

Evaluation dynamischer Geschwindigkeitsrückmeldung

Dipl.-Psych. cand.-Ing. Christoph Schulze

Dr. Tina Gehlert

Evaluation dynamischer Geschwindigkeitsrückmeldung

Dipl.-Psych. cand.-Ing. Christoph Schulze
Dr. Tina Gehlert

Die Unfallforschung der Versicherer veröffentlicht ihre
Forschungsergebnisse in den Reihen:

FS - Fahrzeugsicherheit

VI - Verkehrsinfrastruktur

VV - Verkehrsverhalten / Verkehrspsychologie

Impressum:

Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V.

Unfallforschung der Versicherer

Wilhelmstraße 43/43G, 10117 Berlin

Postfach 08 02 64, 10002 Berlin

E-Mail: unfallforschung@gdv.de

Internet: www.udv.de

ISBN-Nr.: 978-3-939163-27-5

Redaktion: Dr. Tina Gehlert

Gestaltung/Technik: Franziska Gerson Pereira

Druckerei: GDV e. V.

Berlin, März 2010

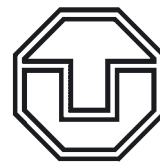
Im Auftrag der Unfallforschung der Versicherer (UDV)

Evaluation dynamischer Geschwindigkeitsrückmeldung

bearbeitet durch

Technische Universität Dresden
Fakultät Verkehrswissenschaften „Friedrich List“

Dipl.-Psych. cand.-Ing. Christoph Schulze



**TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN**

Bei der UDV betreut von:

Dr. Tina Gehlert

Inhalt

Abbildungen	6
Tabellen	8
Abstract	10
Kurzfassung	11
1 Problemlage und Fragestellungen	12
1.1 Beschreibung der untersuchten Anlagenformen	12
1.2 Beschreibung des Untersuchungsortes	13
2 Vorgehen	14
3 Ergebnisse	15
3.1 Beschreibung der Datengrundlage	15
3.2 Wirkungsvergleich der untersuchten Anlagenformen	17
3.2.1 Einzelwirksamkeit der Anlagen	17
3.2.2 Wirkungsvergleich der Anlagen	17
3.2.3 Bedeutsamkeit der gefundenen Effekte	18
3.2.4 Gewöhnungs- und Nachwirkungseffekte	19
3.2.5 Analyse der Geschwindigkeitsverteilungen	21
3.2.6 Analyse von frei fahrenden Fahrzeugen	24
4 Fazit	26
5 Empfehlungen	27
6 Literatur	28
7 Anhang	29
7.1 Analysen zur Interpretierbarkeit der Ergebnisse	29
7.1.1 Voraussetzungen aus dem Untersuchungsdesign	29
7.1.2 Fahrzeuganzahl und DTV	30
7.1.3 Zusammensetzung der Stichproben nach Fahrzeuglängen	31
7.1.4 Vergleich der Kontrollphasen	32

7.2	Einzelwirksamkeit der untersuchten Anlagen	35
7.2.1	Bezugsgröße zur Anlagenwirkung	36
7.2.2	Dialog-Display (DD)	36
7.2.3	Zweifarbiger Geschwindigkeitsanzeiger (GA 2farbig)	36
7.2.4	Einfarbiger Geschwindigkeitsanzeiger (GA 1farbig)	38
7.2.5	Effektstärke und ergänzende Kennwerte der Untersuchungsphasen	38
7.3	Trendanalysen	41
7.3.1	Vorgehen und Methodik am Beispiel der zweifarbigen Geschwindigkeitsanzeige (GA 2)	41
7.3.2	Ergebnisse der Regressionsanalysen aller drei Anlageformen	45
7.4	Analyse der Geschwindigkeitsverteilungen	47
7.4.1	Analyse der Anlagenwirkung Dialog-Display	48
7.4.2	Analyse der Anlagenwirkung Geschwindigkeitsanzeige 2farbig	49
7.4.3	Analyse der Anlagenwirkung Geschwindigkeitsanzeige 1farbig	50
7.5	Kennwerte auf Basis frei fahrender Fahrzeuge	50
7.5.1	Analysen zum zeitlichen Abgrenzungskriterium	51
7.5.2	Gegenüberstellung der Kennwerte für frei fahrende Fahrzeuge vs. das gesamte Fahrzeugkollektiv	53

Abbildungen

Abbildung 1:	Dialog-Display (DD) in beiden Anzeigezuständen	12
Abbildung 2:	Geschwindigkeitsanzeiger zweifarbig (GA 2) in beiden Anzeigezuständen	13
Abbildung 3:	Geschwindigkeitsanzeiger einfarbig (GA 1)	13
Abbildung 4:	Untersuchungsort Silbersteinstraße, Blick Richtung Hermannstraße	14
Abbildung 5:	Charakterisierung des Untersuchungsortes Berlin „Silbersteinstraße“	14
Abbildung 6:	Zusammensetzung nach Fahrzeuglängen, Treatmentphase DD, MP 204	16
Abbildung 7:	Wirkung des Treatments Dialog-Display (MP 204)	17
Abbildung 8:	Wirkungsvergleich der Anlagentypen anhand der Geschwindigkeitsreduktion (MP 204)	18
Abbildung 9:	Wirkungsvergleich der Anlagentypen anhand der Geschwindigkeitsüberschreitungen (MP 204)	18
Abbildung 10:	Effektstärke der Mittelwertreduzierung am MP 204	19
Abbildung 11:	Trends in den Untersuchungsphasen anhand Regressions- analyse, aufgetragen über den Tagesmittelwerten am MP 204	20
Abbildung 12:	Geschwindigkeitsverteilung der Treatmentphasen, MP 204	22
Abbildung 13:	Berechnung relativer Differenzen von Geschwindigkeitsverteilungen	22
Abbildung 14:	Relative Veränderung von Geschwindigkeitsverteilungen, MP 204	23
Abbildung 15:	Geschwindigkeitskennwerte für alle vs. frei fahrenden Fahrzeuge, Vorhermessung zu DD am MP 204	25
Abbildung 16:	Vergleich der mittleren Geschwindigkeit v_d frei fahrender vs. aller Fahrzeuge, MP 204	26

Abbildung 17:	DTV der Untersuchungsphasen geordnet nach Ferienanteil	31
Abbildung 18:	Wirkung Treatment Dialog-Display, MP 205	37
Abbildung 19:	Wirkung Treatment GA 2farbig, MP 204	37
Abbildung 20:	Wirkung Treatment GA 2farbig, MP 205	38
Abbildung 21:	Wirkung Treatment GA 1farbig, MP 204	39
Abbildung 22:	Wirkung Treatment GA 1farbig, MP 205	39
Abbildung 23:	Lineare Regression der Tagesmittelwerte v_d in Treatmentphase GA 2farbig	42
Abbildung 24:	Ergebnisse der Autokorrelation, links MP 204, rechts MP 205	43
Abbildung 25:	Ergebnisse der Spektralanalyse, oben MP 204, unten MP 205	44
Abbildung 26:	Vergleich der Untersuchungsphasen zum Dialog-Display (Differenz der realtiven Geschwindigkeitsverteilungen), MP 204	48
Abbildung 27:	Vergleich der Untersuchungsphasen zum Dialog-Display (Differenz der realtiven Geschwindigkeitsverteilungen), MP 205	48
Abbildung 28:	Vergleich der Untersuchungsphasen zum GA 2farbig (Differenz der realtiven Geschwindigkeitsverteilungen), MP 204	49
Abbildung 29:	Vergleich der Untersuchungsphasen zum GA 2farbig (Differenz der realtiven Geschwindigkeitsverteilungen), MP 205	49
Abbildung 30:	Vergleich der Untersuchungsphasen zum GA 1farbig (Differenz der realtiven Geschwindigkeitsverteilungen), MP 204	50
Abbildung 31:	Vergleich der Untersuchungsphasen zum GA 1farbig (Differenz der realtiven Geschwindigkeitsverteilungen), MP 205	50
Abbildung 32:	Geschwindigkeitsverteilung nach Abgrenzung „frei fahrend“ (Treatmentphase DD), MP 205	52
Abbildung 33:	Geschwindigkeitskennwerte für alle vs. frei fahrende Fahrzeuge	54

Tabellen

Tabelle 1:	Untersuchungsverlauf	15
Tabelle 2:	Durchschnittlicher täglicher Verkehr in Fz/24 h nach Untersuchungsphasen (MP 204)	16
Tabelle 3:	Zuordnung von Fahrzeugtypen zu Längenklassen	16
Tabelle 4:	Prinzip des realisierten Untersuchungsdesigns	29
Tabelle 5:	Fahrzeuganzahl je Versuchsphase	30
Tabelle 6:	DTV in Fz/24 h und Ferienanteil nach Untersuchungsphasen	30
Tabelle 7:	Zusammensetzung nach Fahrzeuglängen und Versuchsphasen am MP 204	32
Tabelle 8:	Zusammensetzung nach Fahrzeuglängen und Versuchsphasen am MP 205	33
Tabelle 9:	Vergleich der Kontrollphasen am MP204	33
Tabelle 10:	Vergleich der Kontrollphasen am MP 205	34
Tabelle 11:	Ergebnis des Vergleichs der Kontrollphasen (Effektstärke)	34
Tabelle 12:	Vergleichbarkeit aller Kontrollphasen, Werte beider MP berücksichtigt, ohne Nachhermessung zu Dialog-Display am MP 205	35
Tabelle 13:	Effektstärke und weiterführende Kennwerte am MP 204 für alle Anlagen	40
Tabelle 14:	Effektstärke und weitere Kennwerte am MP 205 für alle Anlagen	41
Tabelle 15:	Lineare Regression der Tagesmittelwerte	42
Tabelle 16:	Regressionsanalysen aller Untersuchungsphasen am MP 204	46

Tabelle 17:	Regressionsanalysen aller Untersuchungsphasen am MP 205	46
Tabelle 18:	Verteilungsanalyse der Untersuchungsphasen: klassierte relative Häufigkeiten	47
Tabelle 19:	Geschwindigkeitskennwerte nach Abgrenzung „frei fahrend“ (Treatmentphase DD), MP 205	51
Tabelle 20:	Verteilungsanalyse in Abhängigkeit des Parameters „frei fahrend“, MP 205, Treatmentphase DD: klassierte relative Häufigkeiten (Grundlage zu Abbildung 32)	52
Tabelle 21:	Kennwerte nach Untersuchungsphasen für alle Fz und frei fahrende Fz im Vergleich	53

Abstract

There is considerable interest in new technology for reducing speed and improving traffic safety. The German Insurers Accident Research evaluated the effectiveness of three different types of Dynamic Speed Display Sign (DSDS) for reducing speed:

- (1) the so-called Dialogue-Display, where a green “Thank you” message is displayed to drivers keeping the speed limit and a red “SLOW” message to drivers exceeding the speed limit,
- (2) a conventional Dynamic Speed Display Sign, where the figures are highlighted in red or green depending on the actual speed of the car driver and
- (3) a conventional Dynamic Speed Display Sign with neutral figures.

The different signs were installed one after the other at the same test location in Berlin. For each sign speed was measured one month before the installation, several months during operation and one month after dismantling. The effectiveness of the DSDS was tested using mean speed, 85th percentile speed and percent of the sample exceeding the speed limit were analysed. In addition, long-term effects, the effect on different speed ranges and free floating cars were analysed.

The results show that the Dialogue-Display reduced the average speed most followed by the coloured DSDS and the neutral DSDS. The same ranking of DSDS was observed for the 85th percentile speed and the percentage of vehicles exceeding the speed limit. After dismantling speed levels returned to its baseline for all three DSDS. For both types of conventional DSDS no long-term effect could be established. Only the Dialogue-Display showed stable long-term effects. All speed ranges were affected equally by the installation of the respective DSDS. That means car with high and low speed reduced their speed by the same amount. Finally, the effects on free floating cars were found be similar in nature.

Based on the results the German Insurers Accident Research recommends the so-called Dialogue-Display over conventional Dynamic Speed Display Signs for supporting overall traffic calming in sensitive urban areas such as school zones, residential areas or pedestrian crossings. The German Insurers Accident Research does not recommend any type of Dynamic Speed Display Sign for mitigating frequent accident sites. The development and application of a research model is recommended in order to be able to generalise the results to other sites and situations. Furthermore calculating effect sizes is recommended to compare the effects of different studies on DSDS and different types of measures for reducing speed.

Kurzfassung

Die Unfallforschung der Versicherer hat die Wirkung verschiedener Formen der dynamischen Geschwindigkeitsrückmeldung auf das Geschwindigkeitsverhalten untersucht. Dazu wurden an einem Standort nacheinander, unterbrochen von Kontrollphasen ohne sichtbare Messung, drei verschiedenen Anlagen installiert:

- (1) das Dialog-Display (DD),
- (2) eine bewertende dynamische Geschwindigkeitsanzeige, die mit rot oder grün hinterlegten Ziffern die Einhaltung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit signalisiert (GA 2) und
- (3) eine farblich neutrale dynamische Geschwindigkeitsanzeige (GA 1).

Als zentraler Messwert wurde die Geschwindigkeit aller vorbeifahrenden Fahrzeuge aufgezeichnet. Die Kennzeichnung der Anlagenwirkung erfolgte über die etablierten Kennwerte Durchschnittsgeschwindigkeit (v_d), 85. Perzentil der Geschwindigkeitsverteilung (v_{85}) und den Anteil von Fahrzeugen mit Überschreitung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit ($h_{\ddot{u}}$). Diese Ergebnisse wurden um Analysen von zeitabhängigen Effekten (Trendanalysen), Betrachtungen zu differenziellen Aspekten von Geschwindigkeitsverteilungen der Tagesmittelwerte sowie Untersuchungen unter ausschließlicher Betrachtung frei fahrender Fahrzeuge ergänzt.

Im Ergebnis zeigt sich über alle betrachteten Kennwerte eine eindeutige Rangreihung der Anlagenwirksamkeit. So wurde das Dialog-Display (DD) als wirksamste Anlage herausgestellt, gefolgt von der zweifarbigen Geschwindigkeitsanzeige (GA 2) und der einfarbigen Geschwindigkeitsanzeige (GA 1). Sowohl für die einfarbige als auch die zweifarbige Geschwindigkeitsanzeige werden negative Gewöhnungseffekte aufgezeigt. Das bedeutet, dass sich die Anlagenwirkung während der jeweiligen Untersuchungsphase abschwächt. Das Dialog-Display zeigt keine derartigen Gewöhnungseffekte. Die im Vergleich beste Wirkung des Dialog-Displays zeigt sich sowohl in der po-

sitiven Beeinflussung geringer wie größerer Geschwindigkeitsübertretungen. Die Wirkung der Anlagen auf frei fahrende Fahrzeuge ist etwa den Effekten bei Betrachtung aller Fahrzeuge vergleichbar.

Die ergänzenden Analysen erbrachten wertvolle Erkenntnisse und stellen eine sinnvolle Bereicherung des vorliegenden Anlagenvergleichs dar. Beispielsweise konnte durch Regressionsanalysen der Gewöhnungseffekt der Geschwindigkeitsanzeiger aufgezeigt werden. Weiterhin ermöglichten die differenziellen Verteilungsanalysen Aussagen über Wirkungsunterschiede im Bereich geringer Geschwindigkeitsübertretungen von $v=31$ bis 33 km/h.

Abschließend werden Empfehlungen für den praktischen Einsatz und die Evaluation von Anlagen zur dynamischen Geschwindigkeitsrückmeldung gegeben. Das Dialog-Display wird als ein adäquates Mittel angesehen, um innerhalb von Ortschaften verträgliche Geschwindigkeiten in sensiblen Bereichen, z. B. in der Nähe sozialer Einrichtungen, zu unterstützen. Der Einsatz von dynamischen Geschwindigkeitsanzeigen ist (sowohl Dialog-Display als auch km/h-Anzeige) für die Entschärfung von Unfallschwerpunkten nicht geeignet. Um die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Standorte und Verkehrssituationen zu ermöglichen, wird die Entwicklung und Anwendung eines Wirkmodells dynamischer Geschwindigkeitsbeeinflussung angeregt. Für den Vergleich der Anlagenwirkung mit anderen Maßnahmen zur Geschwindigkeitsbeeinflussung (z. B. Polizeikontrollen) wird die Verwendung von Effektstärken als Maß der praktischen Bedeutsamkeit empfohlen.

1 Problemlage und Fragestellungen

In der vorliegenden Untersuchung werden drei Anlagenformen zur dynamischen Rückmeldung der Geschwindigkeit analysiert und in ihrer Wirkung verglichen. Die Auswertungen beinhalten sowohl etablierte Kenngrößen wie die Durchschnittsgeschwindigkeit (v_d), das 85. Perzentil der Geschwindigkeitsverteilung (v_{85}) und den Anteil von Fahrzeugen mit Überschreitung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit (h_{ij}) (vgl. Schlag, Stern, Butterwegge & Degener, 2009). Ergänzend werden weitere Kennwerte auf Basis von Geschwindigkeitsmesswerten betrachtet und auf ihren Mehrwert für die Wirkungsanalyse untersucht. Der Arbeit lagen damit folgende Fragen zu Grunde:

- (1) Wie stellt sich die Wirkung der drei verschiedenen Anlagenformen unter Verwendung etablierter Parameter im Vergleich dar?
- (2) Welche weiteren Kennwerte und Analysen liefern einen bedeutsamen Beitrag zur Wirkungsbetrachtung vergleichbarer Anlagen?

Für die Darstellung der psychologischen Hintergründe zur Wirkung von dynamischen Rückmeldungen und den Konsequenzen für die Verkehrssicherheit sei auf den Forschungsbericht VV01 der UDV verwiesen (Schlag, Stern, Butterwegge & Degener, 2009).



Abbildung 1: Dialog-Display (DD) in beiden Anzeigezuständen

1.1 Beschreibung der untersuchten Anlagenformen

Anlagen zur dynamischen Rückmeldung der Geschwindigkeit zeichnen sich durch eine für jedes Fahrzeug individualisierte Anzeige aus. Der Anzeigehalt wird auf Basis der tatsächlich gefahrenen Geschwindigkeit für jedes Fahrzeug generiert. In der Praxis existieren mehrere Formen solcher Anlagen. Das offensichtlichste Unterscheidungsmerkmal betrifft die Art der Geschwindigkeitsanzeige:

- a) Anzeige einer verbalen Bewertung bzw. Aufforderung (Dialog-Display, vgl. Abbildung 1)
- b) Anzeige der gemessenen Geschwindigkeit als Zahlenwert (Abbildung 2 und Abbildung 3)

Das Dialog-Display (Abbildung 1) zeigt vorbeifahrenden Fahrzeugen eine Verhaltensaufforderung auf Basis der gemessenen Fahrzeuggeschwindigkeit. Bei Einhaltung der zugelassenen Höchstgeschwindigkeit erhält der Fahrzeugführer eine positive Rückmeldung, beim Überschreiten dagegen eine negative. Die Rückmeldung wird emotional durch die Farbgestaltung unterstützt und berücksichtigt explizit die lokal gültige Höchstgeschwindigkeit.



Abbildung 2: Geschwindigkeitsanzeiger zweifarbig (GA 2) in beiden Anzeigezuständen



Abbildung 3: Geschwindigkeitsanzeiger einfarbig (GA 1)

Der zweifarbiges Geschwindigkeitsanzeiger (Abbildung 2) meldet vorbeifahrenden Fahrzeugen die gemessene Geschwindigkeit als Zahlenwert zurück. Die Rückmeldung wird ebenfalls emotional durch die Farbgestaltung unterstützt und berücksichtigt explizit die lokal gültige Höchstgeschwindigkeit. Bei Einhaltung der zugelassenen Höchstgeschwindigkeit wird der Zahlenwert grün hinterlegt, beim Überschreiten rot.

Der einfarbiges Geschwindigkeitsanzeiger (Abbildung 3) zeigt ebenfalls den Zahlenwert der Geschwindigkeit. Die Anzeige erfolgt jeweils in neutraler Farbgebung ohne Bezug zur erlaubten Höchstgeschwindigkeit.

Die betrachteten Anlagen unterscheiden sich vor allem dadurch, ob und wie sie eine Beziehung zwischen gemessener Geschwindigkeit des Fahrzeugs und erlaubter Höchstgeschwindigkeit herstellen. Eng damit verbunden

ist der Interpretationsspielraum den die Rückmeldungen im Hinblick auf das gewünschte Verhalten bieten (Schlag, Stern, Butterwegge & Degener, 2009). Der einfarbiges Geschwindigkeitsanzeiger überlässt die Interpretation, ob es sich bei der angezeigten Geschwindigkeit um einen korrekturbedürftigen Wert der Geschwindigkeit handelt, vollständig dem Fahrzeugführer. Der zweifarbiges Geschwindigkeitsanzeiger grenzt Übertretungen durch die Farbgebung der Anzeige vom erlaubten Bereich ab, stellt damit jedoch auch keine explizite Handlungsaufforderung dar. Das Dialog-Display schließlich nimmt durch seinen Anzeigehalt alle Interpretationsspielräume. Hier wird bei Übertretung kein Geschwindigkeitswert, sondern eine direkte Verhaltensaufforderung zur Korrektur der Geschwindigkeit rückgemeldet.

1.2 Beschreibung des Untersuchungs-ortes

Beim Untersuchungsort „Silbersteinstraße“ in Berlin handelt es sich in der Kennzeichnung nach RAST 06 (FGSV, 2007) um eine einbahnig-zweistreifige Quartierstraße als Hauptverkehrsstraße. Für die verkehrstechnische Einordnung sind die überwiegend geschlossene und dichte Bebauung sowie eine gemischte Nutzung aus Wohnen, Gewerbe und Dienstleistung wichtig.

