0 | 83.0 | 81.0 |
| $V_{95\%}$ | 69.0 | 72.0 | 83.0 | 94.0 | 87.0 | 84.0 |



| Lastwagen ($\Delta t \geq 4$ sec. / $L > 6.5$ m) | | | | | | |
|---|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Querschnitt | QS 1 | Q1 - Q2 | QS 2 | QS 3 | QS 4 | QS 5 |
| V-Bereich | 15 - 65 | 20 - 70 | 25 - 80 | 30 - 90 | 25 - 80 | 20 - 80 |
| Anzahl Fz. | 42 | 36 | 63 | 17 | 58 | 50 |
| V_M | 42.5 | 45.4 | 53.1 | 55.4 | 57.6 | 58.9 |
| Standardabw. | 11.5 | 11.1 | 8.7 | 9.4 | 8.5 | 8.8 |
| $V_{05\%}$ | 24.3 | 25.0 | 38.0 | 34.0 | 44.0 | 45.0 |
| $V_{15\%}$ | 27.1 | 31.0 | 43.0 | 46.0 | 49.0 | 51.0 |
| $V_{50\%}$ | 45.0 | 46.0 | 54.0 | 55.0 | 58.0 | 58.0 |
| $V_{85\%}$ | 54.1 | 57.0 | 61.0 | 65.0 | 67.0 | 68.0 |
| $V_{95\%}$ | 58.2 | 61.0 | 68.0 | 74.0 | 71.0 | 74.0 |

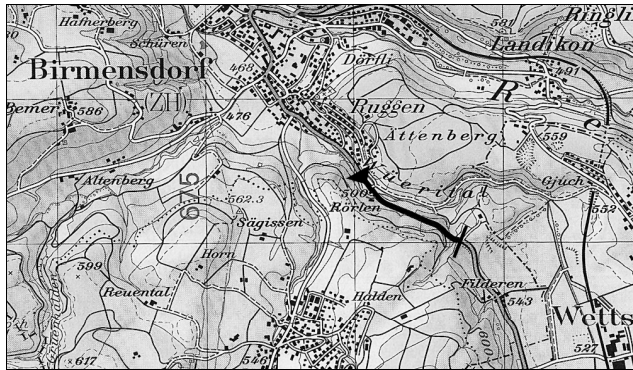


Bemerkungen

Teilweise Anfahrten aus Stillstand (ab LSA)

UNTERSUCHUNGSTRECKE

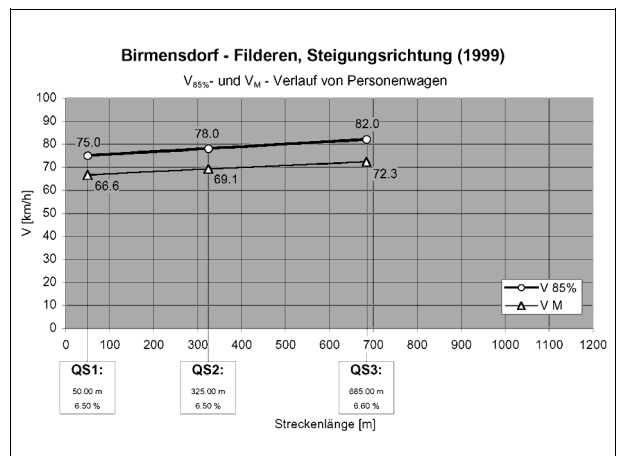
| | |
|---|-------------------------------|
| 16 | Birmensdorf - Filderen |
| <i>Steigungsrichtung / $i_{\text{massg.}}$ 6.6 %</i> | |



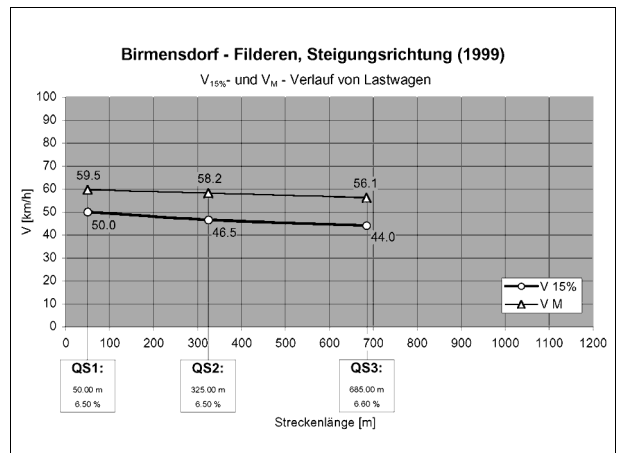
Messergebnisse Steigungsrichtung 1999

Neigung bei Querschnitt: 6.50 % 6.50 % 6.60 %
 Dist. zu Nullpunkt: 50.0 m 325.0 m 685.0 m

| Personenwagen ($\Delta t \geq 4$ sec. / $L \leq 6.5$ m) | | | | | | |
|--|---------|----------|----------|--|--|--|
| Querschnitt | QS 1 | QS 2 | QS 3 | | | |
| V-Bereich | 25 - 90 | 30 - 100 | 30 - 100 | | | |
| Anzahl Fz. | 452 | 493 | 489 | | | |
| V_M | 66.6 | 69.1 | 72.3 | | | |
| Standardabw. | 8.4 | 9.7 | 9.6 | | | |
| $V_{05\%}$ | 52.5 | 52.0 | 58.0 | | | |
| $V_{15\%}$ | 59.0 | 60.0 | 63.0 | | | |
| $V_{50\%}$ | 67.0 | 69.0 | 72.0 | | | |
| $V_{85\%}$ | 75.0 | 78.0 | 82.0 | | | |
| $V_{95\%}$ | 79.0 | 84.5 | 89.0 | | | |

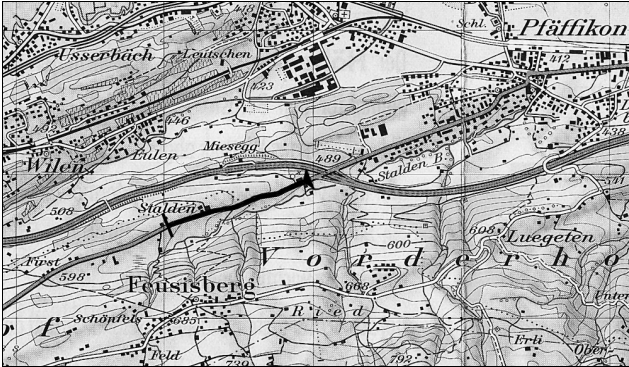


| Lastwagen ($\Delta t \geq 4$ sec. / $L > 6.5$ m) | | | | | | |
|---|---------|---------|---------|--|--|--|
| Querschnitt | QS 1 | QS 2 | QS 3 | | | |
| V-Bereich | 25 - 85 | 25 - 90 | 25 - 80 | | | |
| Anzahl Fz. | 180 | 187 | 124 | | | |
| V_M | 59.5 | 58.2 | 56.1 | | | |
| Standardabw. | 8.7 | 10.4 | 11.2 | | | |
| $V_{05\%}$ | 45.0 | 40.5 | 37.0 | | | |
| $V_{15\%}$ | 50.0 | 46.5 | 44.0 | | | |
| $V_{50\%}$ | 60.0 | 59.0 | 58.0 | | | |
| $V_{85\%}$ | 68.0 | 68.0 | 67.0 | | | |
| $V_{95\%}$ | 72.0 | 74.5 | 73.0 | | | |