Hieraus ergeben sich Fußgängerlängs- und -querverkehr in bedeutsamer Ausprägung sowie eine hohe Parkraumnachfrage im Straßenraum. Weiterhin ist Linienbusverkehr mit Haltestellen im betrachteten Straßenabschnitt

vorhanden (vgl. Abbildung 5). Diese Abbildung zeigt auch die Lage des Untersuchungsquerschnittes (Messpunkt 204/205, je eine Anlage pro Richtung).

Im gesamten Untersuchungsbereich der Silbersteinstraße ist eine hohe Dichte an Verkehrszeichen anzutreffen, Abbildung 4 zeigt dies exemplarisch für den Blick auf MP 204 (hier mit DD rechts im Bild) und darüber hinaus in Richtung Fußgängerüberweg/Hermannstraße. Bei Interpretation der Ergebnisse ist daher zu beachten, dass es sich bei allen Phasen um „beschilderte“ Situationen handelte, in denen die erlaubte Höchstgeschwindigkeit von $v = 30 \text{ km/h}$ den Verkehrsteilnehmern über statische Verkehrszeichen und Markierungen (Wiedergabe von



Abbildung 4: Untersuchungsort Silbersteinstraße, Blick Richtung Hermannstraße

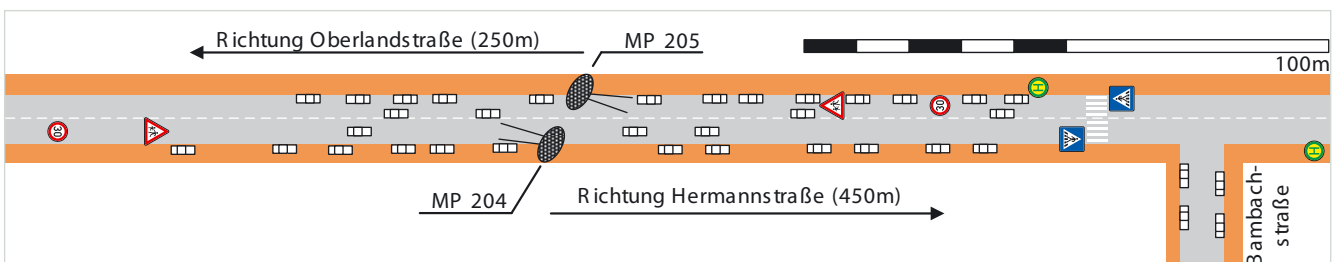


Abbildung 5: Charakterisierung des Untersuchungsortes Berlin „Silbersteinstraße“

Verkehrsschildern auf der Fahrbahn, vgl. Abbildung 5) signalisiert wurde. Alle Untersuchungsergebnisse sind in diesem Sinne als „Zusatzwirkung“ am konkreten Standort anzusehen. Zu benennen ist auch der Fußgängerüberweg in unmittelbarer Nähe zum Untersuchungsquerschnitt. Schließlich sei auf die Kindertageseinrichtung auf Höhe MP 204 hingewiesen, auf die ortskundige Fahrer durch das verwendete Bild des Dialog-Displays aufmerksam gemacht werden (vgl. Abbildung 1).

gen fungierten jeweils als Vorher- und Nachhermessung. Jedes Treatment bestand aus einer Anlage je Fahrtrichtung (MP 204, MP 205). Die Belastbarkeit und Interpretation von Ergebnissen aus Zeitreihenuntersuchungen ohne einen Kontrollstandort ist an Randbedingungen geknüpft. Zentral ist die zeitliche Stabilität der Messwerte in den Kontrollphasen und zwischen den Kontrollphasen (ausführliche Darstellung und Diskussion in Kapitel 7.1). Diese Voraussetzungen wurden entsprechend geprüft (siehe Kapitel 3.2.4).

2 Vorgehen

Die drei Formen dynamischer Geschwindigkeitsrückmeldung wurden im Zeitraum Dezember 2007 bis September 2009 installiert. Der Untersuchungsplan entsprach einem Zeitreihenveränderungsdesign (vgl. Tabelle 1). Abschnitte ohne sichtbare Anzeigen (Kontrollphasen) wechselten mit denen der verschiedenen Anlagenformen (Treatmentphasen). Die Abschnitte ohne sichtbare Anzei-

Im gesamten Untersuchungsverlauf wurde die Geschwindigkeit aller vorbeifahrenden Fahrzeuge mittels Seitenradar an den Anlagen gemessen und aufgezeichnet. Da es abgesehen von der Vorbeifahrt am Messquerschnitt keinerlei Voraussetzung für die „Teilnahme“ an der Untersuchung gab, handelt es sich im untersuchungstheoretischen Sinne um Gelegenheitsstichproben. Die Messung war für die Verkehrsteilnehmer in den Kontrollphasen (Vorher- bzw. Nachhermessung) nicht

Phase	DD	GA 2	GA 1
Vorhermessung	12.12.07 - 21.01.08 (5 Wochen)	05.02.09 - 04.03.09 (4 Wochen)	15.05.09 - 29.06.09 (6 Wochen)
Treatment	22.01.08 - 29.04.08 (14 Wochen)	05.03.09 - 14.05.09 (10 Wochen)	29.06.09 - 01.09.09 (9 Wochen)
Nachhermessung	30.04.08 - 10.11.08 (27 Wochen)	15.05.09 - 26.06.09 (6 Wochen)	02.09.09 - 29.09.09 (4 Wochen)

Tabelle 1: Untersuchungsverlauf

ersichtlich. In den Treatmentphasen erfolgte eine Rückmeldung entsprechend der jeweiligen Anlage. Zu jedem Fahrzeug wurden weitere Informationen mitgezeichnet, so dass ein Datenfall folgende Punkte enthielt:

- Datum (TT:MM:JJJJ)
- Uhrzeit (hh:mm:ss)
- Geschwindigkeit (in km/h)
- Fahrzeuglänge (in m)

Auf Basis dieser Messdaten wurde die Wirkung der verschiedenen Anlagenformen einzeln ausgewertet und miteinander verglichen. Als Untersuchungsparameter wurden zunächst folgende Geschwindigkeitsmaße verwendet (Schlag, Stern, Butterwegge & Degener, 2009):

- Durchschnittsgeschwindigkeit: v_d (arithmetisches Mittel der Geschwindigkeit) in km/h
- 85. Perzentil der Geschwindigkeitsverteilung: v_{85} in km/h
- Anteil von Fahrzeugen mit Überschreitung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit: $h_{\ddot{u}}$ in %.

Darüber hinaus wurden folgende Kennwerte berechnet und ergänzende Bewertungen und Vergleiche vorgenommen:

- Durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke (DTV), siehe Kapitel 3.1 und 7.1.2
- Zusammensetzung des Fahrzeugkollektivs nach Fahrzeuglängen, siehe Kapitel 3.1 und 7.1.3
- Effektstärke der Mittelwertunterschiede, siehe Kapitel 3.2.3 und 7.2.5
- Lineare Regression der Tagesmittelwerte, siehe Kapitel 3.2.4 und 7.3

- Differenzen zwischen Geschwindigkeitsverteilungen, siehe Kapitel 3.2.5 und 7.4
- Spannweite der Geschwindigkeitsverteilungen, siehe Kapitel 7.2.5
- Standardabweichung der Geschwindigkeitsverteilungen, siehe Kapitel 7.2.5
- Schiefe der Geschwindigkeitsverteilungen, siehe Kapitel 7.2.5
- Wölbung der Geschwindigkeitsverteilungen, siehe Kapitel 7.2.5
- Autokorrelationsanalyse der Tagesmittelwerte, siehe Kapitel 7.3.1
- Spektralanalyse der Tagesmittelwerte, siehe Kapitel 7.3.1.

3 Ergebnisse

3.1 Beschreibung der Datengrundlage

Im gesamten Untersuchungszeitraum passierten 4.034.618 Fahrzeuge den Untersuchungsquerschnitt. Tabelle 2 stellt exemplarisch für die Fahrtrichtung Richtung Herrmannstraße (MP 204) die durchschnittliche tägliche Fahrzeuganzahl (DTV) in den Untersuchungsphasen dar (vgl. Kapitel 7.1.2 für ausführliche Beschreibung der Datengrundlage).

Die DTV-Werte der einzelnen Phasen bewegen sich zwischen 3.200 und 3.900 Fahrzeugen. Das entspricht einer Schwankungsbreite um den Gesamtmittelwert von nur etwa $\pm 10\%$. Insgesamt ist die Variabilität im Verkehrsaufkommen zwischen den einzelnen Phasen also als gering anzusehen. Somit kann von einer guten Vergleichbarkeit der Untersuchungsbedingungen ausgegangen

Phase	DD	GA 2	GA 1
Vorhermessung	3.349	3.398	3.818
Treatment	3.667	3.706	3.620
Nachhermessung	3.744	3.818	3.870

Tabelle 2: Durchschnittlicher täglicher Verkehr in Fz/24 h nach Untersuchungsphasen (MP 204)

werden. Über die Ursachen der beobachteten Schwankungen lässt sich nur spekulieren. Plausibel erscheint der Einfluss des Anteils der Ferienzeiten in den jeweiligen Untersuchungsphasen (vgl. Kapitel 7.1.2, Abbildung 17). Wie die Analysen zu frei fahrenden Fahrzeugen in Kapitel 3.2.6 zeigen, gibt es jedoch keinen bedeutsamen Einfluss der Verkehrsbelegung auf die Wirksamkeit aller untersuchten Anlagen. Daher beeinträchtigen die beobachteten, geringen Schwankungen der DTV-Werte die Untersuchung nicht.

Einen weiteren Beitrag zur Beschreibung der untersuchten Stichprobe bieten die aufgezeichneten Fahrzeuglängen. Sie stellen einen Indikator für die Zusammensetzung der Verkehrskollektive in den einzelnen Versuchsphasen dar. Eine Zuordnung von Fahrzeugtypen zu gemessenen Fahrzeuglängen ist je nach Längenbereich mehr oder weniger sicher. Einen Anhaltspunkt liefert Tabelle 3.

Fahrzeuglänge	Beispiele für Fahrzeugtypen
0,0 - 3,5 m	Fahrrad, Motorrad, kleiner Pkw
3,6 - 6,7 m	Pkw, kleiner Kleintransporter
6,8 - 9,1 m	großer Kleintransporter, kleiner Lkw
9,2 - 11,5 m	Lkw, Bus (2 Achsen)
11,6 - 30,0 m	Lastzüge, Lkw, Bus (> 2 Achsen), Fz mit Anhänger

Tabelle 3: Zuordnung von Fahrzeugtypen zu Längensklassen

Abbildung 6 stellt die Verteilung der Fahrzeuglängen exemplarisch in der Treatmentphase „Dialog-Display“ dar.

Es dominieren danach am Messquerschnitt eindeutig Fahrzeuglängen, die überwiegend dem Pkw-Verkehr zuzuordnen sind. Der Anteil an Fahrzeugen der Länge größer 9 m (vorwiegend Lkw/Bus) bewegt sich im Bereich von einem bis zwei Prozent. Zwischen den Versuchsphasen konnten keine bedeutsamen Unterschiede in der Verteilung der Fahrzeuglängen beobachtet werden. Der vollständige tabellarische Vergleich aller Phasen ist im Anhang 7.1.3 enthalten.

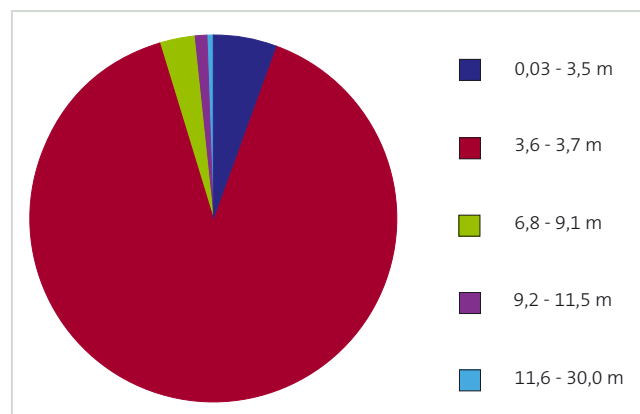


Abbildung 6: Zusammensetzung nach Fahrzeuglängen, Treatmentphase DD, MP 204

Somit lassen sich aus der Analyse von Fahrzeuganzahl und –zusammensetzung keine konfundierenden Effekte erkennen, die einem Wirkungsvergleich der drei Anlagenformen entgegenstehen. Damit ist von einer grundsätzlichen Vergleichbarkeit des Verkehrsgeschehens im gesamten Zeitraum auszugehen. Beobachtete Unterschiede können vorbehaltlich der Kontrollgruppenanalysen (vgl. Kapitel 3.2.4) im Sinne einer Anlagenwirkung interpretiert werden.

3.2 Wirkungsvergleich der untersuchten Anlagenformen

3.2.1 Einzelwirksamkeit der Anlagen

Als Basis für die vergleichende Wirkungsanalyse wird zuerst die Wirkung jeder einzelnen Anlagenform separat betrachtet. Die Ergebnisse für alle drei Anlagen sind ausführlich im Kapitel 7.2 dargestellt. Exemplarisch wird an dieser Stelle die Wirkung der Anlage „Dialog-Display“ am MP 204 in Fahrtrichtung Hermannstraße beschrieben. Abbildung 7 stellt die drei klassischen Kennwerte Durchschnittsgeschwindigkeit (v_d), 85. Perzentil der Geschwindigkeitsverteilung (v_{85}) und den Anteil von Fahrzeugen mit Überschreitung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit ($h_{\ddot{u}}$) dar. Aufgetragen ist jeweils der Mittelwert der Kennwerte für die Betriebsphase des Dialog-Displays und die beiden Kontrollphasen davor und danach. Dabei zeigt sich ein deutlicher Einfluss des Dialog-Displays auf das Geschwindigkeitsverhalten. Der Geschwindigkeitsmittelwert (v_d) reduziert sich um rund 3km/h von etwa 32km/h in den Vorhermessung auf

rund 29 km/h bei präseneter Anlage. Ebenfalls reduziert sich das 85. Perzentil der Geschwindigkeitsverteilung (v_{85}). Am deutlichsten wird die Wirkung des Dialog-Displays auf den Anteil von Fahrzeugen, die zu schnell fahren ($h_{\ddot{u}}$). Dieser Anteil wird durch die Anlage halbiert und beträgt dann rund 30%. In der Nachherphase ohne Dialog-Display steigen alle Kennwerte wieder auf ihr Ausgangsniveau an.

3.2.2 Wirkungsvergleich der Anlagen

Die untersuchten Anlagenformen werden nun anhand ihrer Wirkung gegenübergestellt. Als Wirkung wird die Veränderung der Kennwerte der Treatmentphase gegenüber dem gemittelten Wert aus beiden Kontrollphasen (Mittelwert aus Vorher- und Nachherphase) interpretiert (vgl. Kapitel 7.2.1 mit Betrachtungen zu verschiedenen Wirkbezügen). Abbildung 8 und 9 zeigen die Ergebnisse des Anlagenvergleichs exemplarisch für MP 204. Die Ergebnisse am MP 205 sind aus den entsprechenden Diagrammen der Kapitel 7.2.2 bis 7.2.4 ersichtlich.

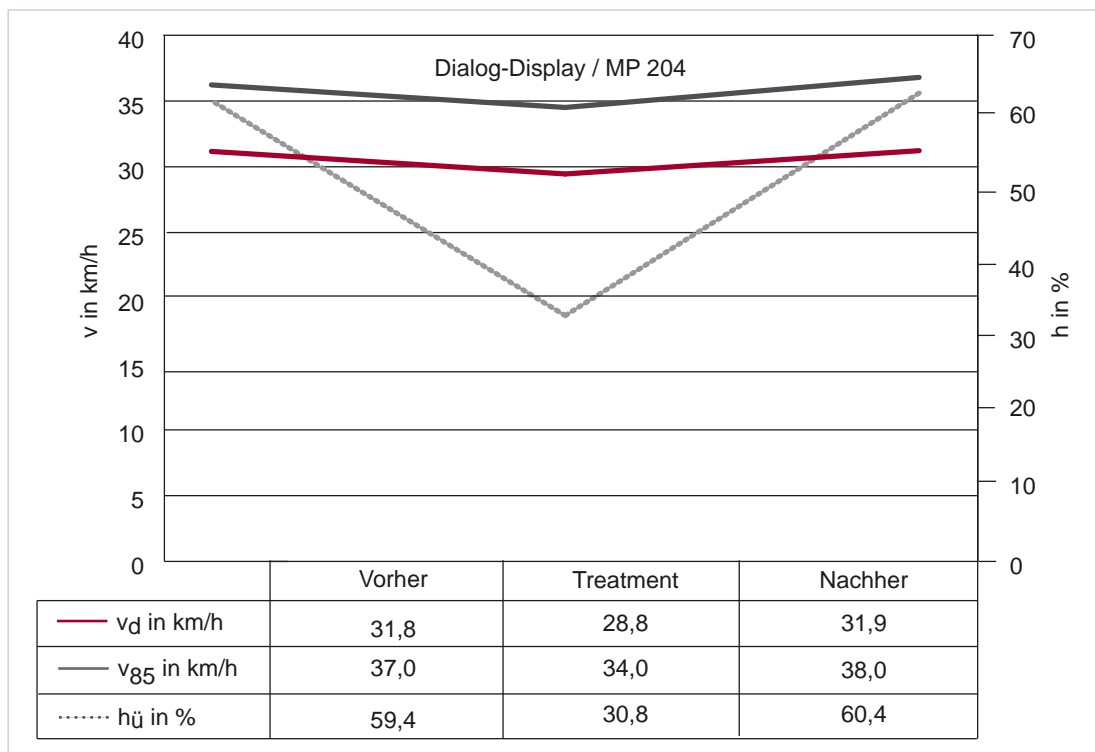


Abbildung 7: Wirkung des Treatments Dialog-Display (MP 204)

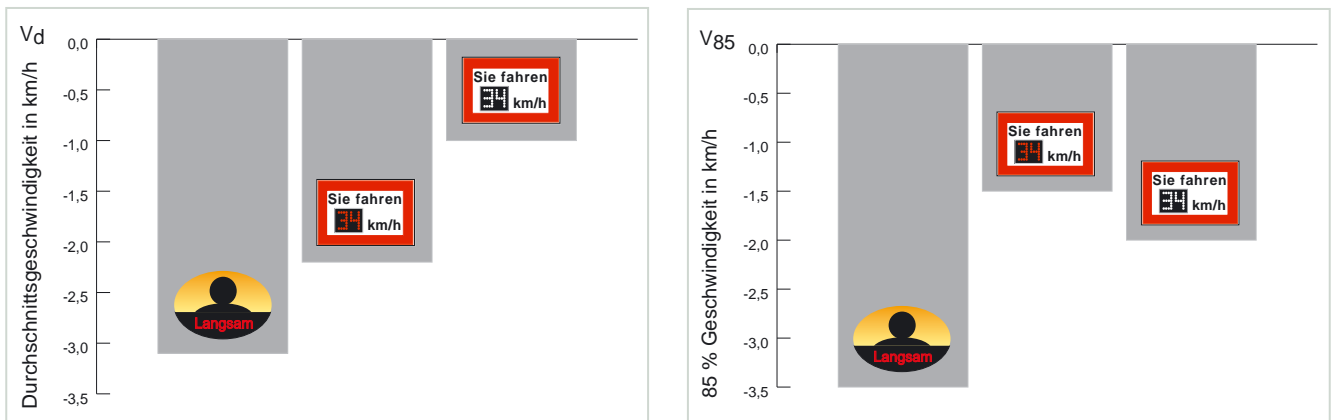


Abbildung 8: Wirkungsvergleich der Anlagentypen anhand der Geschwindigkeitsreduktion (MP 204)

Bei den Kennwerten zur Geschwindigkeitsreduktion (Abbildung 8) stellt sich das Dialog-Display als wirksamste Anlage im Vergleich dar. Bei dieser Anlagenform werden am Messquerschnitt Reduktionen im Mittel (v_d) um etwa 3km/h und in der v_{85} um 3,5km/h erreicht. Die von den Geschwindigkeitsanzeigern erreichten Effekte liegen sowohl im Mittel als auch dem 85 %-Kennwert deutlich darunter.

Im Fazit ist das Dialog-Display die wirksamste Anlage im hier dargestellten Vergleich. In allen betrachteten Kennwerten erreicht diese Anlage die deutlichste Beeinflussung unerwünschten Geschwindigkeitsverhaltens und damit die beste Wirkung im Sinne der Verkehrssicherheit.

3.2.3 Bedeutsamkeit der gefundenen Effekte

Neben der reinen Deskription von Wirkungen stellt sich die Frage nach deren Bedeutsamkeit. Gewöhnlich wird diese Frage anhand inferenzstatistischer Berechnungen („Signifikanztest“) beantwortet. Signifikanztests geben eine statistische Bedeutsamkeit mit bestimmten Wahrscheinlichkeitsschranken an. Diese Methode eignet sich primär für Aussagen über kleinere Stichproben. Diese Tests ermöglichen dann Verallgemeinerungen der begrenzten Stichprobenergebnisse auf die Wirkung in großen Gruppen (Grundgesamtheit). Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung beträgt der Stichprobenumfang jedoch mehrere Zehntausend Fahrzeuge je Versuchsphase. Da die Wahrscheinlichkeitsschätzungen mit der Stichprobengröße in Beziehung stehen, werden bei großen Stichproben auch kleinste Unterschiede als „statistisch bedeutsam“ (signifikant) klassifiziert. Daraus lassen sich daher im vorliegenden Fall keine belastbaren Aussagen ableiten.