UNTERSUCHUNGSTRECKE

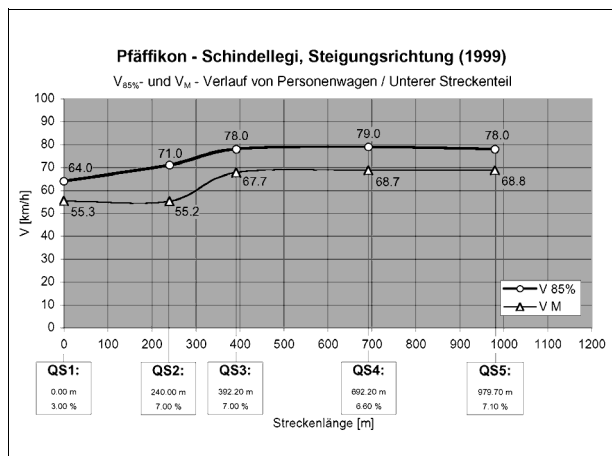
| | |
|---|---|
| 17 | Pfäffikon - Schindellegi (unten) |
| Steigungsrichtung / $i_{\text{massg.}}$ 7.1 % | |



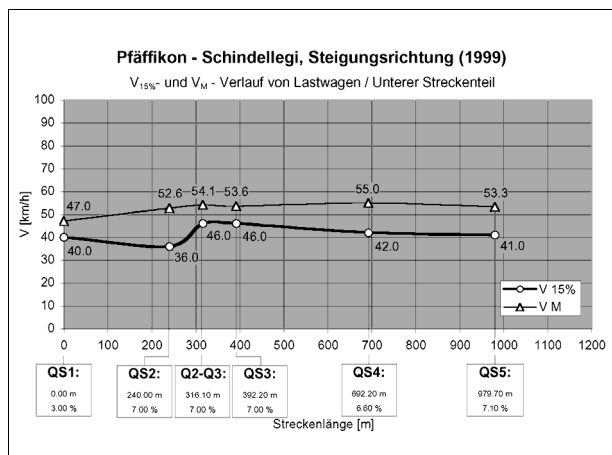
Messergebnisse Steigungsrichtung 1999

| | | | | | | |
|--------------------------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Neigung bei Querschnitt: | 3.00 % | 7.00 % | 7.00 % | 7.00 % | 6.60 % | 7.10 % |
| Dist. zu Nullpunkt: | 0.0 m | 240.0 m | 316.1 m | 392.2 m | 692.2 m | 979.7 m |

| Personenwagen ($\Delta t \geq 4 \text{ sec.} / L \leq 6.5 \text{ m}$) | | | | | | |
|---|---------|---------|---------|---------|---------|--|
| Querschnitt | QS 1 | QS 2 | QS 3 | QS 4 | QS 5 | |
| V-Bereich | 35 - 79 | 35 - 87 | 32 - 94 | 31 - 97 | 30 - 95 | |
| Anzahl Fz. | 339 | 174 | 198 | 196 | 201 | |
| V_M | 55.3 | 55.2 | 67.7 | 68.7 | 68.8 | |
| Standardabw. | 8.4 | 13.0 | 10.8 | 11.0 | 10.3 | |
| $V_{05\%}$ | 41.0 | 38.0 | 49.0 | 52.0 | 51.0 | |
| $V_{15\%}$ | 46.0 | 42.0 | 57.0 | 59.0 | 59.0 | |
| $V_{50\%}$ | 55.0 | 52.0 | 68.0 | 69.0 | 70.0 | |
| $V_{85\%}$ | 64.0 | 71.0 | 78.0 | 79.0 | 78.0 | |
| $V_{95\%}$ | 69.0 | 82.0 | 86.0 | 85.0 | 84.0 | |

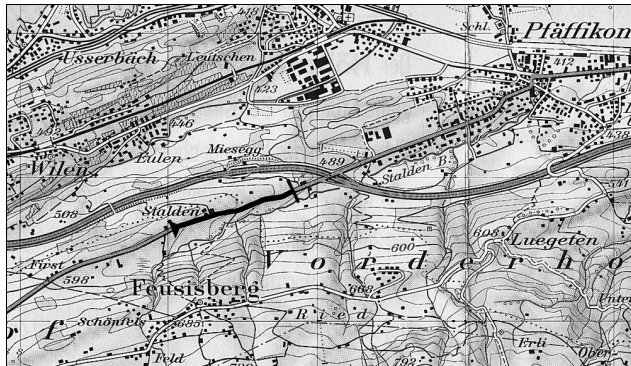


| Lastwagen ($\Delta t \geq 4 \text{ sec.} / L > 6.5 \text{ m}$) | | | | | | |
|--|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Querschnitt | QS 1 | QS 2 | Q2 - Q3 | QS 3 | QS 4 | QS 5 |
| V-Bereich | 30 - 78 | 31 - 85 | 25 - 80 | 25 - 80 | 20 - 75 | 20 - 75 |
| Anzahl Fz. | 62 | 40 | 51 | 54 | 54 | 55 |
| V_M | 47.0 | 52.6 | 54.1 | 53.6 | 55.0 | 53.3 |
| Standardabw. | 7.9 | 13.0 | 8.4 | 8.9 | 12.4 | 11.7 |
| $V_{05\%}$ | 36.0 | 33.0 | 41.0 | 34.0 | 32.0 | 33.0 |
| $V_{15\%}$ | 40.0 | 36.0 | 46.0 | 46.0 | 42.0 | 41.0 |
| $V_{50\%}$ | 46.0 | 54.0 | 54.0 | 54.0 | 58.0 | 55.0 |
| $V_{85\%}$ | 55.0 | 65.0 | 63.0 | 62.0 | 68.0 | 65.0 |
| $V_{95\%}$ | 58.0 | 73.0 | 66.0 | 66.0 | 71.0 | 71.0 |



UNTERSUCHUNGSTRECKE

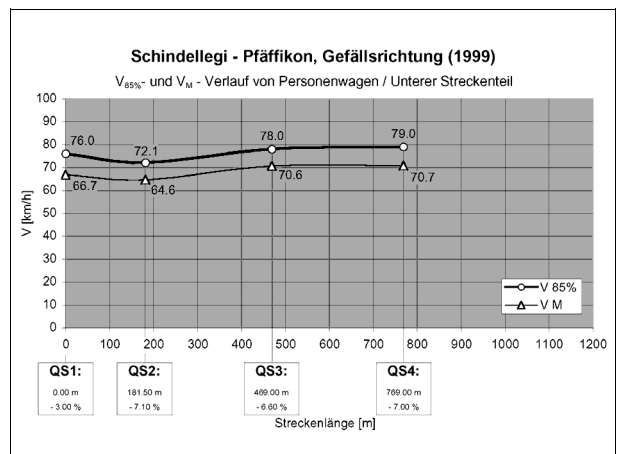
| | |
|--|---|
| 17 | Schindellegi - Pfäffikon (unten) |
| Gefällsrichtung / $i_{massg.} - 7.0\%$ | |



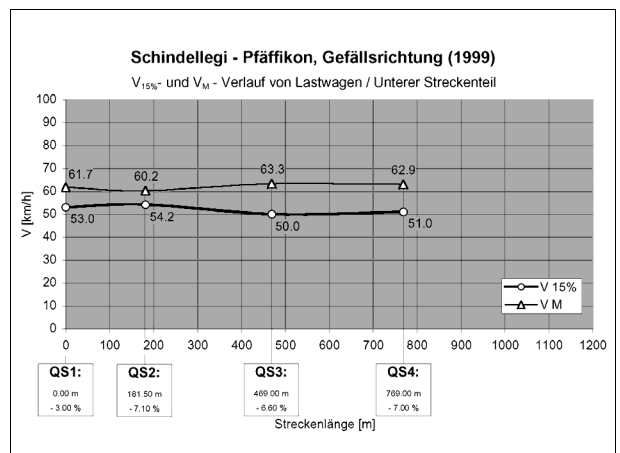
Messergebnisse Gefällsrichtung 1999

| | | | | |
|--------------------------|---------|---------|---------|---------|
| Neigung bei Querschnitt: | -3.00 % | -7.10 % | -6.60 % | -7.00 % |
| Dist. zu Nullpunkt: | 0.0 m | 181.5 m | 469.0 m | 769.0 m |

| Personenwagen ($\Delta t \geq 4 \text{ sec.} / L \leq 6.5 \text{ m}$) | | | | | | |
|---|---------|---------|---------|---------|--|--|
| Querschnitt | QS 1 | QS 2 | QS 3 | QS 4 | | |
| V-Bereich | 45 - 90 | 45 - 95 | 43 - 90 | 43 - 90 | | |
| Anzahl Fz. | 154 | 76 | 168 | 162 | | |
| V_M | 66.7 | 64.6 | 70.6 | 70.7 | | |
| Standardabw. | 8.7 | 9.2 | 8.1 | 7.9 | | |
| $V_{05\%}$ | 53.0 | 48.0 | 56.0 | 58.0 | | |
| $V_{15\%}$ | 57.0 | 54.3 | 62.0 | 63.0 | | |
| $V_{50\%}$ | 66.0 | 64.4 | 71.0 | 71.0 | | |
| $V_{85\%}$ | 76.0 | 72.1 | 78.0 | 79.0 | | |
| $V_{95\%}$ | 82.0 | 82.5 | 85.0 | 82.0 | | |

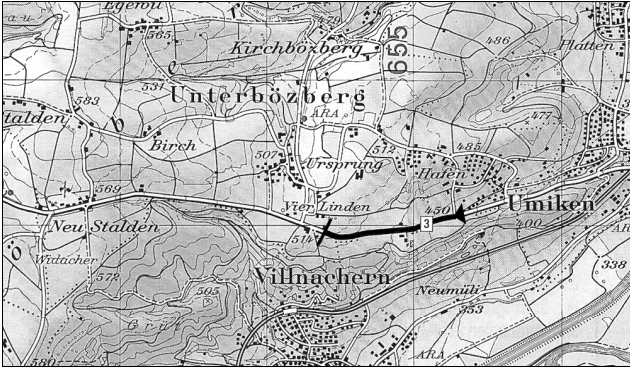


| Lastwagen ($\Delta t \geq 4 \text{ sec.} / L > 6.5 \text{ m}$) | | | | | | |
|--|---------|---------|---------|---------|--|--|
| Querschnitt | QS 1 | QS 2 | QS 3 | QS 4 | | |
| V-Bereich | 40 - 80 | 40 - 80 | 40 - 80 | 40 - 80 | | |
| Anzahl Fz. | 37 | 18 | 35 | 37 | | |
| V_M | 61.7 | 60.2 | 63.3 | 62.9 | | |
| Standardabw. | 7.8 | 7.1 | 9.6 | 8.7 | | |
| $V_{05\%}$ | 50.0 | 49.3 | 49.0 | 47.0 | | |
| $V_{15\%}$ | 53.0 | 54.2 | 50.0 | 51.0 | | |
| $V_{50\%}$ | 61.0 | 57.2 | 66.0 | 63.0 | | |
| $V_{85\%}$ | 71.0 | 67.7 | 74.0 | 72.0 | | |
| $V_{95\%}$ | 71.0 | 78.4 | 77.0 | 76.0 | | |



UNTERSUCHUNGSTRECKE

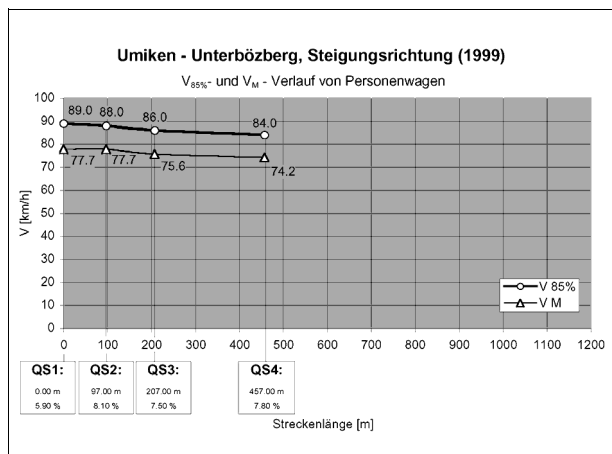
| | |
|---|------------------------------|
| 18 | Umiken - Unterbözberg |
| Steigungsrichtung / $i_{\text{massg.}}$ 7.8 % | |



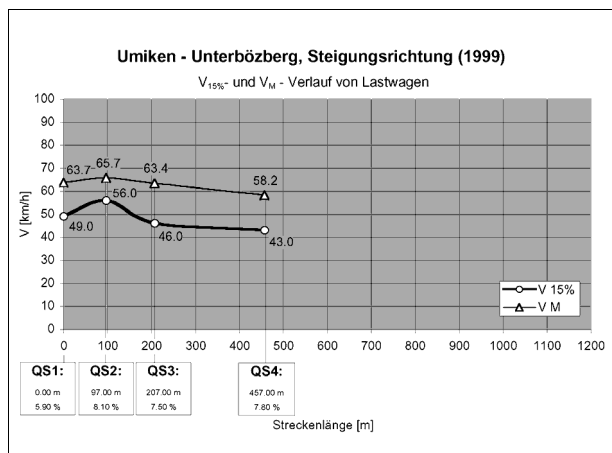
Messergebnisse Steigungsrichtung 1999

| | | | | |
|--------------------------|--------|--------|---------|---------|
| Neigung bei Querschnitt: | 5.90 % | 8.10 % | 7.50 % | 7.80 % |
| Dist. zu Nullpunkt: | 0.0 m | 97.0 m | 207.0 m | 457.0 m |

| Personenwagen ($\Delta t \geq 4 \text{ sec.} / L \leq 6.5 \text{ m}$) | | | | | | |
|---|----------|----------|---------|---------|--|--|
| Querschnitt | QS 1 | QS 2 | QS 3 | QS 4 | | |
| V-Bereich | 40 - 100 | 40 - 100 | 30 - 95 | 30 - 90 | | |
| Anzahl Fz. | 205 | 507 | 455 | 380 | | |
| V_M | 77.7 | 77.7 | 75.6 | 74.2 | | |
| Standardabw. | 10.1 | 9.8 | 9.9 | 10.4 | | |
| $V_{05\%}$ | 58.0 | 61.0 | 59.0 | 55.0 | | |
| $V_{15\%}$ | 68.0 | 68.0 | 66.0 | 64.0 | | |
| $V_{50\%}$ | 78.0 | 78.0 | 76.0 | 76.0 | | |
| $V_{85\%}$ | 89.0 | 88.0 | 86.0 | 84.0 | | |
| $V_{95\%}$ | 94.0 | 94.0 | 92.0 | 88.0 | | |



| Lastwagen ($\Delta t \geq 4 \text{ sec.} / L > 6.5 \text{ m}$) | | | | | | |
|--|---------|---------|---------|---------|--|--|
| Querschnitt | QS 1 | QS 2 | QS 3 | QS 4 | | |
| V-Bereich | 30 - 90 | 30 - 90 | 25 - 85 | 20 - 80 | | |
| Anzahl Fz. | 27 | 57 | 55 | 53 | | |
| V_M | 63.7 | 65.7 | 63.4 | 58.2 | | |
| Standardabw. | 12.2 | 11.1 | 13.2 | 12.1 | | |
| $V_{05\%}$ | 43.0 | 43.0 | 39.0 | 35.0 | | |
| $V_{15\%}$ | 49.0 | 56.0 | 46.0 | 43.0 | | |
| $V_{50\%}$ | 65.0 | 66.0 | 66.0 | 59.0 | | |
| $V_{85\%}$ | 78.0 | 77.0 | 78.0 | 72.0 | | |
| $V_{95\%}$ | 80.0 | 83.0 | 81.0 | 76.0 | | |