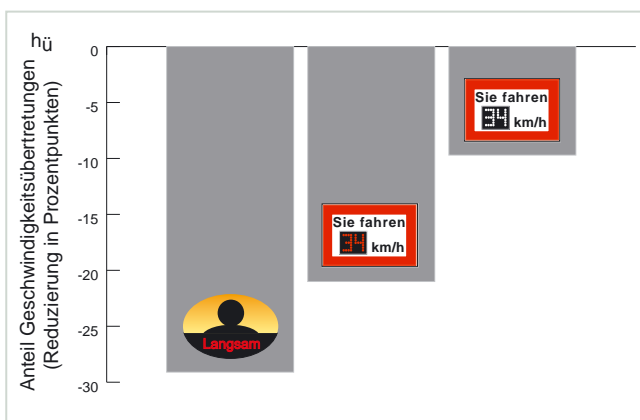


Abbildung 9: Wirkungsvergleich der Anlagentypen anhand der Geschwindigkeitsüberschreitungen (MP 204)

Die oben getroffenen Aussagen werden vom Vergleich der Anteile an Überschreitungen (h_{ij}) unterstützt. Abbildung 9 zeigt die Reduzierung des Anteilswertes an Fahrzeugen oberhalb der erlaubten Geschwindigkeit in Prozentpunkten. Wiederum stellt sich das Dialog-Display mit der deutlichsten Reduktion dieses Anteils als wirksamste Anlage im Vergleich dar. Die beiden Geschwindigkeitsanzeiger folgen mit ihren Werten in deutlichem Abstand.

In diesem Fall bieten Betrachtungen zur relativen Stärke der gefundenen Unterschiede, sogenannte Effektstärken, einen Ausweg. Die Effektstärke ist ein statistisches Maß, das das Verhältnis zwischen Mittelwertunterschied und beobachteter Streuung der Messwerte darstellt. Damit

sind Effektstärken vom Stichprobenumfang unabhängig. Sie werden zur Verdeutlichung der praktischen (im Gegensatz zur statistischen) Bedeutsamkeit herangezogen. Um einen großen Effekt handelt es sich beispielsweise, wenn der Mittelwert bei geringer „natürlicher Schwankung“ stark beeinflusst wurde. Kleine Effekte entstehen demgegenüber bei geringer Veränderung im Mittelwert oder bei größeren Mittelwertsveränderungen bei gleichzeitig großer „natürlicher“ Schwankung. Ist die Streuung der Verteilung, wie im Fall der vorliegenden Untersuchung, relativ konstant über alle Kontrollphasen, bewertet die Effektstärke direkt die Höhe der Mittelwertsveränderung.

Abbildung 10 enthält die berechneten Effektstärken der drei untersuchten Anlageformen am MP 204. Dabei zeigt sich, dass das Dialog-Display als wirksamste Anlage einen mehr als dreifach größeren Effekt auf den Geschwindigkeitsmittelwert erzielt als der einfarbige Geschwindigkeitsanzeiger. Die Ergebnisse für den MP 205 sind im Kapitel 7.2.5 in Tabelle 14 dargestellt.

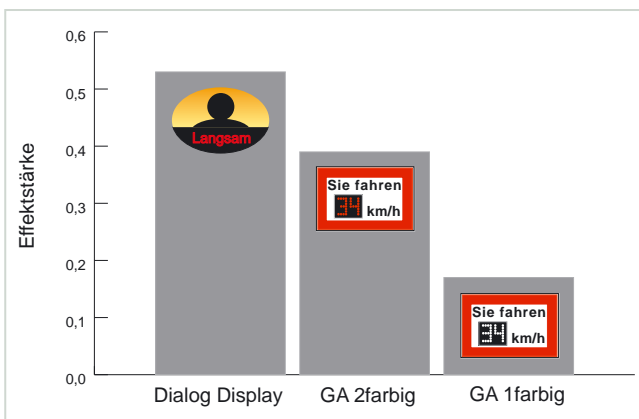


Abbildung 10: Effektstärke der Mittelwertreduzierung am MP 204

Die Größe der Effektstärke ist, zumindest für den verhaltenswissenschaftlichen Bereich, mit Bedeutsamkeitsurteilen belegt (Bortz & Döring, 2009). Als Anhaltspunkt können Effektstärken >0.50 als groß, Effektstärken von 0.50 bis 0.30 als moderat und Effektstärken von 0.30 bis 0.10 als klein bzw. <0.10 als trivial interpretiert werden. Allerdings zeigen empirischen Ergebnisse, dass je nach Kontext und Forschungsdomäne die Höhe von Effektstärken unterschiedlich zu interpretieren ist. Nach obiger Nomenklatur als „klein“ klassifizierte Effekte können in

bestimmten Domänen bereits einen großen Erfolg darstellen. Bei der Beurteilung der Wirksamkeit von Verkehrsanlagen sind bisher Effektstärken nicht verwendet worden. Daher liegen in dem Bereich keine Erfahrungswerte vor. Legt man jedoch im ersten Schritt die verhaltenswissenschaftliche Konvention zugrunde, handelt es sich bei der Wirkung des einfarbigen Geschwindigkeitsanzeigers um einen „kleinen Effekt“. Der zweifarbige Geschwindigkeitsanzeiger erreicht einen „kleinen bis mittleren“ Effekt. Das Dialog-Display erzielt einen „großen Effekt“.

3.2.4 Gewöhnungs- und Nachwirkungseffekte

Der bisher dargestellte Wirkungsvergleich gründet auf Kennwerten je Untersuchungsphase (Mittelwert, Verteilungskennwerte). Die Wirksamkeit der untersuchten Anlagen umfasst jedoch auch Fragestellungen zur Entwicklung des Geschwindigkeitsverhaltens innerhalb der Phasen. Hierfür besteht eine zweifache Motivation. Zunächst ist es für das gewählte Untersuchungsdesign notwendig zu prüfen, ob die Tagesmittelwerte in den Kontrollphasen konstant verlaufen (vgl. Kapitel 2). Andernfalls könnte nicht sicher von den beobachteten Geschwindigkeitsdifferenzen zwischen Anlage und Kontrollphase auf eine Anlagenwirkung geschlossen werden. Ein Beispiel für mögliche konfundierende Einflüsse sind jahreszeitliche Schwankungen der Geschwindigkeit.

Darüber hinaus können auch Erkenntnisse zu Gewöhnungs- und Nachwirkungseffekten als erweiterte Wirkungsparameter abgeleitet werden. Gewöhnungseffekte beschreiben Veränderungen (häufig Abschwächungen) der Anlagenwirkung mit der Aufstelldauer. Unter Nachwirkungseffekt wird eine Verlängerung der Anlagenwirkung über die Untersuchungsphase hinaus verstanden (Schlag, Stern, Butterwegge & Degener, 2009). Nachwirkungseffekte können aufgrund fehlender Vergleichsmessungen (Kontrollgruppe) im realisierten Untersuchungsdesign nicht sicher von weiteren Einflüssen getrennt werden (z. B. Witterung). Falls daher Hinweise darauf gefunden werden sollten, verbleiben naturgemäß Interpretationsspielräume. Die Abwesenheit von Nachwirkungseffekten kann jedoch zweifelsfrei nachgewiesen werden.

Zeitreihenanalytische Verfahren eignen sich in hervorragender Weise zur Beantwortung der oben aufgeworfenen Fragestellungen (Rudolf & Müller, 2004). Sie umfassen als Verfahren lineare Regression, Autokorrelationsanalyse und Spektralanalyse. Eine umfassende Darstellung und Einordnung der Verfahren vor dem Hintergrund der vorliegenden Untersuchung enthält Kapitel 7.3.1. Wie dort gezeigt, liefern Autokorrelationsanalyse und Spektralanalyse bei Berücksichtigung des Aufwandes vergleichsweise geringe Erkenntniszuwächse. Daher werden nachfolgend nur die Ergebnisse der Regressionsanalysen dargestellt (detaillierte Ergebnistabellen siehe Kapitel 7.3.2).

Bei der Regressionsanalyse handelt es sich zunächst um die Anpassung linearer Verläufe (best fit) an eine Zeitreihe von Messwerten. Im vorliegenden Fall besteht die Zeitreihe in der Abfolge von Tagesmittelwerten je Untersuchungsphase. Im nächsten Schritt ist dann zu prüfen, ob der ermittelte Anstieg (linearer Trend) bedeutsam von Null (kein Trend) abweicht. Da es sich in diesem Fall um eine kleine Stichprobe von 30 bis 180 Tagesmittelwerten (je nach Dauer der

Phase) handelt sind nun inferenzstatistische Berechnungen (Signifikanztest) die angemessene Methode.

Abbildung 11 stellt den Verlauf der Tagesmittelwerte der Durchschnittsgeschwindigkeit am MP 204 während des gesamten Untersuchungszeitraums dar (Ergebnisse zum MP 205 vgl. Kapitel 7.3.1) Die Treatmentphasen (Anlage präsent) sind an ihrer anschaulichen Abweichung nach unten sowie den jeweiligen Piktogramme erkennbar. Jeweils davor bzw. danach befinden sich die Kontrollphasen (Vorher- bzw. Nachherphase). Abbildung 11 illustriert zudem das Ergebnis der Regressionsanalyse. Phasen ohne signifikante Trends sind mit grünen Balken markiert, Phasen mit bedeutsamen Trends durch gelbe Balken gekennzeichnet.

Zunächst ist als wichtiges Analyseergebnis festzuhalten, dass in keiner Kontrollphase ein signifikanter Trend der Tagesmittelwerte nachgewiesen werden konnte. Das heißt, die Tagesmittelwerte sind in den Kontrollphasen stabil. Somit ist das Untersuchungsdesign anwendbar

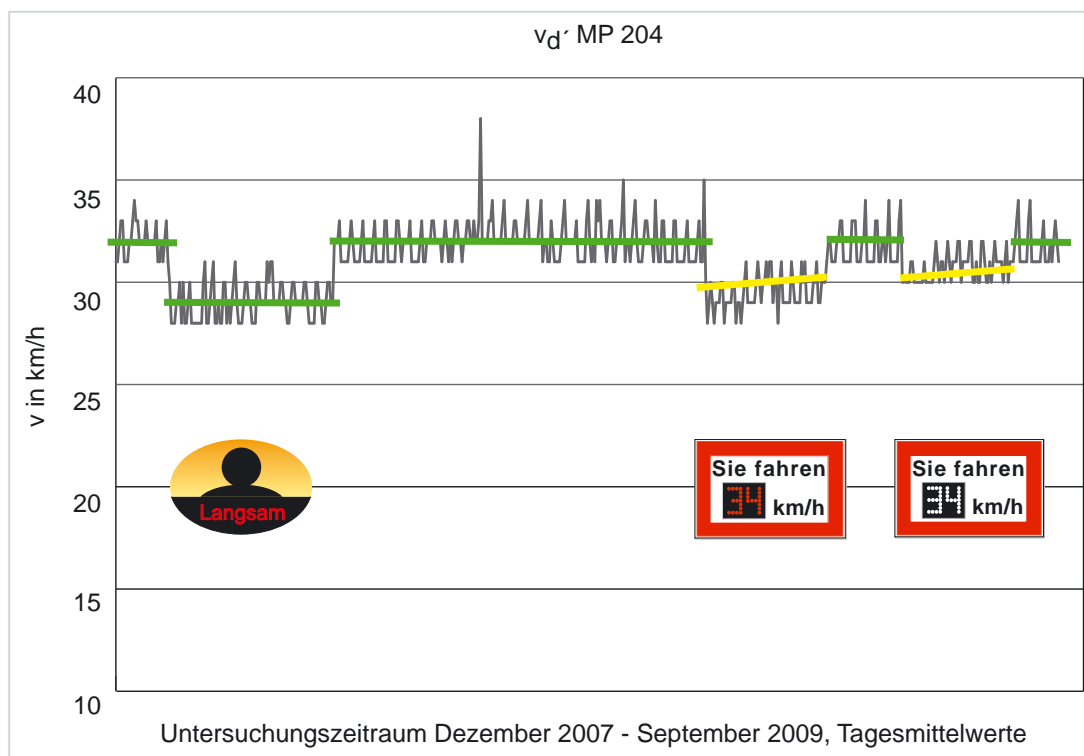


Abbildung 11: Trends in den Untersuchungsphasen anhand Regressionsanalyse, aufgetragen über den Tagesmittelwerten am MP 204

und die beobachteten Differenzen zwischen Kontroll- und Versuchsphasenkennwerten können endgültig als Wirkungen der jeweiligen Anlagenformen interpretiert werden. Dieses Ergebnis zeigt weiterhin, dass bei keiner der untersuchten Anlagenform ein Nachwirkungseffekt auftritt.

Bleibt die Frage nach den Gewöhnungseffekten. Dafür ist der Verlauf der Tagesmittelwerte in den Treatmentphasen relevant. Während installiertem Dialog-Display findet sich kein signifikanter Trend und damit auch kein Gewöhnungseffekt. Signifikante Trends finden sich jedoch für die Treatmentphasen beider Geschwindigkeitsanzeiger (vgl. Abbildung 11). Obwohl sich in keiner der dazugehörigen Kontrollphasen eine lineare Tendenz nachweisen lässt, treten in beiden Versuchsphasen mit den Geschwindigkeitsanzeigern signifikante Trends auf. Hinzu kommt die gleichartige Richtung dieser gefundenen Verläufe. Es handelt sich ausschließlich um positive Tendenzen. Der Drift beträgt beim zweifarbigen Geschwindigkeitsanzeiger $+0,5 \text{ km}/(\text{h} \cdot \text{Monat})$, bei der einfarbigen Version $+0,4 \text{ km}/(\text{h} \cdot \text{Monat})$. Das bedeutet, dass sich beim zweifarbigen Geschwindigkeitsanzeiger die Wirkung auf die Durchschnittsgeschwindigkeit um $0,5 \text{ km/h}$ pro Monat abgeschwächt hat, beim einfarbigen Geschwindigkeitsanzeiger um $0,4 \text{ km/h}$ pro Monat. Dies zeigt deutlich einen unerwünschten Gewöhnungseffekt bei den Geschwindigkeitsanzeigern. Daher sind die Geschwindigkeitsanzeiger gegenüber dem Dialog-Display als deutlich ungünstiger zu bewerten. Nur das Dialog-Display zeigt sich als uneingeschränkt wirksame Anlage.

3.2.5 Analyse der Geschwindigkeitsverteilungen

Eine weitere Möglichkeit, die Wirksamkeit der untersuchten Anlagen differenzierter zu beurteilen besteht in der Analyse der Geschwindigkeitsverteilungen. Diese Betrachtungen fußen auf der Gesamtheit aller Messdaten einer Untersuchungsphase. Die Einzelmesswerte werden dazu einer Geschwindigkeitsklasse zugeordnet. Als günstige Klassenbreite hat sich in der vorliegenden Arbeit der Wert von $v = 3 \text{ km/h}$ erwiesen. So werden beispielsweise alle Werte zwischen $v = 27 \text{ km/h}$ und $v = 30 \text{ km/h}$

einer Klasse von Messwerten zugeordnet. Danach wird die Anzahl von Werten je Geschwindigkeitsklasse gezählt und schließlich deren Anteil an der Gesamtanzahl aller Messwerte der Phase berechnet. Es resultiert eine klassierte, relative Häufigkeitsverteilung der Geschwindigkeiten. Sie gibt Auskunft über den Anteil von Fahrzeugen in Geschwindigkeitsbereichen und erlaubt zudem den Vergleich von Verteilungen. Damit können Aussagen über differenzielle Aspekte der Anlagenwirkung getroffen werden.

Unter differenzieller Anlagenwirksamkeit wird hier der unterschiedliche Einfluss der Anlagen auf Verteilungsbereiche der Geschwindigkeit verstanden. Weiterführende und vor allem kausale Betrachtungen sind durch die Anonymität der Messwerte deutlich eingeschränkt. Da Geschwindigkeitswerte eines Fahrzeuges aus der Vorhermessung nicht direkt mit den Geschwindigkeitswerten während des Treatments in Beziehung gesetzt werden können, können nur relative Veränderungen in der Verteilungsform verglichen werden. Aussagen derart „Fahrzeuge die vorher zu schnell fuhren, bewegten sich bei Anlage XY mehrheitlich im erlaubten Bereich“ können somit aus den vorliegenden Untersuchungsdaten nicht begründet werden. Es ist aus den Messwerten nicht ersichtlich, ob dieses Fahrzeug überhaupt vorher schon einmal den Messquerschnitt passiert hat und damit auch nicht, wie schnell es gegebenenfalls dabei fuhr. Im Extremfall ist davon auszugehen, dass jedes Fahrzeug ein einziges Mal den Messquerschnitt passiert hat.

Mit diesen Einschränkungen werden nun die Anlagen auf differenzielle Effekte verglichen. Abbildung 12 stellt die Verteilungen in allen drei Treatmentphasen gegenüber. Hierbei zeigt sich für alle Anlagen ein deutlicher Schwerpunkt in der Verteilung bei $v = 30 \text{ km/h}$, also bei der lokal gültigen Höchstgeschwindigkeit. Weiterhin ist ersichtlich, dass sich in allen Fällen über 95 % der erfassten Fahrzeuge im Bereich zwischen $v = 20 \text{ km/h}$ und $v = 40 \text{ km/h}$ bewegen. Interessant ist vor allem der Kurvenverlauf innerhalb dieses Bereichs.

Während in der Versuchsphase mit Dialog-Display (DD) relativ größere Anteile des Fahrerkollektivs im Bereich

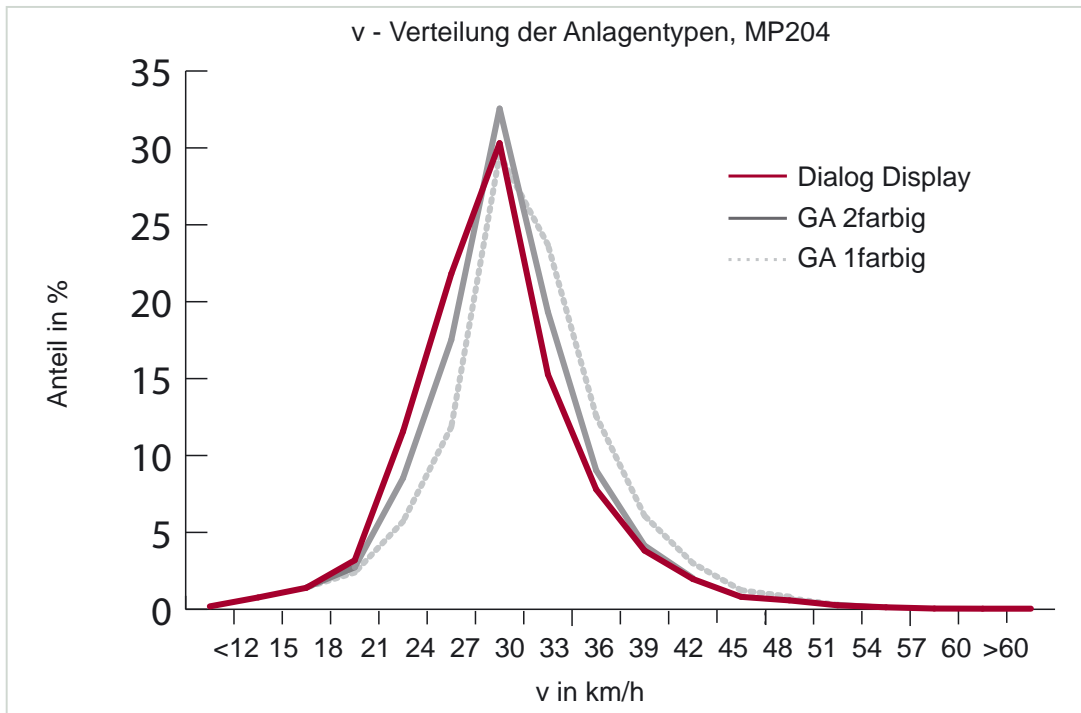


Abbildung 12: Geschwindigkeitsverteilung der Treatmentphasen, MP 204

unterhalb 30 km/h angesiedelt sind, zeigt die gestrichelte Kurve zum einfarbigen Geschwindigkeitsanzeiger (GA 1) deutliche Ausweitungen in den Bereich oberhalb der erlaubten Höchstgeschwindigkeit. Die Kurve zum zweifarbigem Geschwindigkeitsanzeiger (GA 2) verläuft zwischen diesen. Im Bereich oberhalb $v = 35$ km/h liegen

die Anteilswerte beim einfarbigen Geschwindigkeitsanzeiger deutlich über denjenigen der beiden anderen Anlagen. Es zeigt sich anschaulich der größere und im Sinne der Verkehrssicherheit günstigere Effekt des Dialog-Displays im Vergleich mit den beiden Geschwindigkeitsanzeigern.

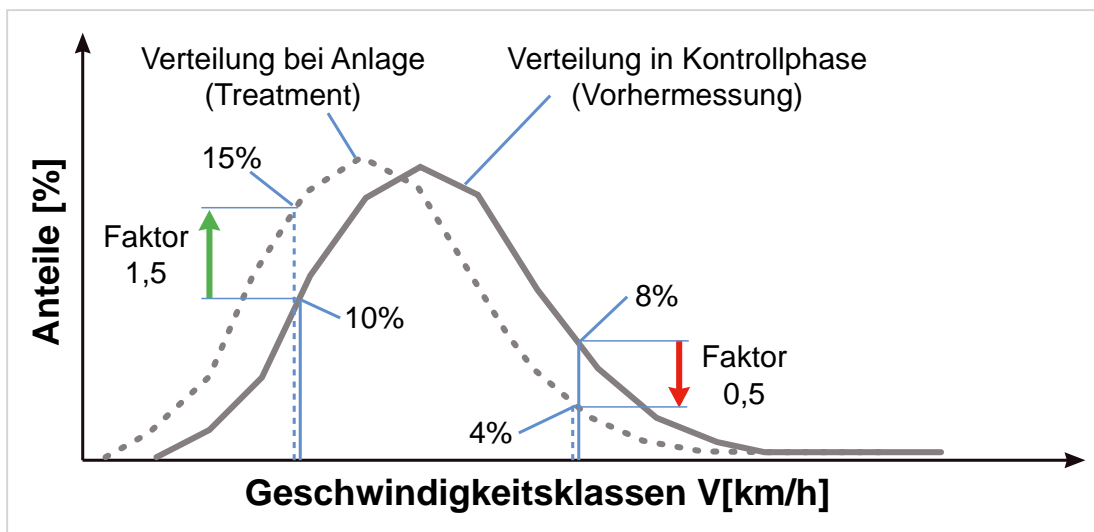


Abbildung 13: Berechnung relativer Differenzen von Geschwindigkeitsverteilungen

Zu den differenziellen Wirkungen gehört auch die Frage nach der Wirkung im sicherheitskritischen hohen Geschwindigkeitsbereich. Einen Anhaltspunkt dazu liefert bereits die aufgezeigte Wirkung zur v_{85} in Kapitel 3.2.2. Da die oberen Geschwindigkeitsbereiche ($v > 45$ km/h) mit absolut betrachtet kleinen Fallzahlen und damit kleinen Häufigkeiten belegt sind, werden Anlagenwirkungen in diesem Bereich durch Darstellungen analog Abbildung 12 nicht ersichtlich. Eine Alternative besteht darin, die Differenz der Anzahl von Messwerten zwischen Kontrollphasen und Treatment in diesem Bereich heranzuziehen. Allerdings ist auch hier die Darstellbarkeit aufgrund sehr kleiner Fallzahlen eingeschränkt. Genauere Erkenntnisse lassen sich durch die Analyse relativer Verteilungsdifferenzen in Form von Veränderungsrate erreichen. Diese Veränderungsfaktoren je Geschwindigkeitsklasse nehmen Ausprägungen unabhängig von den absoluten Fallzahlen an. Den Berechnungsgang illustriert Abbildung 13.