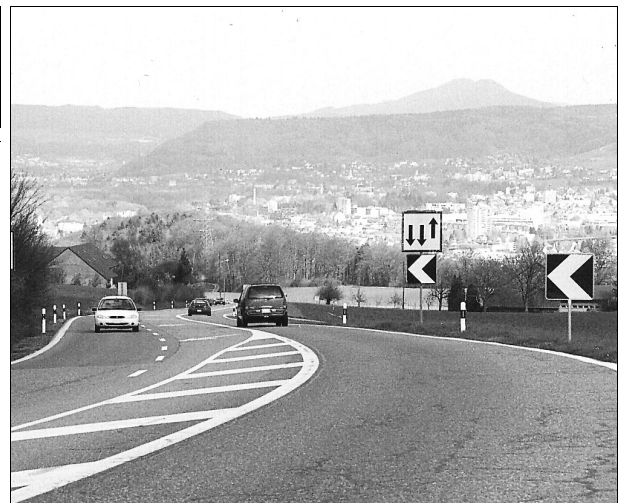
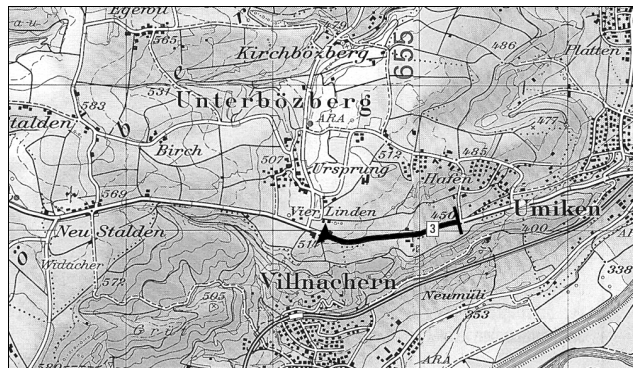


Bemerkungen

In Steigungsrichtung wurden Kriechspur und Überholspur erfasst.

UNTERSUCHUNGSTRECKE

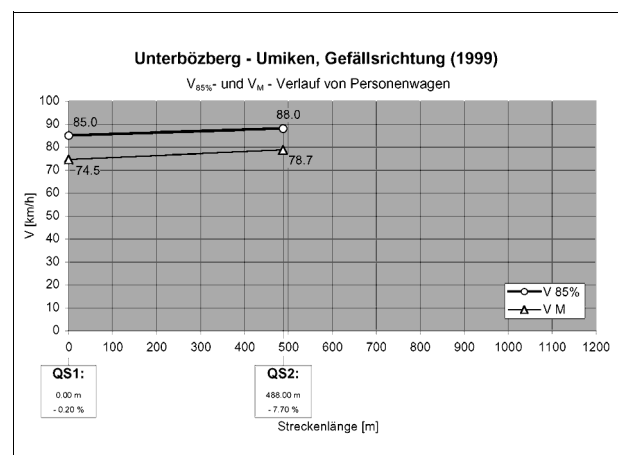
| | |
|---|------------------------------|
| 18 | Unterbözberg - Umiken |
| Gefällsrichtung / $i_{\text{massg.}} - 7.7\%$ | |



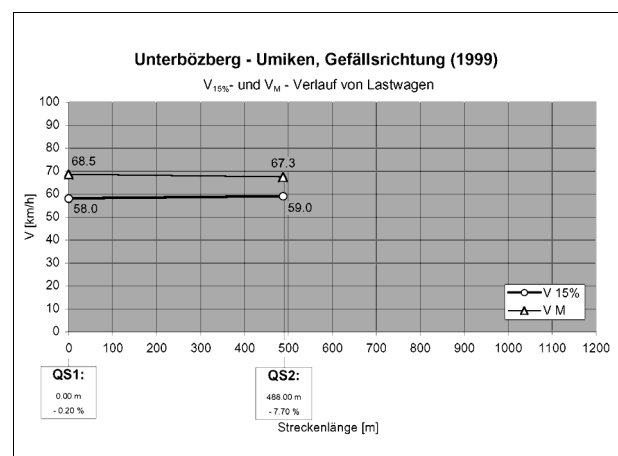
Messergebnisse Gefällsrichtung 1999

Neigung bei Querschnitt: - 0.20 % - 7.70 %
 Dist. zu Nullpunkt: 0.0 m 488.0 m

| Personenwagen ($\Delta t \geq 4 \text{ sec.} / L \leq 6.5 \text{ m}$) | | | | | |
|---|---------|----------|--|--|--|
| Querschnitt | QS 1 | QS 2 | | | |
| V-Bereich | 40 - 95 | 40 - 110 | | | |
| Anzahl Fz. | 379 | 381 | | | |
| V_M | 74.5 | 78.7 | | | |
| Standardabw. | 9.8 | 9.7 | | | |
| $V_{05\%}$ | 58.0 | 62.0 | | | |
| $V_{15\%}$ | 65.0 | 70.0 | | | |
| $V_{50\%}$ | 74.0 | 78.0 | | | |
| $V_{85\%}$ | 85.0 | 88.0 | | | |
| $V_{95\%}$ | 91.0 | 94.0 | | | |

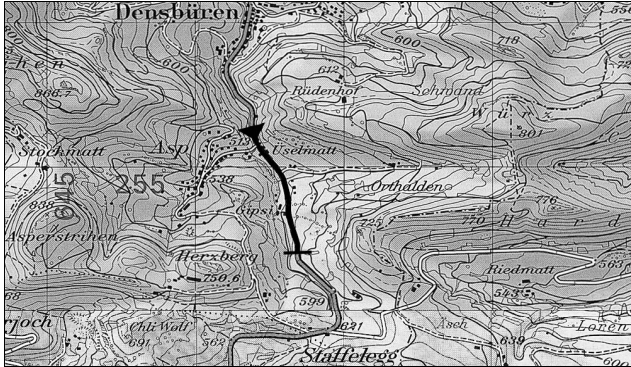


| Lastwagen ($\Delta t \geq 4 \text{ sec.} / L > 6.5 \text{ m}$) | | | | | |
|--|---------|---------|--|--|--|
| Querschnitt | QS 1 | QS 2 | | | |
| V-Bereich | 45 - 95 | 35 - 85 | | | |
| Anzahl Fz. | 60 | 53 | | | |
| V_M | 68.5 | 67.3 | | | |
| Standardabw. | 10.1 | 10.0 | | | |
| $V_{05\%}$ | 53.0 | 45.0 | | | |
| $V_{15\%}$ | 58.0 | 59.0 | | | |
| $V_{50\%}$ | 68.0 | 68.0 | | | |
| $V_{85\%}$ | 78.0 | 78.0 | | | |
| $V_{95\%}$ | 86.0 | 83.0 | | | |



UNTERSUCHUNGSTRECKE

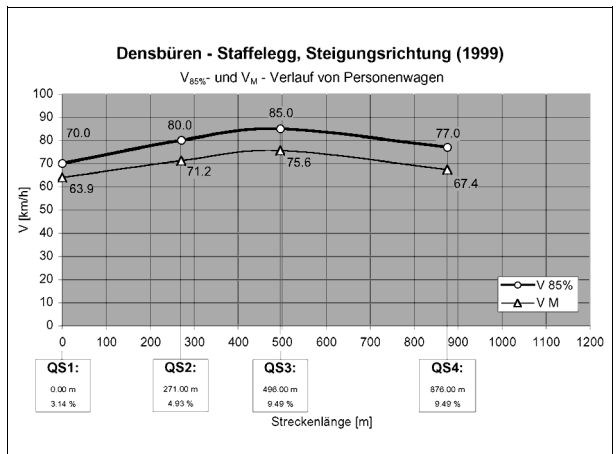
| | |
|---|-------------------------------|
| 19 | Densbüren - Staffelegg |
| Steigungsrichtung / $i_{\text{massg.}}$ 9.5 % | |



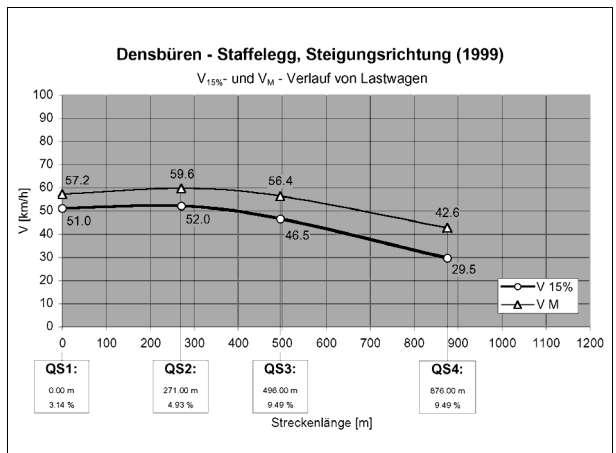
Messergebnisse Steigungsrichtung 1999

| | | | | |
|--------------------------|--------|---------|---------|---------|
| Neigung bei Querschnitt: | 3.14 % | 4.93 % | 9.49 % | 9.49 % |
| Dist. zu Nullpunkt: | 0.0 m | 271.0 m | 496.0 m | 876.0 m |

| Personenwagen ($\Delta t \geq 4 \text{ sec.} / L \leq 6.5 \text{ m}$) | | | | | | |
|---|---------|---------|----------|----------|--|--|
| Querschnitt | QS 1 | QS 2 | QS 3 | QS 4 | | |
| V-Bereich | 30 - 95 | 30 - 95 | 30 - 110 | 30 - 100 | | |
| Anzahl Fz. | 389 | 261 | 344 | 400 | | |
| V_M | 63.9 | 71.2 | 75.6 | 67.4 | | |
| Standardabw. | 7.0 | 9.3 | 10.3 | 10.0 | | |
| $V_{05\%}$ | 54.5 | 58.0 | 58.0 | 50.0 | | |
| $V_{15\%}$ | 57.5 | 64.0 | 65.5 | 58.0 | | |
| $V_{50\%}$ | 64.0 | 71.0 | 76.0 | 67.5 | | |
| $V_{85\%}$ | 70.0 | 80.0 | 85.0 | 77.0 | | |
| $V_{95\%}$ | 75.5 | 85.0 | 92.0 | 82.5 | | |

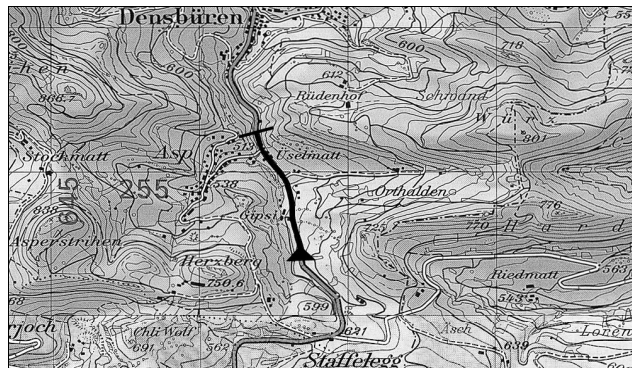


| Lastwagen ($\Delta t \geq 4 \text{ sec.} / L > 6.5 \text{ m}$) | | | | | | |
|--|---------|---------|---------|---------|--|--|
| Querschnitt | QS 1 | QS 2 | QS 3 | QS 4 | | |
| V-Bereich | 30 - 80 | 20 - 80 | 20 - 80 | 15 - 70 | | |
| Anzahl Fz. | 102 | 85 | 82 | 102 | | |
| V_M | 57.2 | 59.6 | 56.4 | 42.6 | | |
| Standardabw. | 7.6 | 8.1 | 9.7 | 12.0 | | |
| $V_{05\%}$ | 45.5 | 46.0 | 41.0 | 26.0 | | |
| $V_{15\%}$ | 51.0 | 52.0 | 46.5 | 29.5 | | |
| $V_{50\%}$ | 57.5 | 60.0 | 57.0 | 41.0 | | |
| $V_{85\%}$ | 64.0 | 69.0 | 65.5 | 55.0 | | |
| $V_{95\%}$ | 68.5 | 71.0 | 70.5 | 64.5 | | |



UNTERSUCHUNGSTRECKE

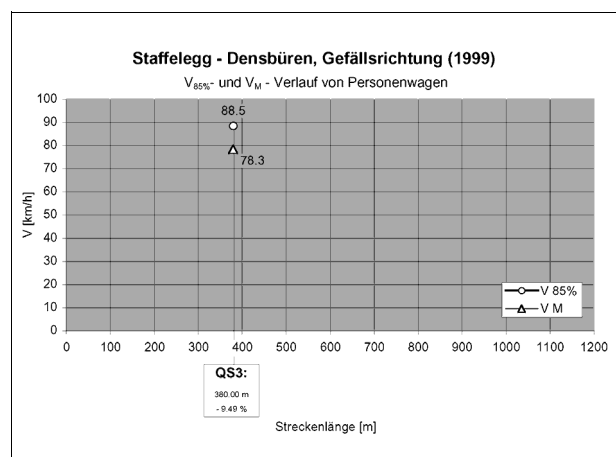
| | |
|---|-------------------------------|
| 19 | Staffelegg - Densbüren |
| Gefällsrichtung / $i_{\text{massg.}} - 9.5\%$ | |



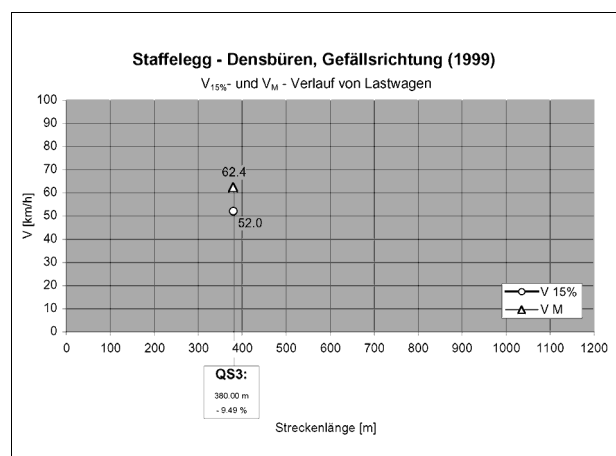
Messergebnisse Gefällsrichtung 1999

Neigung bei Querschnitt: - 9.49 %
 Dist. zu Nullpunkt: 496.0 m

| Personenwagen ($\Delta t \geq 4 \text{ sec.} / L \leq 6.5 \text{ m}$) | | | | | |
|---|----------|--|--|--|--|
| Querschnitt | QS 3 | | | | |
| V-Bereich | 30 - 120 | | | | |
| Anzahl Fz. | 321 | | | | |
| V_M | 78.3 | | | | |
| Standardabw. | 10.5 | | | | |
| $V_{05\%}$ | 62.5 | | | | |
| $V_{15\%}$ | 68.0 | | | | |
| $V_{50\%}$ | 78.0 | | | | |
| $V_{85\%}$ | 88.5 | | | | |
| $V_{95\%}$ | 95.0 | | | | |



| Lastwagen ($\Delta t \geq 4 \text{ sec.} / L > 6.5 \text{ m}$) | | | | | |
|--|---------|--|--|--|--|
| Querschnitt | QS 3 | | | | |
| V-Bereich | 20 - 90 | | | | |
| Anzahl Fz. | 78 | | | | |
| V_M | 62.4 | | | | |
| Standardabw. | 13.5 | | | | |
| $V_{05\%}$ | 32.0 | | | | |
| $V_{15\%}$ | 52.0 | | | | |
| $V_{50\%}$ | 63.5 | | | | |
| $V_{85\%}$ | 76.0 | | | | |
| $V_{95\%}$ | 83.0 | | | | |