Ausgangspunkt ist die Geschwindigkeitsverteilung in der dazugehörigen Kontrollphase (Vorhermessung). Für jede Geschwindigkeitsklasse wird der dafür ermittelte Anteil mit dem korrespondierenden Anteil in derselben Geschwindigkeitsklasse unter Anlagenwirkung (Treatmentphase) ins Verhältnis gesetzt. Hat beispielsweise der Anteil an Fahrzeugen in einer Geschwindigkeitsklasse von Vorhermessung zur Situation mit Anlage zugenommen, ergeben sich Zuwachsraten (Faktoren größer 1). Im anderen Fall abnehmender Anteile nehmen die ermittelten Faktoren Werte kleiner 1 an. Diese Faktoren erlauben nun den Vergleich der Anlagenwirkung über den gesamten Geschwindigkeitsbereich unabhängig von den variierenden absoluten Fallzahlen.

Abbildung 14 stellt die so berechneten Veränderungen in der Geschwindigkeitsverteilung am Beispiel der Fahrtrichtung Hermannstraße (MP 204) dar. Die Ergebnisse sind so dargestellt, dass Faktoren kleiner 1 (Verringerungen) jeweils nach unten aufgetragen sind. Entsprechend zeigen nach oben weisenden Balken Zuwächse in der dazugehörigen Geschwindigkeitsklasse an. Die weiteren Ergebnisse zu MP 205 siehe Kapitel 7.4.1 bis 7.4.3.

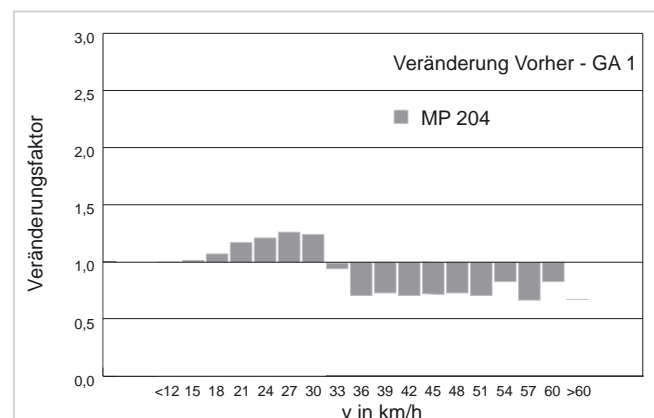
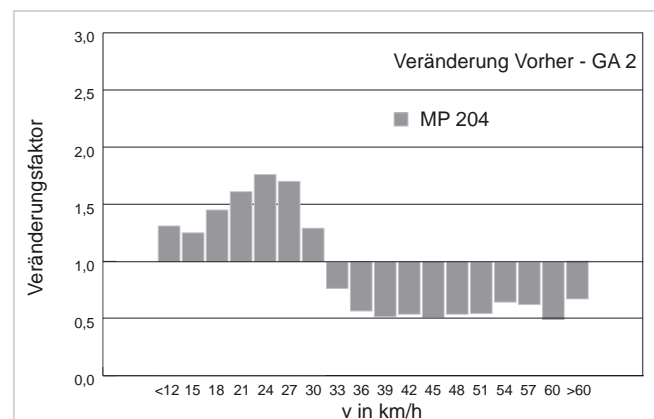
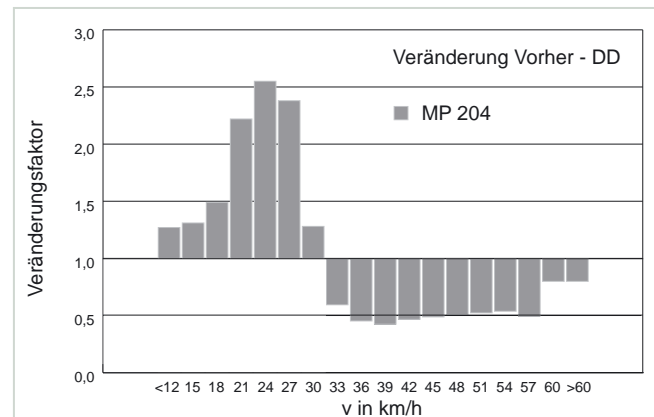


Abbildung 14: Relative Veränderung von Geschwindigkeitsverteilungen, MP 204

Durch alle untersuchten Anlagen reduzieren sich die Geschwindigkeitsanteile oberhalb der erlaubten Höchstgeschwindigkeit ($v = 30$ km/h). Entsprechend kommt es zu Zuwächsen im Bereich unterhalb davon. Alle Anlagen halten das Niveau ihrer Wirksamkeit über den gesamten Geschwindigkeitsbereich oberhalb $v = 33$ km/h nahezu konstant. Dies bedeutet, dass die Wirksamkeit aller Anlagen nicht auf bestimmte Geschwindigkeitsbereiche deutlicher Übertretung beschränkt ist. Sie wirken vielmehr in gleichem Ausmaß auf den Bereich mäßiger Übertretungen wie ebenso im sicherheitskritischen Bereich hoher Geschwindigkeiten.

Interessant ist wiederum das Ausmaß dieses Effektes im Anlagenvergleich. Es zeigt sich ein erwartungskonformes Bild, wenn man die bisherigen Ergebnisse berücksichtigt. Den intensivsten Einfluss auf die Geschwindigkeitsverteilung übt das Dialog-Display aus. Die Anteile der Geschwindigkeitsklassen oberhalb $v = 30$ km/h werden von dieser Anlage etwas mehr als halbiert. Dies deckt sich mit der Aussage des Kennwertes h_{ij} (vgl. Kapitel 3.2.2). In den erwünschten Bereichen zwischen $v = 20$ km/h und $v = 30$ km/h verdoppeln sich die Anteile entsprechend. Der zweifarbige Geschwindigkeitsanzeiger entfaltet eine etwas geringere Wirkung in beiden angesprochenen Bereichen. Die Reduzierung der Anteile oberhalb der erlaubten Geschwindigkeit erreicht die Halbierung nicht ganz. Entsprechend fallen die Zuwachsraten im erwünschten Bereich deutlich geringer aus. Noch einmal deutlich geringer in ihrer Ausprägung, jedoch bei gleichartiger Gestalt stellt sich die Wirkung des einfarbigen Geschwindigkeitsanzeigers dar.

Schließlich sei auf ein interessantes Detail hingewiesen. Beide Geschwindigkeitsanzeiger beeinflussen die Geschwindigkeitsklasse $v = 33$ km/h (Messwerte von $v = 31$ km/h bis $v = 33$ km/h) in deutlich geringerem Maße als die jeweils nachfolgenden Klassen $v = 36$ km/h, $v = 39$ km/h usw. (vgl. Abbildung 14). Die Reduzierung dieses Anteils beträgt beim GA2 nur etwa die Hälfte und beim GA1 nur ein Viertel der oberhalb davon erreichten Einflüsse. Beim Dialog-Display hingegen wird dieser Bereich nahezu genauso stark beeinflusst wie die nachfolgenden Geschwindigkeitsklassen.

Hier manifestiert sich offensichtlich der bereits im Kapitel 1.1 dargestellte Unterschied der untersuchten Anlagen, inwiefern diese einen Bezug zur erlaubten Höchstgeschwindigkeit herstellen. Der einfarbige Geschwindigkeitsanzeiger überlässt die Interpretation, ob es sich bei der angezeigten Geschwindigkeit um einen tolerierbaren Wert handelt oder ob eine Korrektur der Geschwindigkeit notwendig ist, vollständig dem Fahrzeugführer. Es lässt dem Fahrer die Möglichkeit, kleine Überschreitungen von $v = 31$ bis 33 km/h als „angemessenes Verhalten“ zu interpretieren. Eventuell spielen hier auch Interpretationen zu Messgenauigkeiten und zu tolerierten Abweichungen ($v \approx 3$ km/h) bei Geschwindigkeitskontrollen eine Rolle. Folglich ist die Wirkung der Anlage auf die Geschwindigkeitsklasse $v = 33$ km/h deutlich geringer, als auf Werte $v \geq 34$ km/h. Der zweifarbige Geschwindigkeitsanzeiger grenzt kleine Übertretungen zwar durch die Farbgebung der Anzeige vom erlaubten Bereich ab (rote Anzeige bei Werten ab 30 km/h, bis dahin in grün). Es bleibt jedoch auch hier dem Fahrer überlassen, den Geschwindigkeitswert als Übertretung zu interpretieren. Interpretationsspielräume bei kleinen Übertretungen sind somit auch hier möglich. Die Farbgebung unterstützt die erwünschte Interpretation jedoch, weshalb der Effekt dieser Anlage hier größer als bei der einfarbigen Version ist. Das Dialog-Display dagegen nimmt durch seine Anzeigeform alle Interpretationsspielräume. Hier werden alle Werte $v > 30$ km/h immer mit der Aufforderung „Langsam“ rückgemeldet. Da der Fahrer sonst keine Information über den Messwert erhält, begründet dies die etwa gleichartige Wirkung dieser Anlagenform auf kleine ($v = 31 \dots 33$ km/h) wie größere Übertretungen.

Zusammenfassend lässt sich auch bei der Analyse der Geschwindigkeitsverteilungen die im Vergleich günstigste Wirkung des Dialog-Displays gegenüber den Geschwindigkeitsanzeigern nachweisen.

3.2.6 Analyse von frei fahrenden Fahrzeugen

Auf städtischen Verkehrsstraßen ist in bedeutsamen Umfang mit pulkgebundenem Fahrzeugverkehr zu rechnen. Bei der Geschwindigkeitsmessung von Fahrzeugen in

Fahrzeugpuls dominiert der Messwert des ersten Fahrzeuges diejenigen der Nachfolgenden. Alle bislang dargestellten Ergebnisse gründen auf der Auswertung des gesamten erfassten Fahrzeugkollektivs. Eine bedeutsame Frage zum Anlagenvergleich betrifft darüber hinaus die differenzielle Wirkung auf frei fahrende Fahrzeuge. Das zentrale Merkmal frei fahrender Fahrzeuge ist dabei die von anderen Fahrzeugen unbeeinflusste Wahl der Geschwindigkeit. Unter frei fahrenden Fahrzeugen werden alle Fahrzeuge mit Mindestabständen von $t = 10\text{s}$ sowohl zum vorausfahrenden, als auch zum nachfolgenden Fahrzeug verstanden. Bei diesem Abstand wird von einer unbeeinflussten Geschwindigkeitswahl ausgegangen (vgl. Kapitel 7.5.1 für Analysen zum zeitlichen Abgrenzungskriterium).

Werden nun ausschließlich diese Fahrzeuge betrachtet, zeigt sich zunächst eine Verschiebung aller be-

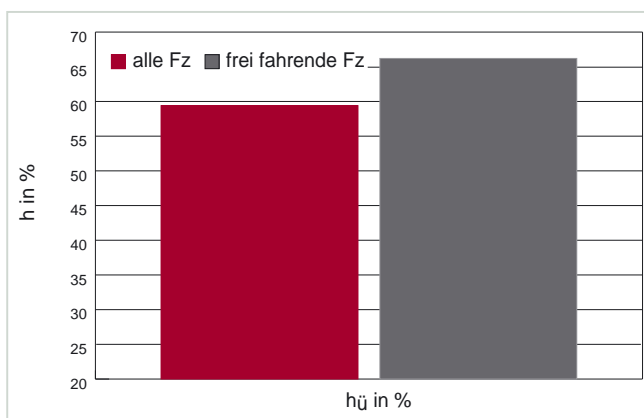
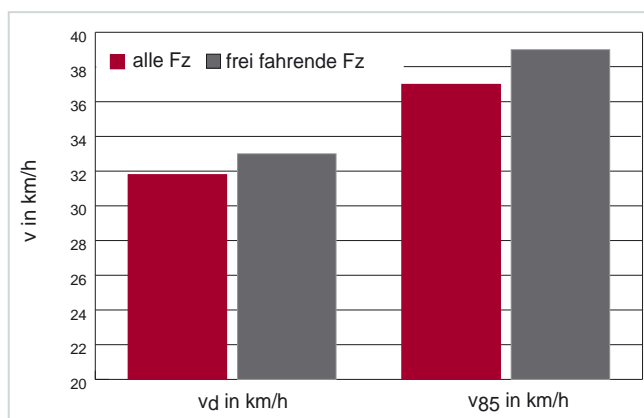


Abbildung 15: Geschwindigkeitskennwerte für alle vs. frei fahrenden Fahrzeuge, Vorhermessung zu DD am MP 204

trachteten Geschwindigkeitskennwerte nach oben. Frei fahrende Fahrzeuge sind also überwiegend schneller unterwegs als der Gesamtdurchschnitt aller Fahrzeuge. Exemplarisch ist dieser Befund in Abbildung 15 für die Vorhermessung zum Dialog-Display am MP 204 dargestellt. Ausführlich sind die Ergebnisse zu den Analysen der frei fahrenden Fahrzeuge im Kapitel 7.5.2 enthalten.

Dieser Befund findet seinen Ausdruck nicht nur im deutlich höheren Mittelwert, sondern auch in einer überproportionalen Verschiebung der v_{85} in den Bereich höherer Geschwindigkeiten. Entsprechend steigt der Anteil von zu schnell fahrenden Fahrzeugen ($h_{\ddot{u}}$) deutlich. Des Weiteren zeigen die Differenzen zwischen den Kennwerten bei Berücksichtigung aller Fahrzeuge vs. nur der frei fahrenden Fahrzeuge eine relative Stabilität über alle Untersuchungsphasen. Abbildung 16 veranschaulicht dies am Beispiel der Durchschnittsgeschwindigkeit v_d am Messpunkt 204 (für alle Ergebnisse vgl. Kapitel 7.5.2). Aufgetragen ist dort der Verlauf des Geschwindigkeitsmittels v_d über alle Untersuchungsphasen. Jede Phase ist mit einem Kennwert repräsentiert, die dann in der Abbildung zu einer Linie verbunden dargestellt sind. Die Kurven zeigen einen nahezu perfekt parallelen Verlauf. Dies bedeutet, dass sich die Wirkung aller untersuchten Anlagentypen prinzipiell nicht verändert, wenn nur frei fahrende Fahrzeuge betrachtet werden.

Auch die Wirkung der Anlagenformen im Vergleich erfährt nur geringfügige Modifikationen, wenn frei fahrende Fahrzeuge betrachtet werden. In Abbildung 16 zeigt sich wiederum das Dialog-Display als wirksamste Anlage (stärkste Reduktion), gefolgt von zweifarbigem und einfarbigem Geschwindigkeitsanzeiger. Das Dialog-Display als wirksamste Anlage erreicht bei frei fahrenden Fahrzeugen Reduzierungen im Mittel (v_d) von etwa $\Delta v = 3\text{ km/h}$, der einfarbige Geschwindigkeitsanzeiger als Anlage mit geringster Wirksamkeit um etwa $\Delta v = 1\text{ km/h}$. In der Größenordnung sind die Wirkungen der Anlagen auf frei fahrende Fahrzeuge durchaus mit derjenigen bei Betrachtung aller Fahrzeuge vergleichbar (siehe Tabelle 21).

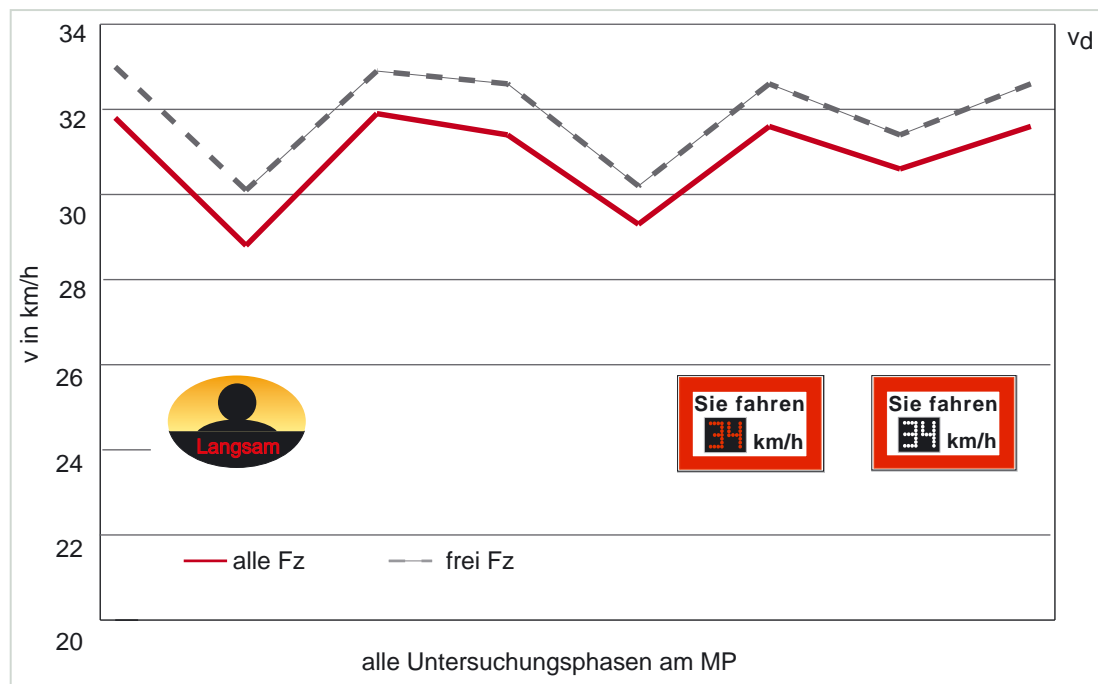


Abbildung 16: Vergleich der mittleren Geschwindigkeit v_d frei fahrender vs. aller Fahrzeuge, MP 204

Zusammenfassend zeigt die Analyse frei fahrender Fahrzeuge, dass sich diese Fahrzeuggruppe durch bedeutsam schnelleres Geschwindigkeitsverhalten auszeichnet. Dieser Umstand hat jedoch auf die Wirkung der untersuchten Anlagen keinen nennenswerten Einfluss. Sowohl Dialog-Display als auch die Geschwindigkeitsanzeiger erreichen in dieser Teilgruppe eine nahezu identische Wirkung im Vergleich zur Berücksichtigung aller Fahrzeuge. Dieser Befund zeigt, gemeinsam mit den Erkenntnissen aus Kapitel 3.2.5 (je Anlage ähnliche Reduzierung in allen Geschwindigkeitsklassen $v > 34$ km/h), dass die untersuchten Anlagen im Wesentlichen auf alle vorbeifahrenden Fahrzeuge gleichartig wirken.

4 Fazit

Diese Untersuchung ging den beiden Fragen nach, wie sich die Wirkung der drei verschiedenen Anlagenformen zur dynamischen Geschwindigkeitsrückmeldung im Vergleich darstellt und welche ergänzenden Kennwerte und Analysen bedeutsam zu diesem Vergleich beitragen.

Fasst man die Ergebnisse des Anlagenvergleichs zusammen, erweist sich das Dialog-Display als diejenige Anlagenform mit dem größten Beeinflussungspotenzial. Diese Anlage zeigt im Vergleich die größten Reduktionen, ausgedrückt in den klassischen Kennwerten Durchschnittsgeschwindigkeit (v_d), 85. Perzentil der Geschwindigkeitsverteilung (v_{85}) und Überschreitungsanteil ($h_{\ddot{u}}$).

In den ergänzenden Kennwerten, etwa der Effektstärke, schnitt das Dialog-Display ebenfalls am besten ab. Die Regressionsanalysen zeigen für beiden Formen der Geschwindigkeitsanzeiger negative Gewöhnungseffekte. Das bedeutet, dass sich die Wirkung während der Präsenz der Anlagen allmählich abschwächt. Dieser bedeutsame Nachteil findet sich beim Dialog-Display nicht. Schließlich untermauern differentielle Verteilungsanalysen der Geschwindigkeit das positivere Wirkungspotential dieser Anlagenform im Bereich geringer Übertretungen von bis zu 3 km/h.

Die Analyse der frei fahrenden Fahrzeuge und die differentiellen Verteilungsanalysen der Geschwindigkeit zeigen zudem, dass alle betrachteten Anlagenformen

qualitativ etwa gleichartig wirken. Der Unterschied manifestiert sich eher im absoluten Ausmaß der Wirkung.

Für den Vergleich der Anlagen ergibt sich somit über alle Kennwerte hinweg eine eindeutige Rangreihe der Wirksamkeit:

(1) Dialog-Display

(2) Geschwindigkeitsanzeiger 2farbig

(3) Geschwindigkeitsanzeiger 1farbig.