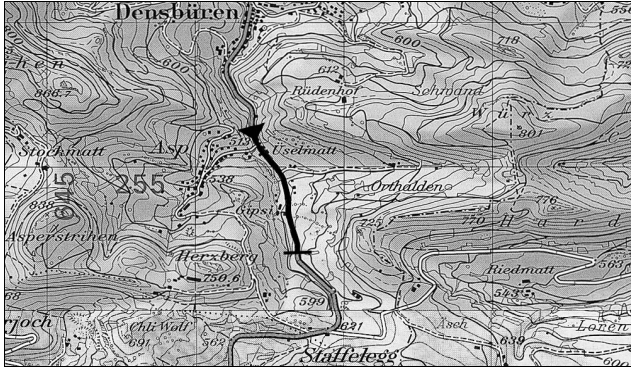


Bemerkungen

Messung in QS 3 erfolgte gleichzeitig mit Messung in Steigungsrichtung

UNTERSUCHUNGSTRECKE

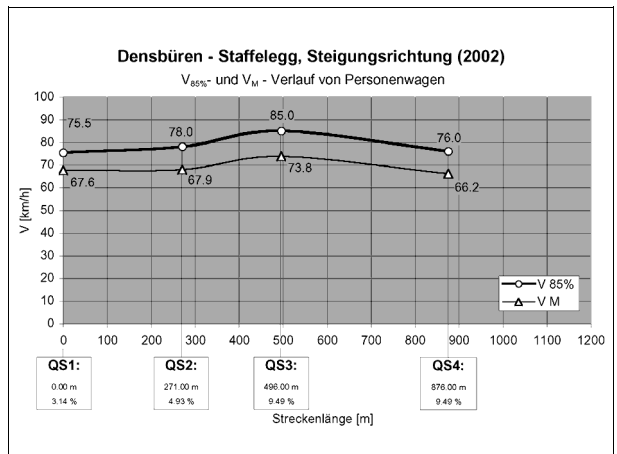
| | |
|---|-------------------------------|
| 19 | Densbüren - Staffelegg |
| Steigungsrichtung / $i_{\text{massg.}}$ 9.5 % | |



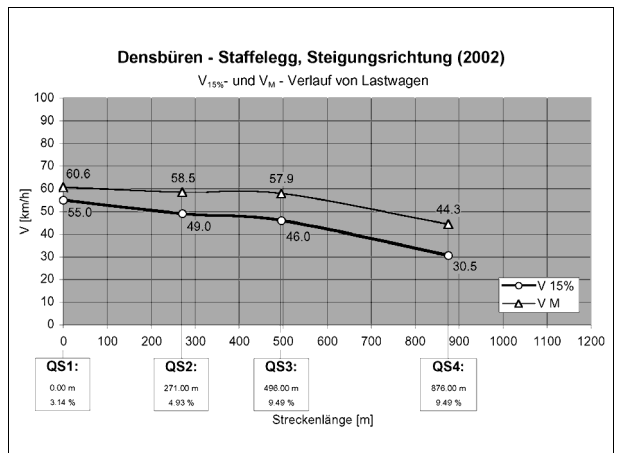
Messergebnisse Steigungsrichtung 2002

| | | | | |
|--------------------------|--------|---------|---------|---------|
| Neigung bei Querschnitt: | 3.14 % | 4.93 % | 9.49 % | 9.49 % |
| Dist. zu Nullpunkt: | 0.0 m | 271.0 m | 496.0 m | 876.0 m |

| Personenwagen ($\Delta t \geq 4 \text{ sec.} / L \leq 6.5 \text{ m}$) | | | | | | |
|---|---------|---------|----------|----------|--|--|
| Querschnitt | QS 1 | QS 2 | QS 3 | QS 4 | | |
| V-Bereich | 30 - 95 | 30 - 95 | 30 - 110 | 30 - 100 | | |
| Anzahl Fz. | 385 | 375 | 325 | 349 | | |
| V_M | 67.6 | 67.9 | 73.8 | 66.2 | | |
| Standardabw. | 7.6 | 9.7 | 12.1 | 10.1 | | |
| $V_{05\%}$ | 56.0 | 53.0 | 51.0 | 46.5 | | |
| $V_{15\%}$ | 61.0 | 59.0 | 65.0 | 57.0 | | |
| $V_{50\%}$ | 67.0 | 68.0 | 74.0 | 67.0 | | |
| $V_{85\%}$ | 75.5 | 78.0 | 85.0 | 76.0 | | |
| $V_{95\%}$ | 80.0 | 84.0 | 90.0 | 81.5 | | |

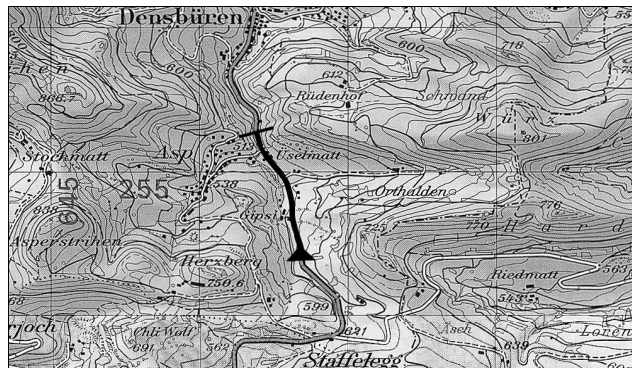


| Lastwagen ($\Delta t \geq 4 \text{ sec.} / L > 6.5 \text{ m}$) | | | | | | |
|--|---------|---------|---------|---------|--|--|
| Querschnitt | QS 1 | QS 2 | QS 3 | QS 4 | | |
| V-Bereich | 30 - 80 | 20 - 80 | 20 - 80 | 15 - 70 | | |
| Anzahl Fz. | 99 | 87 | 86 | 87 | | |
| V_M | 60.6 | 58.5 | 57.9 | 44.3 | | |
| Standardabw. | 7.1 | 10.3 | 11.8 | 12.1 | | |
| $V_{05\%}$ | 46.0 | 38.0 | 35.0 | 25.0 | | |
| $V_{15\%}$ | 55.0 | 49.0 | 46.0 | 30.5 | | |
| $V_{50\%}$ | 61.5 | 61.0 | 58.0 | 44.5 | | |
| $V_{85\%}$ | 67.5 | 68.0 | 70.0 | 57.0 | | |
| $V_{95\%}$ | 70.0 | 70.0 | 74.0 | 62.5 | | |



UNTERSUCHUNGSSTRECKE

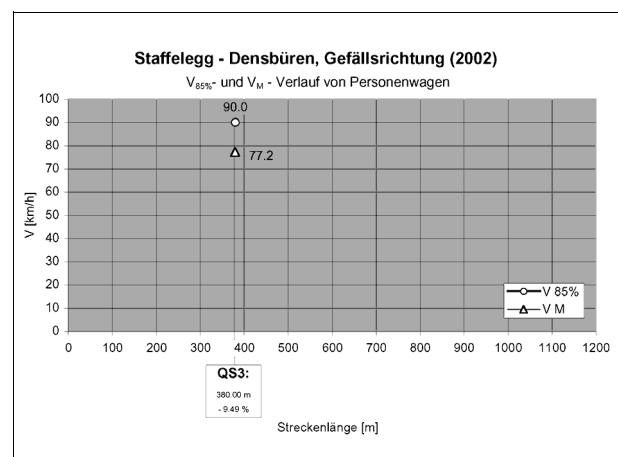
| | |
|---|-------------------------------|
| 19 | Staffelegg - Densbüren |
| Gefällsrichtung / $i_{\text{massg.}} - 9.5\%$ | |