Als ergänzende Kennwerte und Analysen leisten insbesondere die Effektstärke, die Trendanalyse mittels linearer Regression und die differenziellen Verteilungsanalysen einen bedeutsamen Beitrag zum Wirkungsvergleich.

So konnte der Gewöhnungseffekt bei den Geschwindigkeitsanzeigern nur anhand der Regressionsanalysen aufgezeigt werden. Die differenziellen Verteilungsanalysen ermöglichen erst Aussagen über Wirkungsunterschiede der Anlagen auf den Bereich geringer Übertretungen von $v = 31$ bis 33 km/h. Beide Analysen stellen somit eine sinnvolle Bereicherung des Anlagenvergleichs dar und sollten in zukünftigen Untersuchungen vergleichbaren Anspruchs Berücksichtigung finden.

5 Empfehlungen

In diesem Abschnitt werden Empfehlungen für den Einsatz und die Evaluation von Anlagen zur dynamischen Geschwindigkeitsrückmeldung gegeben. Die Grundlage dafür bildet diese und die vorangegangene Untersuchung zum Dialog-Display (vgl. UDV Forschungsbericht VV01, Schlag, Stern, Butterwegge & Degener, 2009). In diesen Studien wurden die dynamischen Geschwindigkeitsanzeigen an verschiedenen innerstädtischen Standorten in ihrer Wirkung evaluiert. Daher gelten die Empfehlungen nur für den innerstädtischen Bereich.

Anlagen zur dynamischen Geschwindigkeitsrückmeldung werden in der Praxis zur lokalen Geschwindigkeitsreduk-

tion eingesetzt. Im Ergebnis zeigten sich die stärksten sowie zeitlich stabilen Geschwindigkeitsreduktionen beim Einsatz des Dialog-Displays. Die Wirkung von konventionellen Geschwindigkeitsanzeigen (km/h-Anzeigen) erwies sich als weniger stark und zeitlich nicht stabil. Daher wird das Dialog-Display als ein adäquates Mittel angesehen, um innerhalb von Ortschaften verträgliche Geschwindigkeiten in sensiblen Bereichen, z. B. in der Nähe sozialer Einrichtungen, zu unterstützen.

Für die Entschärfung von Unfallschwerpunkten ist es notwendig, die Geschwindigkeit der Fahrzeuge nicht nur zu reduzieren, sondern auf oder unter die lokal zulässige Höchstgeschwindigkeit zu senken. Diese Wirkung wird durch die Kenngröße der 85 %-Geschwindigkeit angezeigt. In beiden zugrundeliegenden Untersuchungen konnte in nur drei von zehn Fällen mittels dynamischer Geschwindigkeitsrückmeldung der v_{85} Kennwert auf oder unter die zulässige Höchstgeschwindigkeit gesenkt werden. Da die dynamischen Geschwindigkeitsrückmeldungen auf alle Geschwindigkeitsbereiche gleichermaßen wirken, werden hohe wie niedrige Geschwindigkeiten um den gleichen Betrag reduziert. Das bedeutet, dass hohe Geschwindigkeiten in der Regel nicht auf oder unter die lokal zulässige Höchstgeschwindigkeit reduziert werden können. Daher ist der Einsatz von dynamischen Geschwindigkeitsanzeigen (sowohl Dialog-Display als auch km/h-Anzeige) für die Entschärfung von Unfallschwerpunkten nicht geeignet.

Das Ziel beider Untersuchungen war die Analyse der Wirksamkeit des Dialog-Displays und der dynamischen Geschwindigkeitsanzeigen auf das Geschwindigkeitsverhalten. Dazu wurde ein Untersuchungsdesign gewählt, das einen kausalen Schluss zwischen Anzeigen und gemessenen Veränderungen erlaubt, sowie verschiedene Kennwerte und Analyseverfahren, die im Hinblick auf die Wirksamkeit der Anlagen ein konsistentes Bild zeichnen. Trotzdem sind die Ergebnisse bei dem jetzigen Kenntnisstand nicht auf andere Standorte oder Verkehrssituationen übertragbar, z.B. Landstraßen. Die Untersuchungen basieren auf allgemeinen Erkenntnissen über psychologische Wirkmechanismen von Hinweisen bzw. Rückmeldungen auf das Fahrverhalten, ohne dass diese

in ein spezifisches Wirkmodell dynamischer Geschwindigkeitsbeeinflussung überführt worden sind (eine Übersicht über die psychologischen Wirkmechanismen enthält Forschungsbericht VV01, Schlag, Stern, Butterwegge & Degener, 2009). Ein solches Wirkmodell verknüpft die einzelnen Wirkungsmechanismen zu einem Gesamtmodell, spezifiziert es für die Besonderheiten von dynamischer Geschwindigkeitsbeeinflussung und definiert die Randbedingungen von denen die Wirkung abhängt. Legt man dieses Wirkmodell der Planung und Durchführung einer Anlagenevaluation zugrunde, wird neben dem konkreten Fall auch immer das Wirkmodell getestet. Besteht das Wirkmodell diesen Test, können die Erkenntnisse aus dem Wirkmodell auf andere Standorte oder Verkehrssituationen übertragen werden, ohne immer neue Nachweise an konkreten Aufstellorten. Daher wird für zukünftige Untersuchungen die Entwicklung und Anwendung eines spezifischen Wirkmodells dynamischer Geschwindigkeitsbeeinflussung empfohlen.

In dieser Untersuchung wurden Effektstärken verwendet, um die Wirksamkeit der verschiedenen Anlagentypen zu quantifizieren und zu vergleichen. Die Effektstärke ist ein standardisiertes Maß mit dem sich die Wirkung unterschiedlicher Maßnahmen mit unterschiedlichen Eigenschaften aus unterschiedlichen Untersuchungen miteinander vergleichen lassen. So können die Effektivität und die Einsatzgrenzen verschiedener Maßnahmen für den gleichen Zweck besser miteinander verglichen und eine begründete Auswahl getroffen werden. Für die Beeinflussung des Geschwindigkeitsverhaltens können zum Beispiel dynamische Geschwindigkeitsrückmeldungen, Polizeikontrollen (stationär, mobil) und baulichen Maßnahmen in ihrer Wirkung miteinander verglichen werden. Daher wird empfohlen, in zukünftigen Untersuchungen neben den klassischen Kennwerten immer Effektstärken als Maß der praktischen Bedeutsamkeit anzugeben.

6 Literatur

Bortz, J. & Döring, N. (2009). *Forschungsmethoden und Evaluation für Human- und Sozialwissenschaftler*. Berlin: Springer.

FGSV. (2007). *Richtlinien für die Anlage von Stadtstraßen RAS 06*. Köln: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen.

Rudolf, M. & Müller, J. (2004). *Multivariate Verfahren*. Göttingen: Hogrefe.

Sarris, V. & Reiß, S. (2005). *Kurzer Leitfaden der Experimentalpsychologie*. München: Pearson Studium.

Schlag, B., Stern, J., Butterwegge, P. & Degener, S. (2009). „Lob und Tadel“ Wirkungen des Dialog-Displays. Berlin: Unfallforschung der Versicherer (UDV) im Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V.

Schnabel, W. (1997). *Grundlagen der Straßenverkehrstechnik und der Verkehrsplanung, Band 1 Verkehrstechnik*. Berlin: Verlag für Bauwesen.

Wolf, G. (2005). *Straßenplanung*. München: Werner.

7 Anhang

7.1 Analysen zur Interpretierbarkeit der Ergebnisse

Aus den Messergebnissen soll auf die Wirksamkeit der verschiedenen Anlagenformen geschlossen werden (Effekt). Veränderungen in den Indikatoren (Kennwerten o. ä.) zwischen Kontrollmessung und Treatmentsituation sollen als Wirkungen der Anlagen interpretiert werden. Um dies in Konkurrenz zu anderen möglichen Ursachen (konfundierende Effekte) begründen zu können, muss eine Reihe von Voraussetzungen erfüllt werden.

7.1.1 Voraussetzungen aus dem Untersuchungsdesign

Das verwendete Untersuchungsdesign stellt ein Zeitreihenveränderungsdesign ohne Kontrollgruppe dar (Sarris & Reiß, 2005). Eine mögliche Kontrollgruppe könnte beispielsweise als Vergleichsstandort ohne Treatment bestehen, im vorliegenden Fall wurde jedoch ohne Vergleichsmessungen gearbeitet.

	Vorhermessung	Treatment (Anlage)	Nachhermessung
Versuchsstandort	Messwerte	Messwerte	Messwerte

Tabelle 4: Prinzip des realisierten Untersuchungsdesigns

Um bei einem solchen Design von den Messwertveränderungen auf die Wirkung des Treatments schließen zu können, müssen im Wesentlichen drei Voraussetzungen erfüllt sein:

- Zunächst muss es sich um eine **Zeitreihe von Messwerten** handeln. Der Reihencharakter bezieht sich neben der Abfolge der Untersuchungsphasen insbesondere auf eine Vielzahl von Messwerten innerhalb jedes einzelnen Untersuchungsabschnitts. Die Messwerte müssen von selben, mindestens aber vergleichbaren Individuen stammen. Durch diese Forderung wird erst ein Nachweis im Sinne der zweiten Forderung möglich. Zeitbezogene Einflüsse (z. B. jahreszeitliche Schwankungen) aber auch systematische Konfundierungen (weitere, beeinflussende Interventionen am Untersuchungsquerschnitt, z. B. bauliche Maßnahmen) können als Ursache ausgeschlossen werden.
- Weiterhin ist die **zeitliche Stabilität** der Messwerte, z. B. Tagesmittelwerte, innerhalb der Kontrollphasen zu fordern. Andernfalls könnten beobachtete Unterschiede zwischen den Versuchsbedingungen auch durch die Wirkung weiterer Einflüsse, z. B. jahreszeitliche Schwankungen, zumindest teilweise mitbedingt sein.
- Schlussendlich ist diese Form der Untersuchung uneingeschränkt nur bei Interventionen ohne nennenswerte **Langzeit- oder Nachwirkungseffekte** interpretierbar, da aufgrund der fehlenden Vergleichsgruppe nicht zwischen Nachwirkung und Instabilität der Kontrollphase, z. B. durch Witterungseinflüsse, differenziert werden kann. Ein Ausschluss von Nachwirkungseffekten (dargestellt als Stabilität in der Nachhermessung) ist jedoch problemlos möglich.

Diese Voraussetzungen wurden im Rahmen der Untersuchung geprüft. Die Ergebnisse sind im Kapitel 3.2.4 sowie nachfolgend im Kapitel 7.1 dargestellt. Als Schlussfolgerung kann bereits hier vorweg genommen werden, dass in dieser Untersuchung die aufgeführten Voraussetzungen erfüllt wurden.

7.1.2 Fahrzeuganzahl und DTV

Die oben beschriebenen methodischen Voraussetzungen beinhalten u. a. die Gleichartigkeit der Einzelelemente, hier der erfassten Fahrzeuge. Gleichartigkeit ist dabei vor dem Hintergrund der Untersuchungsfragestellung zu fordern. Für die Wirksamkeit geschwindigkeitsbeeinflussender Anlagen bestehen keinerlei Einschränkungen hinsichtlich des adressierten Fahrzeugkollektives, sie sollen vielmehr auf alle Fahrzeugführer wirken. Daher sind an den Untersuchungsort und die dort herrschende Anzahl und Zusammensetzung des Verkehrs keine besonderen Voraussetzungen geknüpft. Damit werden auch keine speziellen Analysen/Aufzeichnungen notwendig. In jedem Fall sollte die vorgefundene Situation aber im gesamten Untersuchungsverlauf konstant bleiben. Eventuell auftretende (systematische) Veränderungen in Verkehrsmenge und/oder Verkehrszusammensetzung könnten sonst einen Einfluss auf die Ergebnisse ausüben. Daher ist zunächst die absolute und relative Anzahl der Fahrzeuge am Untersuchungsquerschnitt zu betrachten. Tabelle 5 zeigt die Fahrzeuganzahl je Versuchsphase und Fahrtrichtung.

Phase	DD	GA2	GA1
Vorhermessung			
MP 204	102.340	91.767	171.823
MP 205	105.701	96.209	160.632
Treatment			
MP 204	335.246	259.475	238.943
MP 205	338.583	260.138	236.684
Nachhermessung			
MP 204	707.423	171.823	108.361
MP 205	712.089	160.632	109.204

Tabelle 5: Fahrzeuganzahl je Versuchsphase

Die in der Tabelle 5 aufgetragenen absoluten Anzahlen erlauben jedoch keinen Vergleich, da die Dauer der einzelnen Untersuchungsphasen deutlich voneinander abwich (vgl. Tabelle 2). Erst die tagesbezogene Darstellung in Tabelle 6 zeigt eine bewertbare Gegenüberstellung. Darin sind pro Untersuchungsphase die arithmetischen Mittelwerte der je Tag erfassten Fahrzeuganzahl aufgetragen (durchschnittlicher Tagesverkehr-DTV).

Phase	DD	GA2	GA1
Vorhermessung			
MP 204	3.349	3.398	3.818
MP 205	3.186	3.435	3.794
Schulferien (Zeitanteil)	60 %	11 %	0 %
Treatment			
MP 204	3.667	3.706	3.620
MP 205	3.654	3.716	3.533
Schulferien (Zeitanteil)	14 %	20 %	72 %
Nachhermessung			
MP 204	3.744	3.818	3.870
MP 205	3.677	3.794	3.900
Schulferien (Zeitanteil)	28 %	0 %	0 %

Tabelle 6: DTV in Fz/24h und Ferienanteil nach Untersuchungsphasen

Es zeigen sich Schwankungen der DTV-Werte zwischen etwa 3.200 Fz/24 h und 3.900 Fz/24 h. Diese Schwankungsbreite impliziert Schwankungen um den Gesamtmittelwert von etwa $\pm 10\%$ (± 350 Fz/24 um 3.500 Fz/24h). Zeiten mit Schulferien werden häufig als bedeutsamer Einfluss auf die tägliche Fahrzeugzahl diskutiert. Auch im vorliegenden Fall zeigt sich ein Zusammenhang. In Abbildung 17 sind die ermittelten DTV-Werte der Untersuchungsphasen in Reihenfolge des Ferienanteils aufgetragen. Es bestätigt sich die Tendenz abnehmender Fahrzeugzahlen bei steigendem Ferienanteil.

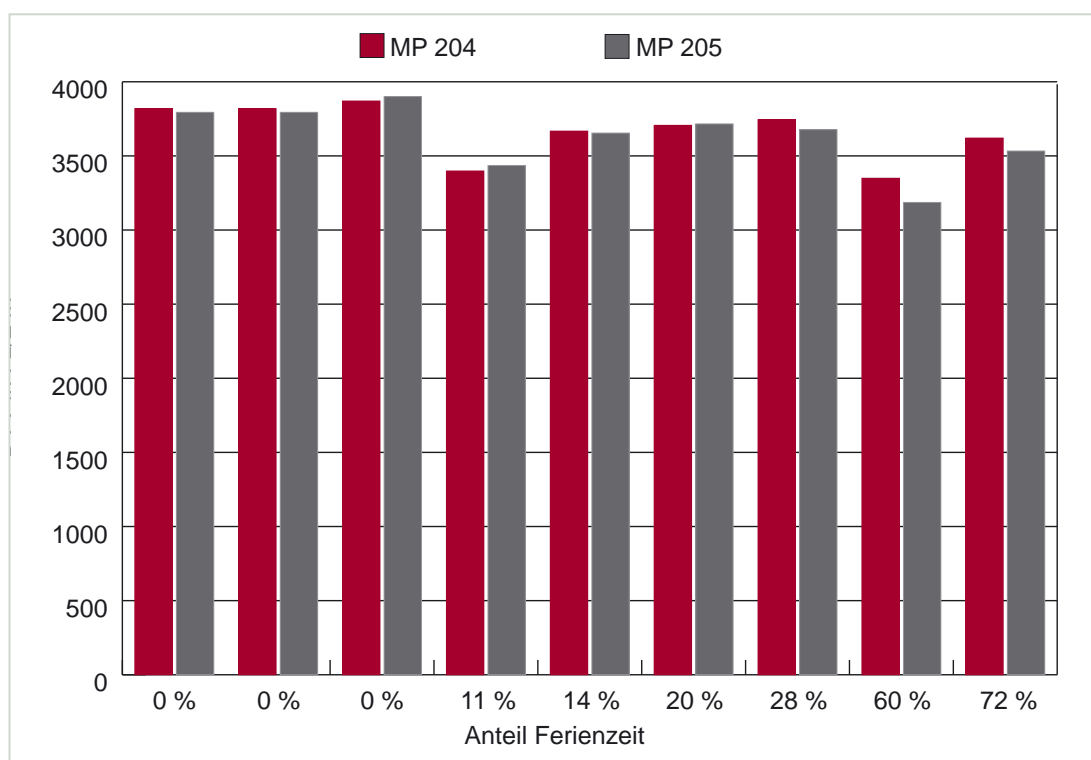


Abbildung 17: DTV der Untersuchungsphasen geordnet nach Ferienanteil

Die Korrelation zwischen Anteil der Ferienzeit und DTV fällt mit $r = -0,57$ am MP204 etwas geringer aus als in der Gegenrichtung MP 205 mit $r = -0,71$ (vgl. Abbildung 17). In den Zeiten von Schulferien ist also ein geringeres Verkehrsaufkommen zu beobachten. Neben dem Ferienanteil existieren jedoch weitere Einflüsse. Dies zeigt sich anschaulich an dem verbleibenden mehr oder weniger systematischen Auf und Ab der Werte. Da zudem die Betrachtungen zu frei fahrenden Fahrzeugen (vgl. Kapitel 3.2.6) keine bedeutsamen Einflüsse auf die Anlagenwirksamkeit in Abhängigkeit der Verkehrsbelegung ergeben haben, ist aufgrund des unterschiedlichen Anteils von Ferienzeiten zwischen den Untersuchungsphasen nicht von einem bedeutsamen Einfluss auf das Untersuchungsergebnis auszugehen.

7.1.3 Zusammensetzung der Stichproben nach Fahrzeuglängen

Nicht nur aus Schwankungen der Verkehrsmenge könnten Einflüsse auf die Interpretierbarkeit resultieren, auch die Zusammensetzung des Verkehrs ist zu berücksichtigen. Tabelle 7 stellt die Verteilung des Fahrzeugkollektives nach Fahrzeuglängen für MP204 dar, Tabelle 8 für MP205.

Es zeigt sich, dass am MP 204 der überwiegende Anteil dem Bereich Pkw und ähnlicher Fahrzeuge zuzuordnen ist (mögliche Zuordnungen von Fahrzeugtypen siehe Tabelle 3). Für die Zusammensetzung interessant könnte zunächst der Anteil größerer Fahrzeuge im Bereich Lkw/Bus sein (hier Längen größer 9,2 m). Der summierte Anteil dieser beiden Klassen zeigt sich mit geringen Abweichungen um den Wert von 2% als relativ stabil. Auch der heterogene Anteil kleiner Fahrzeuge (Längen kleiner 3,6 m) bewegt sich in einem relativ engen Bereich zwischen etwa 4% und 10%. Für die Gegenrichtung MP 205 stellt sich die Situation bis auf eine Ausnahme grundsätzlich vergleichbar dar.

Wie in Tabelle 8 ersichtlich, stellt die Nachhermessung zum Dialog-Display eine gewisse Ausnahme dar. Hier beträgt der Anteil von Fahrzeugen kürzer 3,6 m mit 30,4% den dreifachen Wert aller anderen Untersuchungsphasen. Da eine temporäre Veränderung im Fahrzeugkollektiv so drastischen Ausmaßes als sehr unwahrscheinlich anzusehen ist, könnten eventuelle Fehler bei der Datenaufzeichnung oder -speicherung verantwortlich sein.

Phase	DD	GA 2	GA 1
Vorhermessung			
0,0 - 3,5 m	3,6%	4,1%	8,5%
3,6 - 6,7 m	92,5%	92,0%	87,4%
6,8 - 9,1 m	2,8%	2,7%	2,9%
9,2 - 11,5 m	0,9%	0,9%	1,0%
11,6 - 30,0 m	0,2%	0,2%	0,2%
Treatment			
0,0 - 3,5 m	5,6%	7,0%	10,1%
3,6 - 6,7 m	89,9%	88,7%	85,7%
6,8 - 9,1 m	2,9%	2,9%	3,0%
9,2 - 11,5 m	1,3%	1,1%	1,0%
11,6 - 30,0 m	0,3%	0,2%	0,2%
Nachhermessung			
0,0 - 3,5 m	8,8%	8,5%	9,0%
3,6 - 6,7 m	86,9%	87,4%	87,0%
6,8 - 9,1 m	3,0%	2,9%	2,8%
9,2 - 11,5 m	1,1%	1,0%	1,1%
11,6 - 30,0 m	0,2%	0,2%	0,2%

Tabelle 7: Zusammensetzung nach Fahrzeuglängen und Versuchsphasen am MP 204

7.1.4 Vergleich der Kontrollphasen

Die Vergleichbarkeit der Kontrollphasen ist eine Voraussetzung für die Interpretation der Einzelwirksamkeit jeder Anlage und darüber hinaus dem Wirkungsvergleich der Anlagen zuträglich. Für die Interpretation der Einzelwirksamkeit jeder Anlage wurde im Kapitel 7.1 gefordert, dass keine Nachwirkungseffekte auftreten dürfen. Das bedeutet, dass die zu einer Anlage gehörigen Kontrollphasen (Vorher- und Nachhermessung) keine bedeutsamen Differenzen aufweisen. Für die Interpretation des Wirkungsvergleichs wäre es darüber hinaus zuträglich, wenn alle Kontrollphasen miteinander vergleichbar wären. Streng methodisch betrachtet, könnte der vorliegende Anlagenvergleich auf einer Abfolge von drei nicht identischen Teiluntersuchungen beruhen, die „zufällig“ am selben Untersuchungsort erfolgten. Wenn jedoch jede Anlage vergleichbare „Ausgangsbedingungen“ hat, ist das Vergleichsergebnis insgesamt belastbarer.

Phase	DD	GA 2	GA 1
Vorhermessung			
0,0 - 3,5 m	4,0 %	3,7 %	8,5 %
3,6 - 6,7 m	90,7 %	91,5 %	86,0 %
6,8 - 9,1 m	2,8 %	2,8 %	3,0 %
9,2 - 11,5 m	2,1 %	1,6 %	1,9 %
11,6 - 30,0 m	0,4 %	0,3 %	0,5 %
Treatment			
0,0 - 3,5 m	6,4 %	6,7 %	11,0 %
3,6 - 6,7 m	88,4 %	88,0 %	83,9 %
6,8 - 9,1 m	3,0 %	3,0 %	3,3 %
9,2 - 11,5 m	1,7 %	1,9 %	1,5 %
11,6 - 30,0 m	0,4 %	0,5 %	0,4 %
Nachhermessung			
0,0 - 3,5 m	30,4 %	8,5 %	10,3 %
3,6 - 6,7 m	66,1 %	86,0 %	85,0 %
6,8 - 9,1 m	3,0 %	3,0 %	3,3 %
9,2 - 11,5 m	0,4 %	1,9 %	1,2 %
11,6 - 30,0 m	0,2 %	0,5 %	0,3 %

Tabelle 8: Zusammensetzung nach Fahrzeuglängen und Versuchsphasen am MP 205

Im Folgenden wird zuerst die Interpretation der Einzelwirksamkeit jeder Anlage überprüft. Die Ausgangshypothese muss daher zunächst die Gleichheit der Kontrollphasen einer Anlage hinsichtlich des gemessenen Geschwindigkeitsverhaltens behaupten. Anschaulich gesprochen sollten sich zur Begründung einer alleinigen Anlagenwirkung die zentralen Geschwindigkeitskennwerte zwischen Vorher- und Nachherphase je Anlage nicht unterscheiden.

In den nachfolgenden Tabellen sind alle Kontrollphasen in ihrer jeweiligen Funktion bzgl. der zugehörigen Anlage aufgetragen (MP 204 Tabelle 9, MP 205 Tabelle 10). Die untersten drei Zellen stellen die Differenzen zwischen Vorher- und Nachhermessung der Kennwerte zu einem Anlagentyp dar. Diese betragen bei der Durchschnittsgeschwindigkeit maximal 0,2 km/h und bei der v_{85} 1,0 km/h. Diese Werte sind ebenso wie die Abweichung von höchstens 1,7 Prozentpunkten beim Anteil zu schnell fahrender Fahrzeuge ($h_{\ddot{u}}$) als sehr niedrig einzuschätzen.

Phase	DD	GA 2	GA 1
Vorhermessung			
v_d in km/h	31,8	31,4	31,6
v_{85} in km/h	37,0	36,0	37,0
$h_{\ddot{u}}$ in %	59,4	56,1	57,8
Nachhermessung			
v_d in km/h	31,9	31,6	31,6
v_{85} in km/h	38,0	37,0	37,0
$h_{\ddot{u}}$ in %	60,4	57,8	58,0
Differenz (Betrag)			
v_d in km/h	0,1	0,2	0,0
v_{85} in km/h	1,0	1,0	0,0
$h_{\ddot{u}}$ in Prozentpunkten	1,0	1,7	0,2

Tabelle 9: Vergleich der Kontrollphasen am MP204

In der Gegenrichtung am MP 205 (Tabelle 10) gilt die getroffene Einschätzung grundsätzlich äquivalent, wenn auch die Schwankungen in ihren Absolutbeträgen etwas größer sind als am MP 204. Hier zeigt sich, dass die Verhältnisse am MP 204 als stabiler anzusehen sind als am MP 205. Vor allem hebt sich die Nachhermessung zum Dialog-Display deutlich von der Entwicklung im restlichen Untersuchungsverlauf ab. Tabelle 10 zeigt die Abweichung anhand der aufgetragenen Differenzwerte. Ursache hierfür sind die Werte der Nachhermessung, die Vorhermessung ordnet sich relativ unauffällig in den Kontext der Gesamtuntersuchung ein.

Phase	DD	GA 2	GA 1
Vorhermessung			
v_d in km/h	31,3	30,3	30,8
v_{g5} in km/h	37,0	36,0	37,0
h_{ij} in %	55,0	46,6	50,0
Nachhermessung			
v_d in km/h	29,0	30,8	30,4
v_{g5} in km/h	34,0	37,0	36,0
h_{ij} in %	37,0	50,0	47,2
Differenz (Bertrag)			
v_d in km/h	2,3	0,5	0,4
v_{g5} in km/h	3,0	1,0	1,0
h_{ij} in Prozentpunkten	18,0	3,4	2,8

Tabelle 10: Vergleich der Kontrollphasen am MP 205

An dieser Stelle ist die Bedeutsamkeit der gefundenen Unterschiede zu bewerten. Wie bereits in Kapitel 3.2.3 dargestellt, werden dafür üblicherweise inferenzstatistische Kalkulationen (Signifikanztests) herangezogen. Da Signifikanztests aber stichprobenabhängig sind, werden bei sehr großen Stichprobenumfängen selbst minimale Unterschiede inferenzstatistisch betrachtet als hoch bedeutsam klassifiziert. Beispielsweise beträgt die Mittelwertdifferenz zwischen Vorher- und Nachhermessung zum Dialog-Display am MP 204 $\Delta v = 0,1$ km/h. Inferenzstatistisch wird dieser Unterschied als hoch bedeutsam, d. h. statistisch sehr signifikant, klassifiziert. Die Signifikanz des Unterschiedes gründet sich auf dem enormen Stichprobenumfang von rund 800.000 Fahrzeugen. Ein alternatives, vom Stichprobenumfang unabhängiges Kriterium stellt die Effektstärke dar (vgl. Kapitel 3.2.3). Die Ergebnisse des Kontrollphasenvergleichs zeigt zusammengefasst Tabelle 11. Ausgedrückt in Effektstärken bedeutet beispielsweise der zum Dialog-Display am MP 204 beobachtete Mittelwertunterschied einen trivialen Effekt von $D = 0,03$. Vor dem Hintergrund der beobachteten Anlageneffekte (vgl. Abbildung 10) kann dieser als unbedeutend angesehen werden. Die Kontrollphasen sind somit als vergleichbar und stabil in ihrer Ausprägung anzusehen. Der realisierte Untersuchungsplan erlaubt gültige Schlüsse auf Anlageneffekte.

Offen bleibt, wie bereits zum Abschluss des vorhergehenden Kapitels, die Interpretation der gefundenen Abweichung der Nachherphase am MP 205. Die im Forschungsbericht VV01 bereits diskutierte erhöhte Kontrolltätigkeit der Polizei in diesem Zeitraum (vgl. Schlag, Stern, Butterwegge & Degener, 2009) könnte zumindest für die Abweichungen der Geschwindigkeitskennwerte relevant sein. Die oben aufgezeigten Abweichungen der Fahrzeugzusammensetzung

Kontrollphase zu	DD	GA 2	GA 1
An MP 204 MP 205	trivial	trivial	trivial

Tabelle 11: Ergebnis des Vergleichs der Kontrollphasen (Effektstärke)

sind damit jedoch schwerlich begründbar. Es verbleiben also im Nachhinein nicht ermittelbare weitere Einflüsse. Auch das Argument fehlerhafter Datenaufzeichnung oder -speicherung kann weder bekräftigt noch ausgeräumt werden. Für den nachfolgenden Vergleich aller Kontrollphasen wird daher die Nachherphase zum Dialog-Display am MP 205 im Sinne eines „Ausreißerwertes“ nicht weiter berücksichtigt.

Nachdem die Interpretation der Einzelwirksamkeit jeder Anlage überprüft wurde, verbleibt nun noch die Frage nach der Vergleichbarkeit aller Kontrollphasen. Wenn methodisch auch nicht zwingend notwendig, ermöglicht dies eine belastbarere Interpretation des Anlagenvergleichs. Tabelle 12 berücksichtigt die Kennwerte aller Kontrollphasen (Tabelle 9, Tabelle 10) beider Fahrtrichtungen, jedoch nicht die Nachhermessung zu Dialog-Display am MP 205. Dargestellt sind, zur Abschätzung der Variationsbreite, jeweils der minimale und maximale Wert sowie der Mittelwert über alle Kontrollphasen. Die letzte Spalte enthält den Quotienten aus jeweils größter Abweichung und zugehörigem Mittelwert in Prozent. Sie stellt somit einen Kennwert der relativen Schwankung dar.

Kennwert	Minimaler Wert	Maximaler Wert	Mittelwert	Schwankung um MW
v_d in km/h	30,3	31,9	31,2	2,9%
v_{85} in km/h	36,0	38,0	36,8	3,3%
$h_{\ddot{u}}$ in %	46,6	60,4	54,4	14,3%

Tabelle 12: Vergleichbarkeit aller Kontrollphasen, Werte beider MP berücksichtigt, ohne Nachhermessung zu Dialog-Display am MP 205

Hierbei zeigt sich zunächst eine Rangreihung der Indikatoren. Demnach ist die Durchschnittsgeschwindigkeit v_d als stabilster Kennwert anzusehen, gefolgt von der v_{85} . Der Anteil von Fahrzeugen mit Überschreitung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit $h_{\ddot{u}}$ unterliegt den größten Schwankungen und stellt damit den unsichersten der drei Parameter dar. Die beobachteten Schwankungen einzelnen Kontrollphasen um den Mittelwert betragen maximal $\Delta v_d = 0,9$ km/h. Diese Schwankung entspricht einer Effektstärke $D = 0,15$ und damit einem „kleinen Effekt“ (vgl. Kapitel 3.2.3). Die Größenordnung dieser Schwankungen entspricht somit etwa dem Anlageneffekt des einfarbigen Geschwindigkeitsanzeigers.

Diese Ausführungen aktualisieren die Frage nach der Bedeutsamkeit beobachteter Unterschiede. Da sich die Größenordnung des Geschwindigkeitsniveaus in den Kontrollphasen nicht drastisch verändert, kann von überwiegend vergleichbaren Bedingungen der drei Anlagen ausgegangen werden. Eine schlussendliche Beantwortung dieser Frage lässt sich im Rahmen der vorliegenden Untersuchung jedoch nicht leisten. Um bewerten zu können, ob Schwankungen der Vorherphasen von $\Delta v_d = 0,9$ km/h einen Einfluss auf das Untersuchungsergebnis haben, bedarf es ergänzender Untersuchungen der Anlagenformen. Die zum Dialog-Display berichteten Effekte (Schlag, Stern, Butterwegge & Degener, 2009) lassen einen Zusammenhang zwischen Ausgangsniveau der Geschwindigkeit (dort Werte $v_d = 26,9 \dots 34,2$ km/h) und dem erzielten Effekt erkennen. Ob ein solcher Zusammenhang auch für die Geschwindigkeitsanzeiger besteht, ist ohne weitere empirische Untersuchungen nicht abschätzbar.

7.2 Einzelwirksamkeit der untersuchten Anlagen

Wie in Kapitel 3.2.1 dargelegt, stellt die einzelne Wirkung jeder Anlagenform die Grundlage des angestellten Vergleichs dar. Da es zur Berechnung der Wirkung im realisierten Untersuchungsdesign zwei Möglichkeiten gibt, ist vorher die Bezugsgrundlage zu explizieren.

7.2.1 Bezugsgröße zur Anlagenwirkung

Prinzipiell ergeben sich zur Berechnung der Anlagenwirkung zwei mögliche Bezüge:

- (1) Bezug des Kennwertes unter Anlagenwirkung (Treatment) nur zur Vorhermessung oder
- (2) Bezug des Kennwertes unter Anlagenwirkung (Treatment) zum Mittelwert von Vorher- und Nachhermessung.

Bei der Entscheidung zwischen beiden Bezugsmöglichkeiten wurde berücksichtigt, dass es zu Niveauunterschieden zwischen den Kontrollphasen (Vorher- und Nachhermessung) einer Anlage kommen kann, was in geringem Ausmaß in dieser Untersuchung auch tatsächlich der Fall gewesen ist (vgl. Kapitel 7.1.4). Die erste Bezugsmöglichkeit nur zur Vorhermessung unter- bzw. überschätzt den Anlageneffekt systematisch, wenn es Schwankungen zwischen den Kontrollphasen gibt, je nachdem, ob die Kennwerte der Vorherphase im Vergleich zur Nachherphase höher oder niedriger liegen. Die Niveauverschiebungen zwischen Vorher- und Nachhermessung müssten dann interpretativ berücksichtigt werden.

Daher wurde die zweite Bezugsmöglichkeit gewählt. Durch den doppelten Bezug zu Vorher- und Nachhermessung werden Verschiebungen zwischen den Kontrollphasen implizit berücksichtigt. Entsprechende Interpretationen erübrigen sich. Nachfolgend wird daher als Wirkung einer Anlage die Veränderung von Kennwerten im Bezug zu Mittelwert aus Vorher- und Nachhermessung betrachtet. In den nächsten Kapiteln werden analog der in Kapitel 3.2.1 verwendeten und bereits dort erläuterten Form (vgl. Abbildung 7) die Wirkungen der untersuchten Anlagen an beiden Messpunkten dargestellt.

7.2.2 Dialog-Display (DD)

Die Wirkung des Dialog-Displays am Messpunkt 204 Fahrtrichtung Herrmannstraße wurde im Kapitel 3.2.1 dargestellt und wird daher hier nicht wiederholt. Abbildung 18 zeigt die drei klassischen Kennwerte Durchschnittsgeschwindigkeit (v_D), 85. Perzentil der Geschwindigkeitsverteilung (v_{85}) und den Anteil von Fahrzeugen mit Überschreitung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit ($h_{\ddot{u}}$) für den MP 205 in Gegenrichtung. Dargestellt ist jeweils der Mittelwert der Kennwerte für die Betriebsphase des Dialog-Displays und die beiden Kontrollphasen davor und danach. Die geringere Wirkung des Dialog-Displays in der Gegenrichtung gründet sich vor allem auf den nicht erfolgten Wiederanstieg der Kennwerte in der Nachherphase. Dies kann vor dem Hintergrund der in Kapitel 7.1.3 und 7.1.4 angestellten Betrachtungen nicht als Anlagenwirkung interpretiert werden und ist nicht näher beschreibbaren äußeren Umständen zuzuschreiben.

7.2.3 Zweifarbiger Geschwindigkeitsanzeiger (GA 2farbig)

Die Kennwerte des zweifarbigen Geschwindigkeitsanzeigers werden analog des Dialog-Displays präsentiert. Für den zweifarbigen Geschwindigkeitsanzeiger ergeben sich verglichen mit dem Dialog-Display etwas geringere Effekte in allen Kennwerten. Am deutlichsten zeigt sich die Veränderung im Anteil zu schnell fahrender Fahrzeuge (Abbildung 19).

Wie in Kapitel 7.1 dargestellt, finden sich zwischen Vorher- und Nachherphase beider Messpunkte im Untersuchungsteil zum zweifarbigen Geschwindigkeitsanzeiger keine nennenswerten Differenzen. Daher zeigt sich der erzielte Effekt in gleicher Größenordnung auch am MP 205 in Gegenrichtung (Abbildung 20).

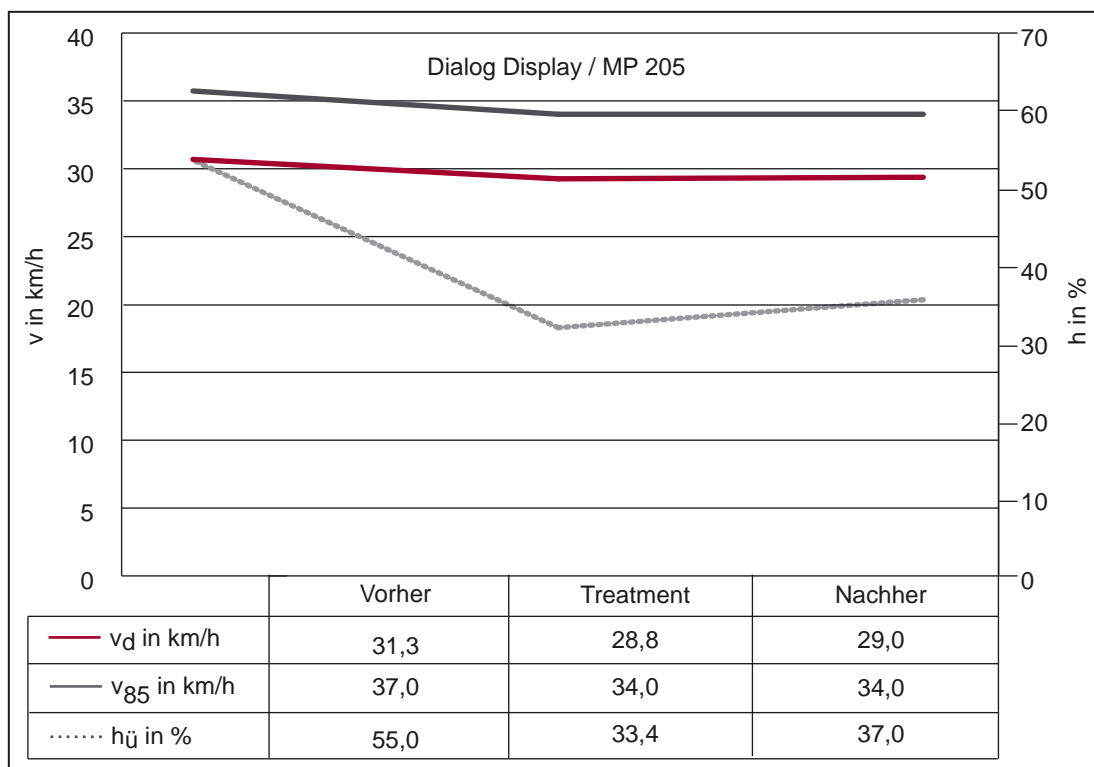


Abbildung 18: Wirkung Treatment Dialog-Display, MP 205

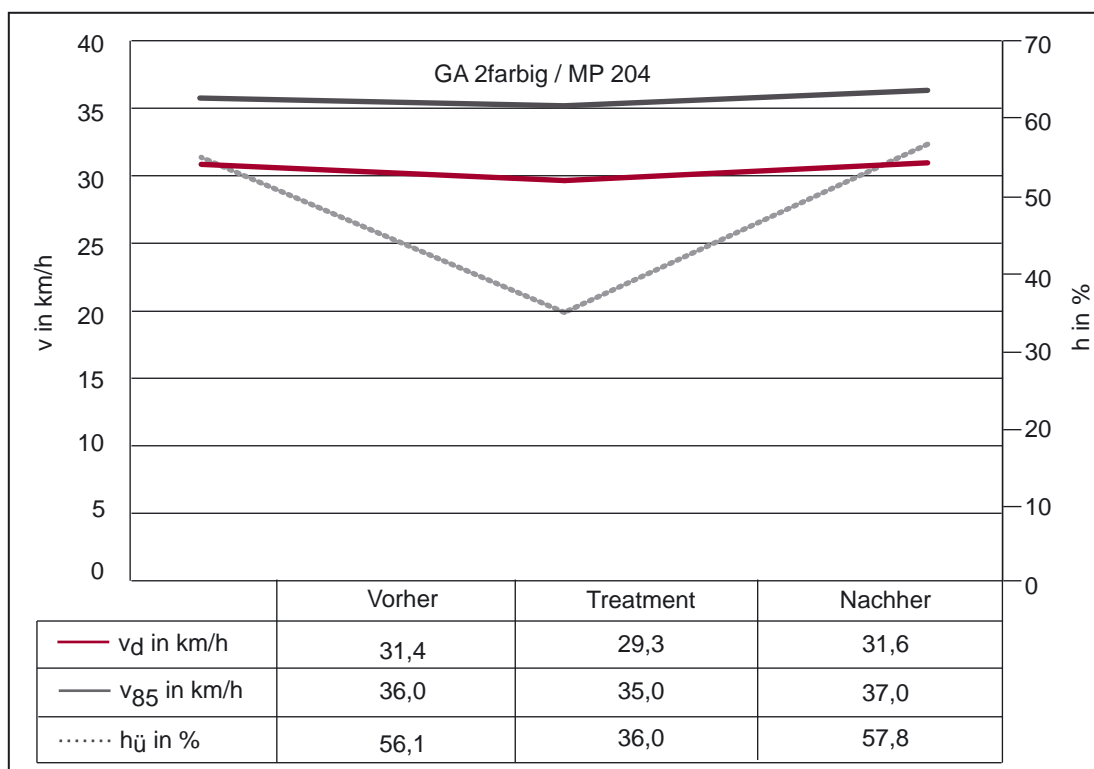


Abbildung 19: Wirkung Treatment GA 2farbig, MP 204

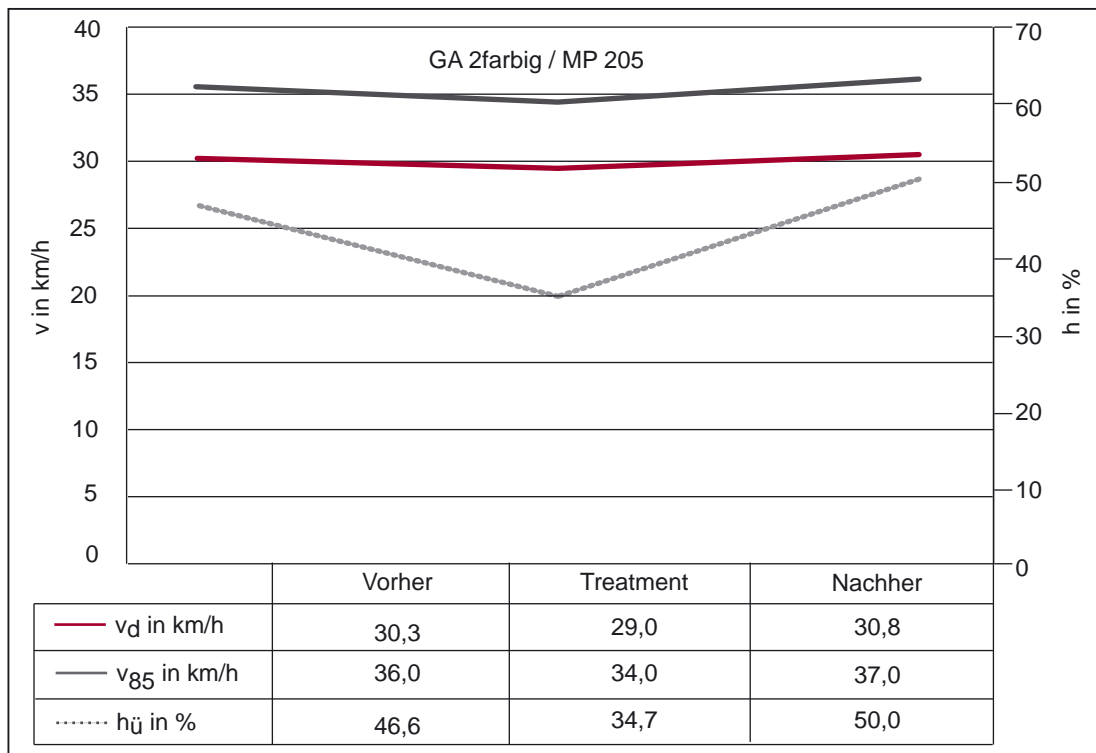


Abbildung 20: Wirkung Treatment GA 2farbig, MP 205

7.2.4 Einfarbiger Geschwindigkeitsanzeiger (GA 1farbig)

Schließlich erzielt der einfarbige Geschwindigkeitsanzeiger die im Vergleich geringste Wirkung. Die Reduktion im Geschwindigkeitsmittel bewegt sich am MP 204 mit $\Delta v_d = 1,0$ km/h etwa im Bereich der für die Kontrollphasen beschriebenen Schwankungsbreite (vgl. Kapitel 7.1.4) und muss daher als marginal bewertet werden (Abbildung 21).