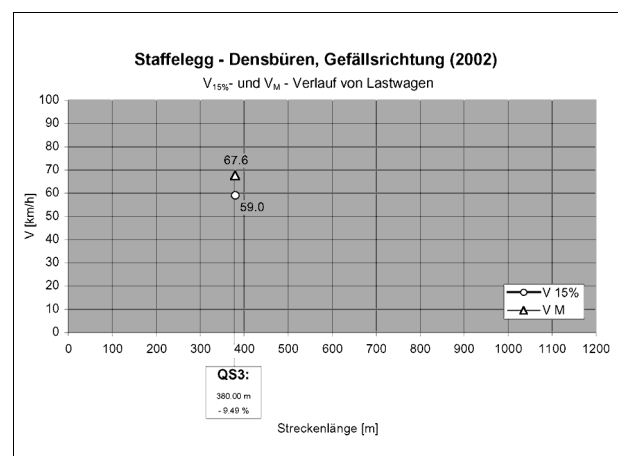
Messergebnisse Gefällsrichtung 2002

Neigung bei Querschnitt: - 9.49 %
 Dist. zu Nullpunkt: 496.0 m

| Personenwagen ($\Delta t \geq 4 \text{ sec.} / L \leq 6.5 \text{ m}$) | | | | | |
|---|----------|--|--|--|--|
| Querschnitt | QS 3 | | | | |
| V-Bereich | 30 - 120 | | | | |
| Anzahl Fz. | 209 | | | | |
| V_M | 77.2 | | | | |
| Standardabw. | 13.2 | | | | |
| $V_{05\%}$ | 53.0 | | | | |
| $V_{15\%}$ | 67.0 | | | | |
| $V_{50\%}$ | 76.0 | | | | |
| $V_{85\%}$ | 90.0 | | | | |
| $V_{95\%}$ | 101.0 | | | | |



| Lastwagen ($\Delta t \geq 4 \text{ sec.} / L > 6.5 \text{ m}$) | | | | | |
|--|---------|--|--|--|--|
| Querschnitt | QS 3 | | | | |
| V-Bereich | 20 - 90 | | | | |
| Anzahl Fz. | 48 | | | | |
| V_M | 67.6 | | | | |
| Standardabw. | 9.5 | | | | |
| $V_{05\%}$ | 53.0 | | | | |
| $V_{15\%}$ | 59.0 | | | | |
| $V_{50\%}$ | 66.0 | | | | |
| $V_{85\%}$ | 78.0 | | | | |
| $V_{95\%}$ | 85.0 | | | | |

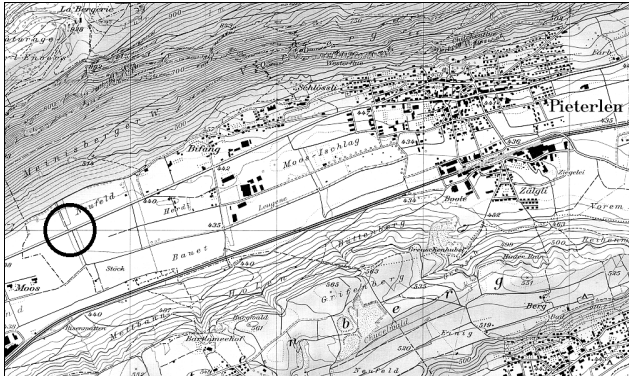


Bemerkungen

Messung in QS 3 erfolgte gleichzeitig mit Messung in Steigungsrichtung

ERGÄNZENDE RADARMESSUNGEN

| | |
|---------------------------------------|--|
| 602 | Pieterlen / $i_{\text{massg.}} 0.4 \%$ |
| <i>Steigungs- und Gefällsrichtung</i> | |



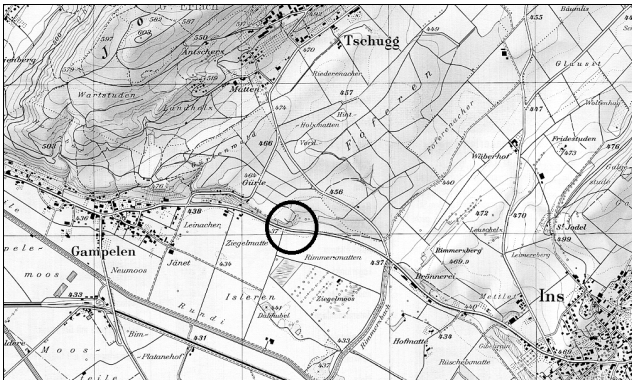
Radarmessungen

| Personenwagen ($\Delta t \geq 7 \text{ sec.}$) | | | |
|--|---------------------|------------|--------------------------|
| Richtung | $i_{\text{massg.}}$ | Anzahl Fz. | $V_{85\%} [\text{km/h}]$ |
| Grenchen | 0.4 | 104 | 87.6 |
| Pieterlen | - 0.4 | 102 | 85.8 |

| Lastwagen ($\Delta t \geq 7 \text{ sec.}$) | | | |
|--|---------------------|------------|--------------------------|
| Richtung | $i_{\text{massg.}}$ | Anzahl Fz. | $V_{15\%} [\text{km/h}]$ |
| Grenchen | 0.4 | 28 | 67.9 |
| Pieterlen | - 0.4 | 24 | 71.3 |

ERGÄNZENDE RADARMESSUNGEN

| | |
|---------------------------------------|---------------------------------------|
| 12 B | Gampelen / $i_{\text{massg.}} 0.8 \%$ |
| <i>Steigungs- und Gefällsrichtung</i> | |



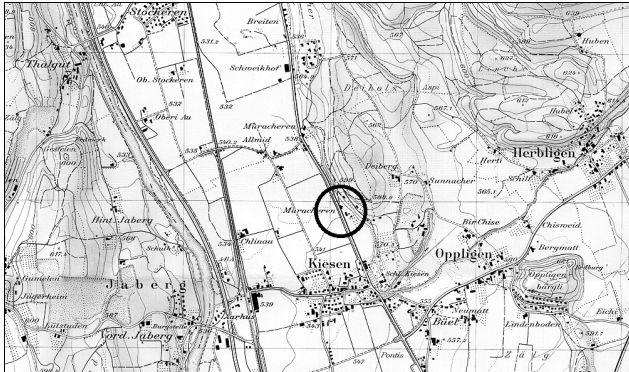
Radarmessungen

| Personenwagen ($\Delta t \geq 7 \text{ sec.}$) | | | |
|--|---------------------|------------|-------------------|
| Richtung | $i_{\text{massg.}}$ | Anzahl Fz. | $V_{85\%}$ [km/h] |
| Gampelen | 0.8 | 91 | 92.0 |
| Ins | - 0.8 | 87 | 90.6 |

| Lastwagen ($\Delta t \geq 7 \text{ sec.}$) | | | |
|--|---------------------|------------|-------------------|
| Richtung | $i_{\text{massg.}}$ | Anzahl Fz. | $V_{15\%}$ [km/h] |
| Gampelen | 0.8 | 37 | 67.2 |
| Ins | - 0.8 | 42 | 63.7 |

ERGÄNZENDE RADARMESSUNGEN

| | |
|------------------------|-------------------------------------|
| 748 | Kiesen / $i_{\text{massg.}} 1.0 \%$ |
| Gefällsrichtung | |



Radarmessungen

Personenwagen ($\Delta t \geq 7 \text{ sec.}$)

| Richtung | $i_{\text{massg.}}$ | Anzahl Fz. | $V_{85\%}$ [km/h] |
|----------|---------------------|------------|-------------------|
| Bern | - 1.0 | 50 | 84.0 |