Wie Abbildung 22 für die Gegenrichtung zeigt, ist der dort erzielte Effekt dieser Anlagenform vor dem Hintergrund eben umschriebener Schwankungen kaum noch wahrnehmbar. Lediglich der Indikator $h_{\ddot{u}}$ ist in der Lage, eine Wirkung der Anlage erahnen zu lassen.

7.2.5 Effektstärke und ergänzende Kennwerte der Untersuchungsphasen

Neben den etablierten Kennwerten v_d , v_{85} und $h_{\ddot{u}}$ wurden weitere Kennwerte auf Basis der Geschwindigkeitsmesswerte berechnet. Dazu gehören Kennwerte zur Beschreibung von Verteilungsform und Streuung. Dies sind Spannweite, Standardabweichung, Schiefe und Wölbung. Darüber hinaus wurden die Effektstärken der Mittelwertveränderungen durch die jeweiligen Anlagen berechnet. Eine Beschreibung zum Maß der Effektstärke und die Effektstärken für MP 204 enthält Kapitel 3.2.3. In Tabelle 13 sind alle angesprochenen Kennwerte für den MP 204 dargestellt.

Die Spannweite beschreibt die absolute Breite der Verteilung anhand der Differenz des minimalen Messwertes zum maximalen Messwert. Da es sich bei diesen Extremwerten jedoch um sehr sel-

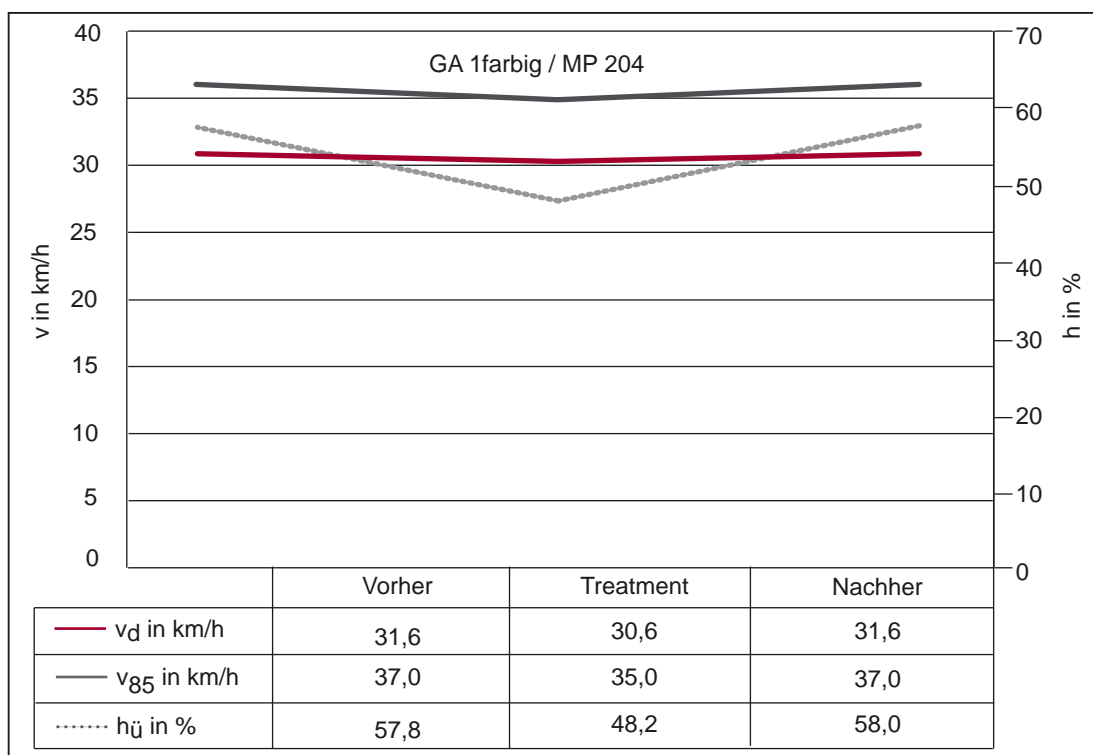


Abbildung 21: Wirkung Treatment GA 1farbig, MP 204

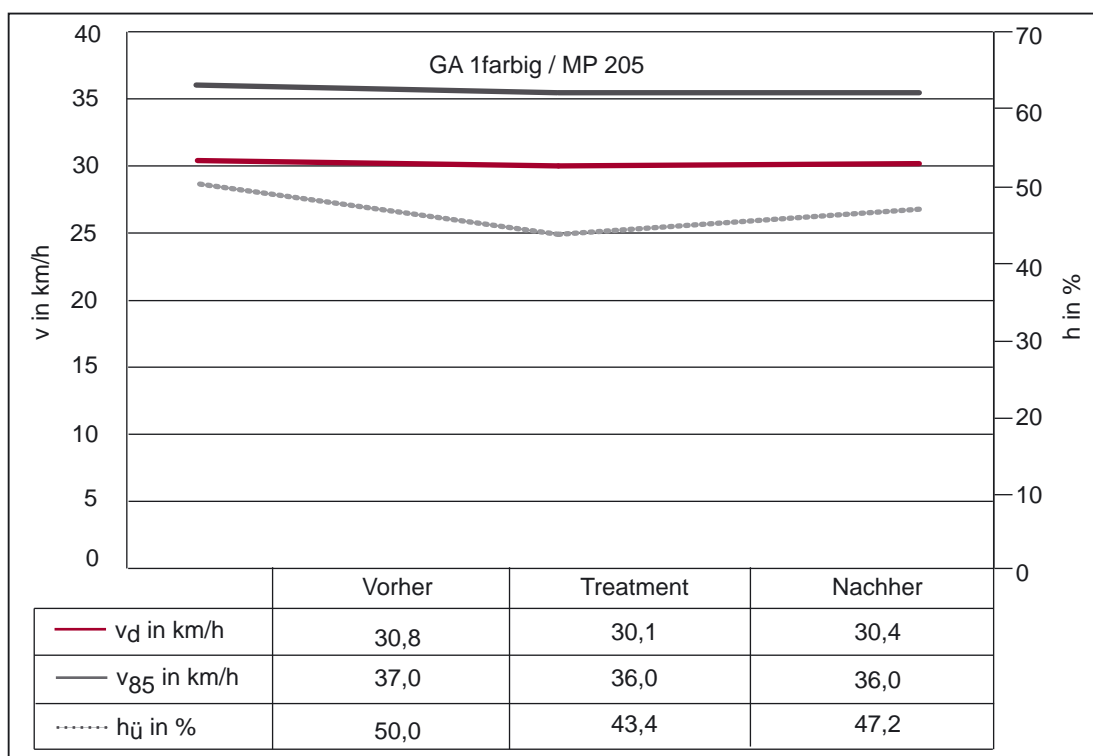


Abbildung 22: Wirkung Treatment GA 1farbig, MP 205

Phase	DD	GA2	GA1
Vorhermessung			
Spannweite S in km/h	76	88	74
Standardabweichung in km/h	5,74	5,64	5,96
Schiefe s	0,428	0,444	0,395
Wölbung k	2,332	2,492	2,227
Treatment			
Spannweite S in km/h	79	89	104
Standardabweichung in km/h	5,39	5,27	5,67
Schiefe s	0,881	0,678	0,589
Wölbung k	3,583	3,818	3,344
Effektstärke D	0,53	0,39	0,17
Nachhermessung			
Spannweite S in km/h	80	74	75
Standardabweichung in km/h	6,10	5,96	5,99
Schiefe s	0,380	0,395	0,403
Wölbung k	2,188	2,227	2,315

Tabelle 13: Effektstärke und weiterführende Kennwerte am MP 204 für alle Anlagen

tene und daher wenig charakteristische Ereignisse im langen Untersuchungszeitraum handelt, sollte an dieses Maß keine vertiefte Interpretation verankert werden.

Die Standardabweichung kennzeichnet die in den Stichprobenwerten vorhandene Streuung. Sie charakterisiert damit die durchschnittliche Abweichung der Einzelwerte vom arithmetischen Mittelwert. Anhand der Standardabweichung zeigt sich die größere Heterogenität im Geschwindigkeitsverhalten am MP205 (vgl. Tabelle 14), verglichen mit MP 204.

Die Schiefe ist ein statistisches Maß zur Beschreibung der Neigung einer Verteilung. Positive Schiefewerte zeigen eine leicht rechtsschiefe (=linkssteile) Gestalt. Dies bedeutet, dass von links, also den kleinen Werten her die Verteilung etwas steiler ansteigt als sie nach rechts hin abfällt. Somit sind Werte unterhalb des Mittelwertes etwas häufiger zu finden als Werte oberhalb.

Die Wölbung (Kurtosis oder Exzess) schließlich beschreibt die Übereinstimmung einer gegebenen Verteilung mit derjenigen der Standardnormalverteilung unter dem Gesichtspunkt der Gipfelbreite. Finden sich anteilmäßig mehr Werte im Bereich des Mittelwertes als bei der Normalverteilung, entsteht eine im Vergleich dazu steilgipfligere Verteilung. Verteilen sich dagegen die Werte deutlicher in die Randbereiche hinein, entstehen abgeflachte (flachgipflige) Verteilungen. Da sich die Werte in beiden Fällen unterhalb von $k=3$ bewegen, handelt es sich um eher flachgipflige Verteilungen. Dies bedeutet, dass die Anteilswerte in der Mehrheit der Kontrollphasen zu Minimum und Maximum hin weniger schnell abnehmen, als sie es bei einer Standardnormalverteilung tun würden. Die höheren Werte in den Treatmentphasen zeigen schmalgipfligere Verteilungsformen an und illustrieren damit das homogenere Geschwindigkeitsverhalten unter Anlagenwirkung.

Phase	DD	GA 2	GA 1
Vorhermessung			
Spannweite S in km/h	77	73	78
Standardabweichung in km/h	6,19	5,90	6,48
Schiefe s	0,224	0,298	0,134
Wölbung k	2,065	2,433	1,680
Treatment			
Spannweite S in km/h	81	104	99
Standardabweichung in km/h	5,99	5,62	6,29
Schiefe s	0,497	0,471	0,213
Wölbung k	2,480	3,866	2,267
Effektstärke D	0,22	0,26	0,08
Nachhermessung			
Spannweite S in km/h	92	78	74
Standardabweichung in km/h	5,96	6,48	6,38
Schiefe s	0,200	0,134	0,153
Wölbung k	1,816	1,680	1,894

Tabelle 14: Effektstärke und weitere Kennwerte am MP 205 für alle Anlagen

7.3 Trendanalysen

7.3.1 Vorgehen und Methodik am Beispiel der zweifarbigen Geschwindigkeitsanzeige (GA 2)

Bei Zeitreihenanalysen interessiert die Frage, ob es einen Trend in den Daten der einzelnen Untersuchungsphasen gibt. Daraus ergeben sich wichtige Informationen für:

- **Angemessenheit des Untersuchungsdesigns:** Im Kapitel 7.1.1 wurde ausgeführt, dass beim gewählten Design die beobachtete Anlagenwirkung nur dann ursächlich auf die Anlage zurückgeführt werden kann, wenn die Messwerte innerhalb der Kontrollphasen (Vorher- und Nachherphase) zeitlich stabil sind.
- **Gewöhnungs- und Nachwirkungseffekte:** Langfristige Trends in den Treatmentphasen zeigen Gewöhnungseffekte auf. Der Trend in den Nachherphasen liefert Hinweise auf Nachwirkungseffekte. Zwar kann bei diesem Design nicht zwischen Nachwirkungseffekt und Instabilität der Nachherphasen aufgrund externer Einflüsse unterschieden werden, ein Ausschluss von Nachwirkungseffekten ist jedoch problemlos möglich.
- **Regelmäßigkeit des Geschwindigkeitsverhaltens im zeitlichen Verlauf.**

Als zentrale Indikatorvariable wird dabei die Durchschnittsgeschwindigkeit: v_D (arithmetisches Mittel der Geschwindigkeit) in km/h verwendet.

Das prinzipielle Vorgehen bei einer Zeitreihenanalyse wird im Folgenden skizziert und am Beispiel der zweifarbigen Geschwindigkeitsanzeige illustriert. Jede Zeitreihenanalyse startet mit der Suche nach einem langfristigen Trend mittels einer linearen Regressionsanalyse. Das bedeutet, man sucht nach einem Trend (Drift) in der Datenreihe, der länger

andauert, als die Reihe selbst. Gibt es einen solchen Trend sind die zeitreihenanalytischen Aussagen konfundiert und müssen zuerst um diesen Trend bereinigt werden. Die Kennwerte der linearen Regressionsanpassung zum gewählten Beispiel (Treatment GA 2) sind in Tabelle 15 enthalten.

MP	R ²	df	F	sig.	Konstante	Anstieg
204	0,210	69	18,33	p < 0,001	28,3179 km/h	+0,0178 km/(h·d)
205	0,172	69	14,32	p < 0,001	28,0161 km/h	+0,0203 km/(h·d)

Tabelle 15: Lineare Regression der Tagesmittelwerte

Die Ergebnisse zeigen das Vorhandensein von einem geringen, aber statistisch bedeutsamen langfristigen Positivtrend in beiden Fahrtrichtungen. Dieser mit der linearen Regression beschriebene Trend bedeutet eine Erhöhung der Durchschnittsgeschwindigkeit v_d zwischen dem ersten und dem letzten Tag mit installierter Geschwindigkeitsanzeige um etwa 1,4 km/h. Die nachfolgenden beiden Diagramme illustrieren diesen Umstand anschaulich.

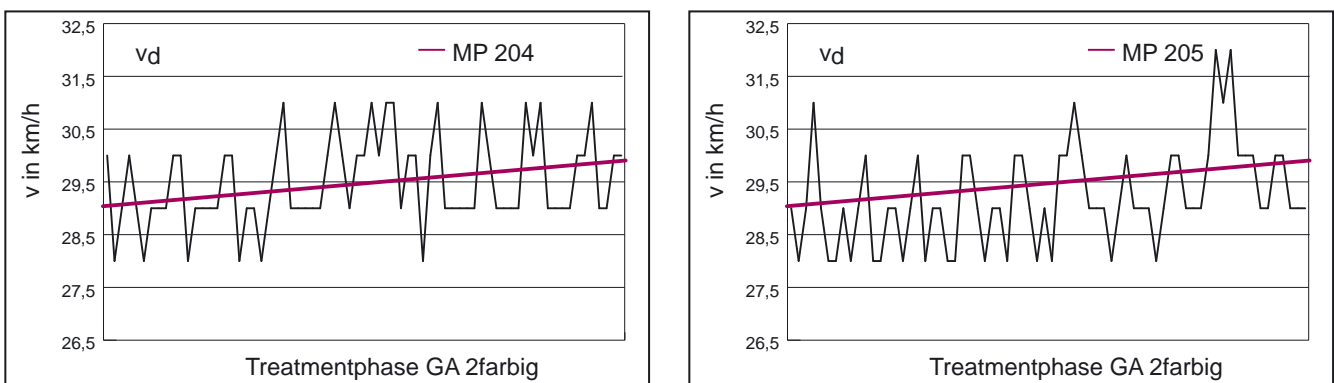


Abbildung 23: Lineare Regression der Tagesmittelwerte v_d in Treatmentphase GA 2farbig

Daraus leiten sich zwei Konsequenzen ab:

- (1) Die gemessenen Geschwindigkeiten driften über den Versuchszeitraum schwach positiv.**
- (2) Die weiteren zeitreihenanalytischen Betrachtungen müssen mit trendbereinigten Daten durchgeführt werden.**

Die Bereinigung der Daten von diesem Trend geschieht durch Verwendung der Regressionsresiduen. Dabei handelt es sich um die vom Trend nicht bestimmten Abweichungen in den Daten, im vorliegenden Fall der mit Abstand größte Varianzanteil. Die nachfolgend beschriebenen Analysen beruhen alle auf diesen trendbereinigten Daten.

Es gibt zwei zentrale zeitreihenanalytische Verfahren, die zur Anwendung kommen können: die Autokorrelationsanalyse und die Spektralanalyse. Bei der Autokorrelation wird die Zeitreihe kopiert, tageweise gegeneinander verschoben und die Korrelation zur Originalreihe berechnet. Zielstellung der Autokorrelation ist die Identifizierung der dominierenden Rhythmik in den Daten. Gleichzeitig wird für jeden Korrelationswert getestet, ob er sich bedeutsam von 0 unterscheidet. Bei der Spektralanalyse wird die Zeitreihe als Überlagerung regelmäßiger Sinusschwingungen verschiedener Periodenlänge (Fourieranalyse) angesehen und die Bedeutsamkeiten aller potentiell beteiligten Teilschwingungen berechnet. Hierbei geht es darum, weitere wichtige Zyklen, die im Rahmen der Autokorrelation nicht gefunden werden können, aufzuzeigen.

Wie bereits geschildert, generiert die Autokorrelation als Ergebnis Korrelationen zwischen der Originalreihe und ihrer um eine bestimmte Anzahl von Tagen („Lag's“) verschobenen Kopie. Die Diagramme in Abbildung 24 stellen auf der Hochachse die errechneten Korrelationen dar. Auf der Hauptachse ist dazu jeweils die Anzahl von Verschiebungstagen (Lag-Nummer) angegeben. Als Interpretationshilfe sind die Bedeutsamkeitsgrenzen (Konfidenzintervall) eingezeichnet.

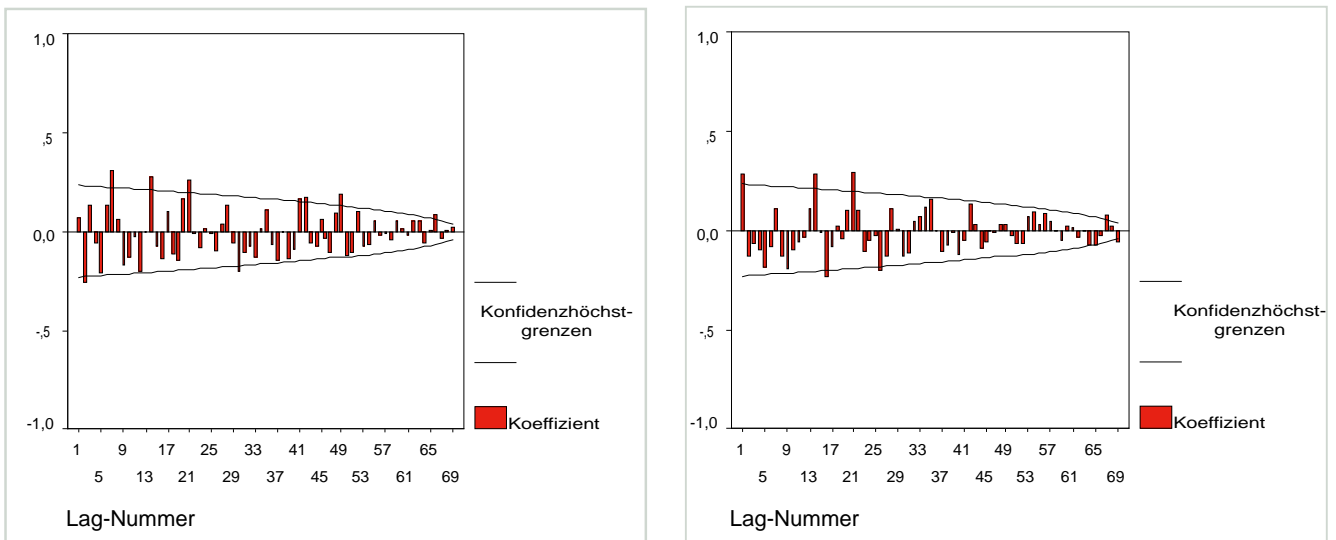


Abbildung 24: Ergebnisse der Autokorrelation, links MP 204, rechts MP 205

Insgesamt zeigen beide Diagramme über den gesamten Verschiebungsbereich im Wesentlichen unsystematische Zusammenhänge. Am MP 204 (links) treten vor allem die Wochenrhythmik (7 Tage) und davon abgeleitete Perioden (14 und 21 Tage) hervor. Hervorsticht ebenfalls der positive Zusammenhang zum Versatz von 49 Tagen, wobei eine inhaltliche Interpretation kaum möglich ist. Am MP 205 zeigt sich zunächst ein bedeutsamer Zusammenhang zum Vortag (Lag = 1). Dies ist ein Hinweis darauf, dass die vorgenommene Trendbereinigung nicht restlos erfolgreich war. Die Wochenrhythmik von 7 Tagen steht am MP 205 deutlich im Hintergrund. Klar zeigen sich jedoch die Zusammenhänge zum Versatz von 14 bzw. 21 Tagen. Schließlich ist als bedeutsamer negativer Zusammenhang die 16-Tages-Korrelation an diesem Messpunkt hervorzuheben. Eine inhaltliche Deutung erscheint jedoch kaum möglich.