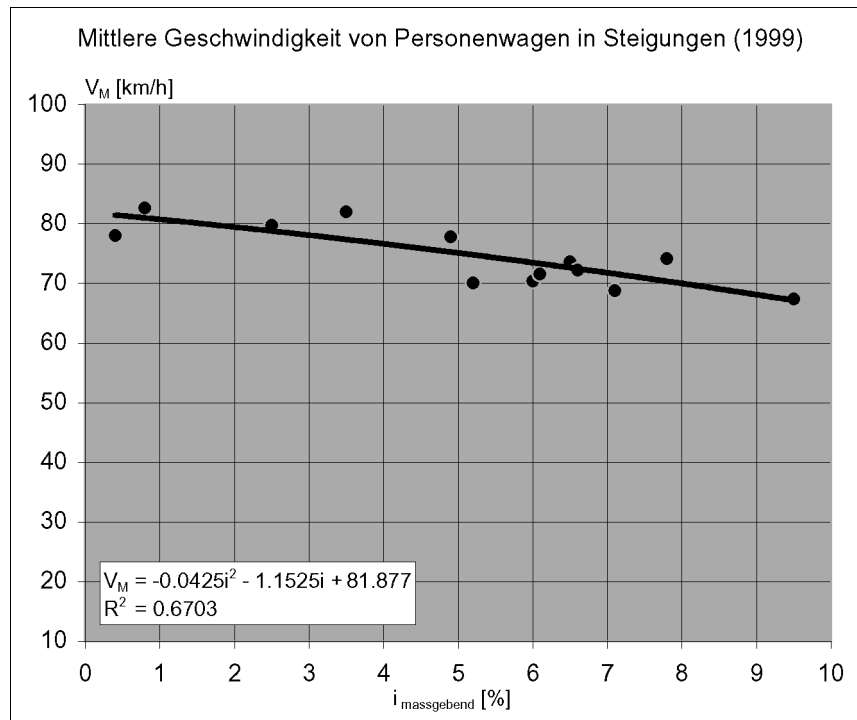
Lastwagen ($\Delta t \geq 7 \text{ sec.}$)

| Richtung | $i_{\text{massg.}}$ | Anzahl Fz. | $V_{15\%}$ [km/h] |
|----------|---------------------|------------|-------------------|
| Bern | - 1.0 | 10 | 65.0 |

ERGÄNZENDE REGRESSIONSBERECHNUNGEN

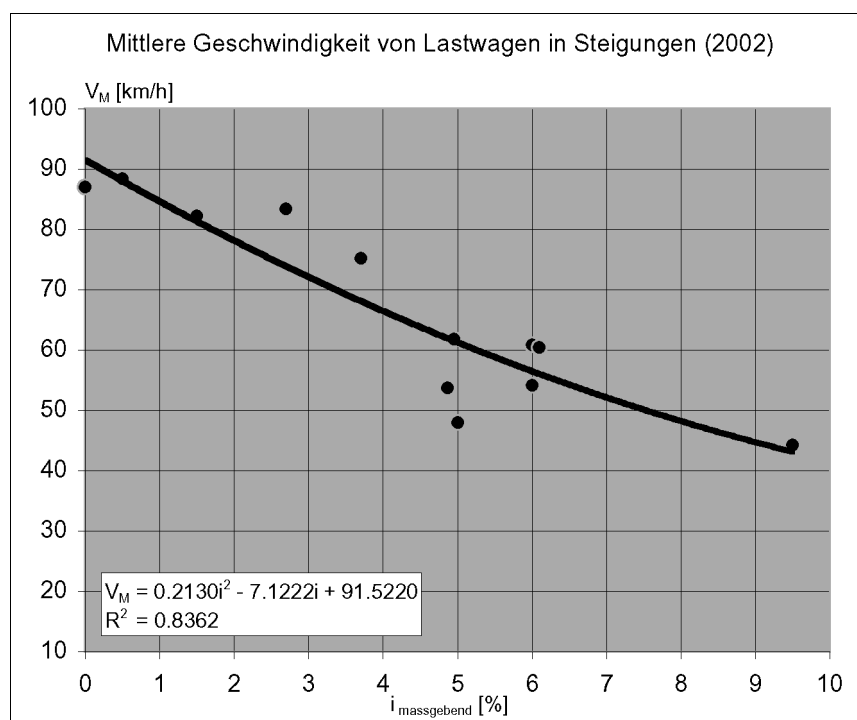
Mittlere Geschwindigkeiten von Personenwagen in Steigungen (1999)

(nach quadratischem Ansatz)



Mittlere Geschwindigkeiten von Lastwagen in Steigungen (2002)

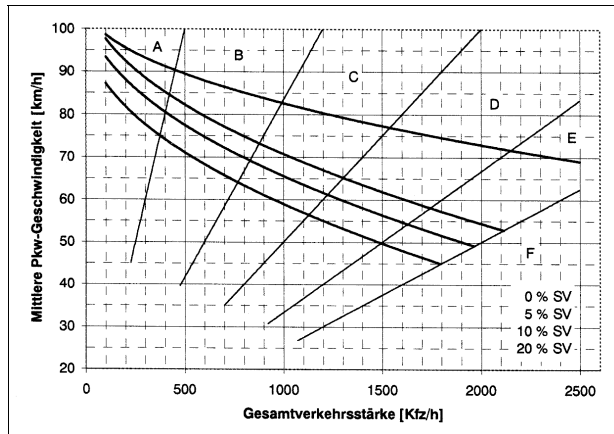
(nach quadratischem Ansatz)



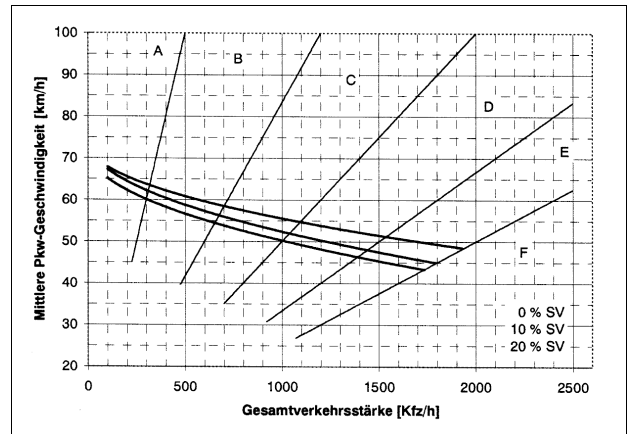
Q-V-DIAGRAMME GEMÄSS HBS 2001 [16]

Steigungsklasse 3

Kurvigkeit 0 – 75 gon/km

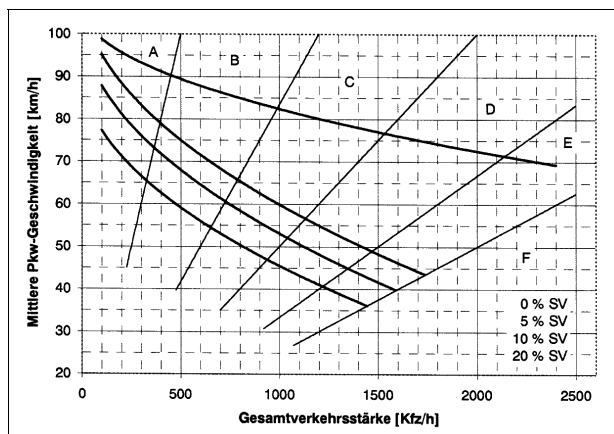


Kurvigkeit 150 – 225 gon/km

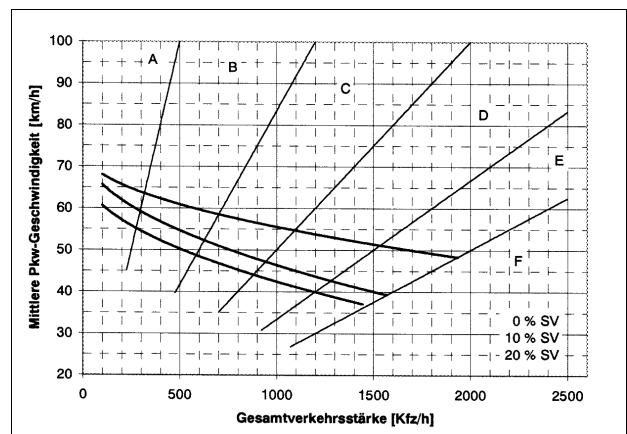


Steigungsklasse 4

Kurvigkeit 0 – 75 gon/km



Kurvigkeit 150 – 225 gon/km



STEIGUNGSSTRECKE AUF HAUPTSTRASSE A.O.

Normbeispiel aus bestehender Norm [3]