Zusammenfassend kann für die Treatmentphase GA2 von einem bedeutsamen Zusammenhang der im Wochenzyklus verschobenen Werte ausgegangen werden.

Im letzten Schritt wird die Spektralanalyse und damit die Funktionszerlegung der Zeitreihe durchgeführt. Zentral dabei sind die Fragen, ob es auch daraus Hinweise auf einen noch verbliebenen Trend in den Daten gibt, ob sich die Wochenzusammenhänge bestätigen und welche weiteren Schwingungen anderer Periodenlängen auffindbar sind. Die Diagramme in Abbildung 25 stellen das Ergebnis dar. Auf der Hauptachse ist wiederum die Schwingungsdauer (Anzahl von Tagen) aufgetragen. Die Hochachse stellt in logarithmischer Skalierung die Bedeutsamkeit der jeweiligen Teilschwingung mit angegebener Dauer für das Gesamtverhalten der Messreihe dar.

Insgesamt betrachtet zeigt sich ein sehr ausgewogenes Schwingungsverhalten ohne herausstechend dominante Teilrhythmiken. Am MP 204 (links) tritt neben der bereits aus der Autokorrelationsanalyse bekannten 7-Tages-Schwingung zusätzlich eine Schwingung mit etwa der halben Periodenlänge (ca. 3,5 Tage) hervor. Die 2-Wochen-Periode erscheint

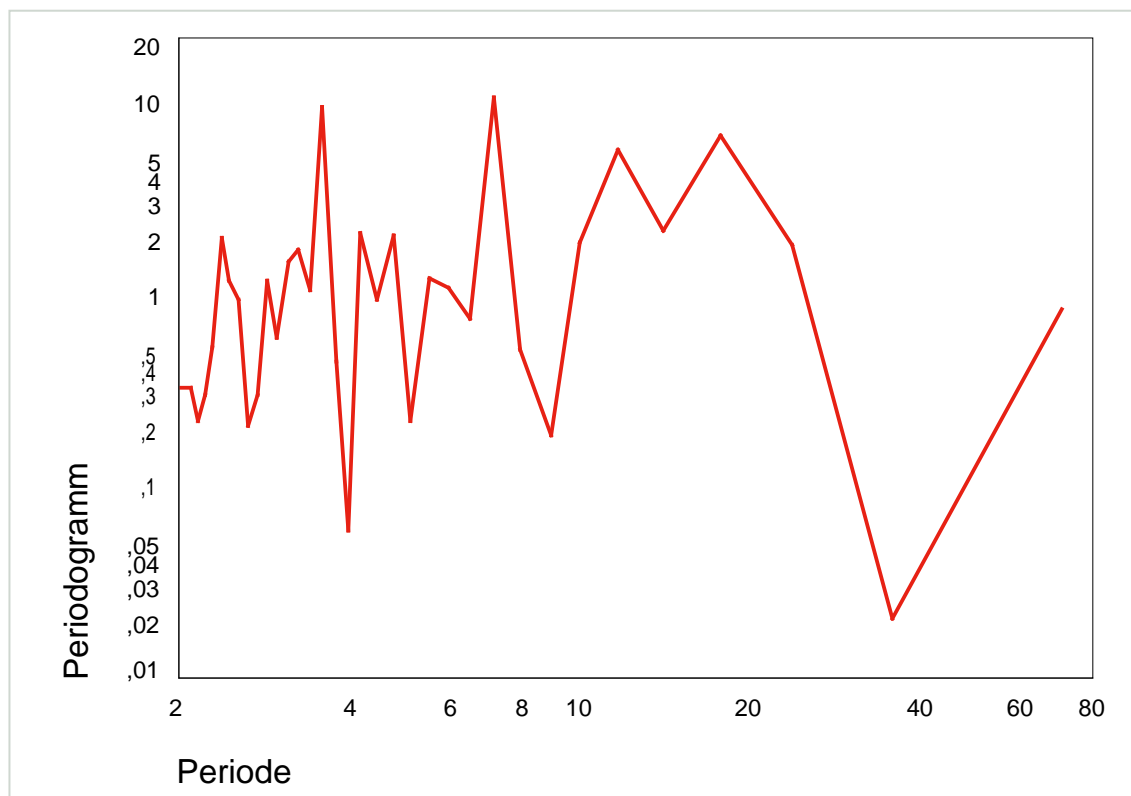
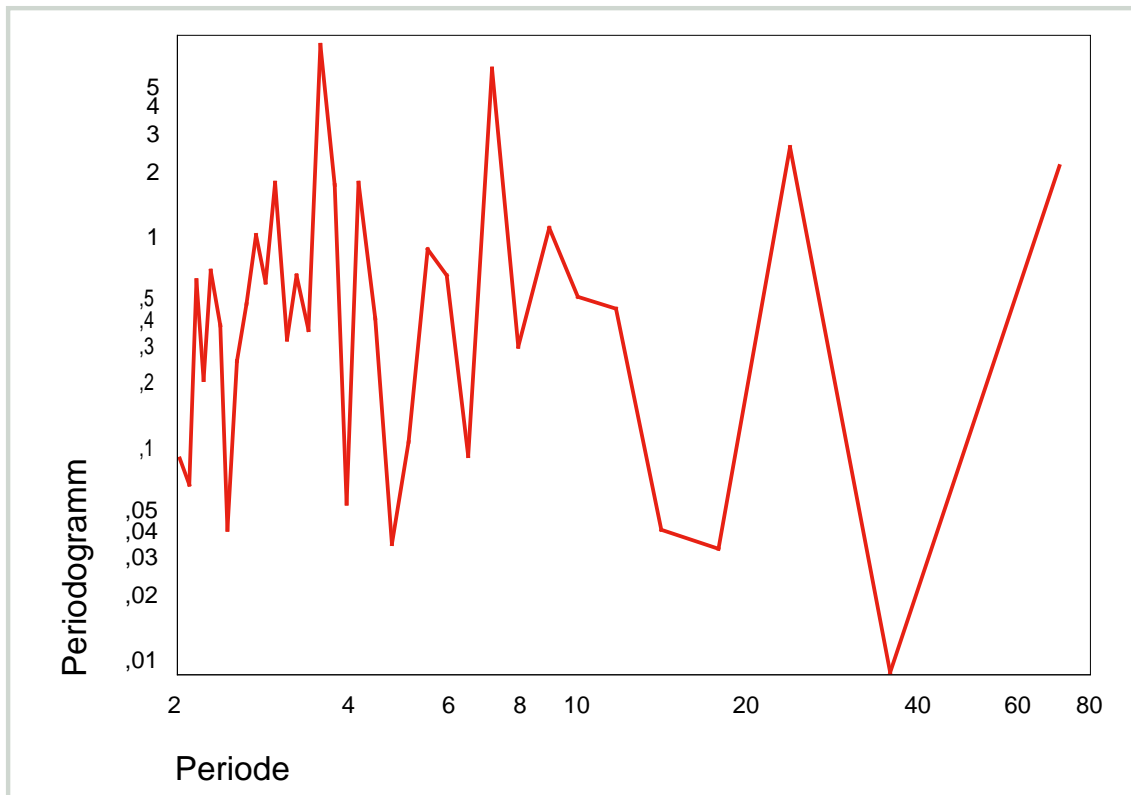


Abbildung 25: Ergebnisse der Spektralanalyse, oben MP 204, unten MP 205

als bedeutungslos, lediglich die 21-Tages-Schwingung bleibt bedeutsam. Der Anstieg der Gewichte zum rechten Ende kann als Hinweis auf einen leichten, noch verbliebenen längerfristigen Trend angesehen werden.

Am MP 205 bewegen sich die Einflüsse der bedeutsamen Gewichte insgesamt auf einem etwas höheren Niveau (vgl. Skalierung der Hochachse). Dies deutet auf einen größeren Einfluss der untersuchten Schwingungseigenschaften auf die Ausprägung der Messergebnisse hin und lässt sich als stärker regelmäßig-periodisch ausgeprägtes Geschwindigkeitsverhalten in dieser Fahrtrichtung interpretieren. Vergleichbar zur Gegenrichtung jedoch ist die Art der Schwingung. Es finden sich analog die 3,5-, 7- und 21-Tage-Perioden, wobei hier die 14-Tage-Periode auch als bedeutsam aufscheint. Der Anstieg der Gewichte hin zu den längsten Periodendauern bewegt sich auf ähnlichem Niveau wie beim MP 204 und lässt einen leichten, noch verbliebenen Trend eventuell höherer Ordnung (quadratisch, log-linear o. ä.) vermuten. Die Bedeutsamkeit dieses Einflusses liegt jedoch deutlich unterhalb derer der Wochenrhythmiken, so dass auf weiterführende Analysen dazu verzichtet werden kann.

Zusammenfassend bewertet ergaben die Analysen zwei zentrale Ergebnisse. Das erste und bedeutsamste Ergebnis ist der Nachweis eines linearen, positiven Trends während der Phase „Treatment Geschwindigkeitsanzeige 2-farbig“ in den Tagesmittelwerten beider Fahrtrichtungen von etwa +0,5 km/h pro Monat. Als zweites Ergebnis wurde eine deutliche wochentagsbezogene Abhängigkeit der Geschwindigkeitswerte gefunden, die bedeutsam von einer 3-4 Tage umfassenden Grundschwingung gespeist wird. Allerdings gibt es ein deutliches Missverhältnis zwischen dem Aufwand der Autokorrelations- und Spektralanalysen sowie dem daraus ableitbaren Erkenntnisgewinn. Insgesamt konnten aus Spektral- und Autokorrelationsanalyse kaum spezifische anlagenbezogene Erkenntnisse generiert werden. Als zentral für die Interpretation der Versuchsergebnisse erweisen sich jedoch die regressionsanalytischen Betrachtungen. Daher wurden letztere für alle Versuchsphasen durchgeführt. Die Ergebnisse werden im Folgenden vorgestellt.

7.3.2 Ergebnisse der Regressionsanalysen aller drei Anlageformen

Die nachfolgenden Tabellen enthalten die Zusammenfassung der Ergebnisse der Regressionsanalysen für alle drei Anlageformen einschließlich der inferenzstatistischen Kennwerte, welche für die zufallskritische Bewertung relevant sind. Die Anzahl der Freiheitsgrade (df) ist von der Anzahl der Untersuchungstage abhängig. Der F-Wert gibt den Ergebniswert in der zugehörigen Wahrscheinlichkeitsverteilung an. Die daraus ermittelte Wahrscheinlichkeit (p) erlaubt den zufallskritischen Schluss. Die verwendete Zufallsgrenzwahrscheinlichkeit betrug $\alpha=0,05$.

Die Ergebnisse der Regressionsanalysen zum MP 204 wurden bereits ausführlich im Kapitel 3.2.4 dargestellt. Kurz zusammengefasst zeigten die Ergebnisse, dass es für keine Kontrollphase einen signifikanten Trend gibt. Allerdings zeigten sich für die Treatmentphasen der beiden Geschwindigkeitsanzeiger signifikante Trends von +0,5 km/(h·Monat) beim GA 2 und +0,4 km/(h·Monat) beim GA 1. Beim Dialog-Display findet sich kein signifikanter Trend.

In der Gegenrichtung am MP 205 ergaben sich für die meisten Phasen vergleichbare Ergebnisse. Das Dialog-Display zeigt keinen Gewöhnungseffekt. Der schwache Negativtrend in der Nachherphase zum Dialog-Display stellt eine weitere Manifestation der bereits in Kapitel 7.1 diskutierten Fehlereinflüsse auf diese Untersuchungsphase dar. Er illustriert zudem, dass es offensichtlich anfangs zu einer Erhöhung der Tagesmittelwerte nach dem Abbau der Anlage kam, die jedoch von nicht abschließend geklärten Einflüssen im weiteren Verlauf negativ beeinflusst wurde. Für die weiteren Kontrollphasen wurde kein signifikanter Trend nachgewiesen. Der Gewöhnungseffekt beim zweifarbigen Geschwindigkeitsanzeiger erlangt mit +0,61 km/(h·Monat) sogar eine deutlichere Ausprägung als am MP 204. Beim einfarbigen Geschwindigkeitsanzeiger findet sich kein Trend/Gewöhnungseffekt. Bei dem kaum merklichen Geschwindigkeitsunterschied von $\Delta v_d = 0,5$ km/h besteht dafür jedoch auch kein echter Spielraum.

Phase	DD	GA 2	GA 1
Vorhermessung			
df	31	26	44
F	0,27	0,55	1,22
p	0,605	0,464	0,276
Wertung	kein sig. Trend	kein sig. Trend	kein sig. Trend
Treatment			
df	93	69	63
F	0,16	18,33	8,65
p	0,691	<0,001	0,005
Wertung	kein sig. Trend	sig. Trend	sig. Trend
Parameter 0 in km/h	-	28,32	30,27
Parameter 1 in km/(h·Monat)	-	+0,53	+0,40
Nachhermessung			
df	190	44	26
F	3,18	1,22	0,04
p	0,076	0,276	0,844
Wertung	kein sig. Trend	kein sig. Trend	kein sig. Trend

Tabelle 16: Regressionsanalysen aller Untersuchungsphasen am MP 204

Phase	DD	GA 2	GA 1
Vorhermessung			
df	32	27	42
F	0,08	1,24	2,00
p	0,780	0,276	0,164
Wertung	kein sig. Trend	kein sig. Trend	kein sig. Trend
Treatment			
df	91	69	63
F	3,73	14,32	1,80
p	0,057	<0,001	0,184
Wertung	kein sig. Trend	sig. Trend	kein sig. Trend
Parameter 0 in km/h	-	28,02	-
Parameter 1 in km/(h·Monat)	-	+0,61	-
Nachhermessung			
df	192	42	26
F	16,80	2,00	0,260
p	<0,001	0,164	0,615
Wertung	sig. Trend	kein sig. Trend	kein sig. Trend
Parameter 0 in km/h	29,52	-	-
Parameter 1 in km/(h·Monat)	-0,12	-	-

Tabelle 17: Regressionsanalysen aller Untersuchungsphasen am MP 205

7.4 Analyse der Geschwindigkeitsverteilungen

Tabelle 18 stellt die prozentuale Verteilung der Geschwindigkeiten pro Geschwindigkeitsklasse dar. Die Berechnung der Geschwindigkeitsklassen ist in Kapitel 3.2.5 beschrieben.

Phase/ Geschw.klasse in km/h	< 12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60	> 60
MP 204																		
Vorhermessung DD	0,15	0,59	0,94	1,44	4,53	9,18	23,75	25,50	17,09	8,88	4,23	1,65	1,14	0,49	0,24	0,10	0,05	0,05
Treatment DD	0,19	0,77	1,40	3,19	11,56	21,82	30,31	15,27	7,79	3,82	1,97	0,81	0,58	0,26	0,13	0,05	0,04	0,04
Nachhermessung DD	0,16	0,72	1,31	2,01	4,46	8,73	22,22	25,07	17,02	9,15	4,70	1,94	1,35	0,62	0,27	0,12	0,06	0,07
Vorhermessung GA2	0,16	0,60	0,98	1,70	4,85	10,32	25,32	25,15	15,97	7,97	3,75	1,48	0,96	0,44	0,17	0,08	0,04	0,06
Treatment GA2	0,21	0,75	1,42	2,73	8,53	17,52	32,56	19,33	90,3	4,15	2,03	0,75	0,52	0,24	0,11	0,05	0,02	0,04
Nachhermessung GA2 Vorhermessung GA1	0,16	0,71	1,33	2,05	4,72	9,44	23,81	25,04	16,28	8,38	4,22	1,73	1,12	0,55	0,23	0,12	0,06	0,06
Treatment GA1	0,16	0,72	1,42	2,39	5,71	11,86	29,57	23,70	12,56	6,08	3,00	1,24	0,82	0,39	0,19	0,08	0,05	0,06
Nachhermessung GA1	0,17	0,75	1,34	2,10	4,49	9,19	24,01	25,32	16,27	8,27	4,15	1,64	1,21	0,58	0,25	0,12	0,06	0,07
MP 205																		
Vorhermessung DD	0,51	0,84	1,58	2,28	5,43	10,26	24,07	24,22	15,59	6,44	4,64	2,26	1,07	0,33	0,24	0,11	0,07	0,06
Treatment DD	0,67	1,22	2,39	4,00	11,65	19,41	27,31	16,21	8,66	3,56	2,61	1,24	0,56	0,23	0,14	0,07	0,04	0,05
Nachhermessung DD	0,69	1,35	2,80	3,99	10,25	16,76	27,12	18,93	9,76	3,78	2,61	1,15	0,46	0,17	0,10	0,05	0,02	0,03
Vorhermessung GA2	0,51	0,90	1,80	2,59	6,97	13,28	27,37	22,86	12,62	4,92	3,38	1,52	0,69	0,25	0,17	0,07	0,03	0,07
Treatment GA2	0,53	1,00	2,17	3,68	8,93	17,46	31,53	18,54	8,80	3,35	2,17	1,00	0,43	0,16	0,10	0,06	0,03	0,05
Nachhermessung GA2 Vorhermessung GA1	0,62	1,20	2,57	3,39	4,08	13,31	24,85	18,19	15,97	8,19	4,16	1,55	1,07	0,45	0,17	0,11	0,07	0,06
Treatment GA1	0,64	1,34	2,92	3,55	4,46	15,18	28,47	17,38	13,33	6,62	3,31	1,26	0,85	0,36	0,12	0,10	0,05	0,06
Nachhermessung GA1	0,63	1,26	2,81	3,37	4,27	14,17	26,24	18,01	14,93	7,47	3,71	1,43	0,93	0,41	0,14	0,11	0,05	0,06

Tabelle 18: Verteilungsanalyse der Untersuchungsphasen: klassierte relative Häufigkeiten in %

7.4.1 Analyse der Anlagenwirkung Dialog-Display

Hintergrund und Berechnungsgang zur Analyse relativer Verteilungsdifferenzen in Form von Veränderungsdaten wurde bereits in Kapitel 3.2.5 erläutert. Wie bereits dort beschrieben, ergeben sich für einige Geschwindigkeitsklassen in Anteilen ausgedrückt Zugewinne, in anderen Geschwindigkeitsklassen finden sich weniger Fahrzeuge.

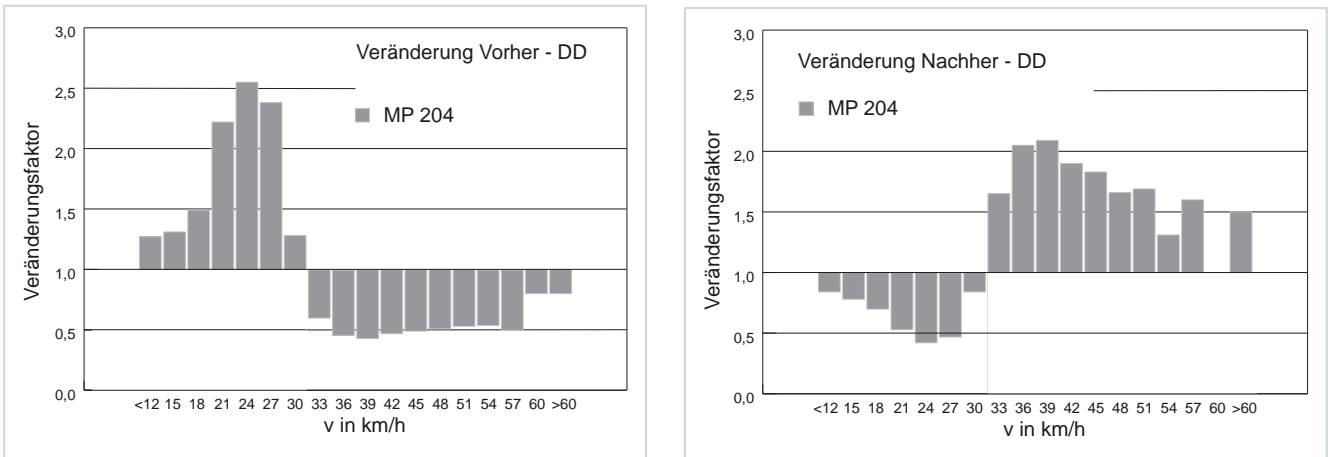


Abbildung 26: Vergleich der Untersuchungsphasen zum Dialog-Display (Differenz der realtiven Geschwindigkeitsverteilungen), MP 204

Deutlich sichtbar wird der positive Effekt des Dialog-Displays an der Reduktion im Bereich oberhalb v=30 km/h (linker Abbildungsteil). Die Rückstellung auf annähernd das Ausgangsniveau nach Abbau der Anlage illustriert das rechte Diagramm.

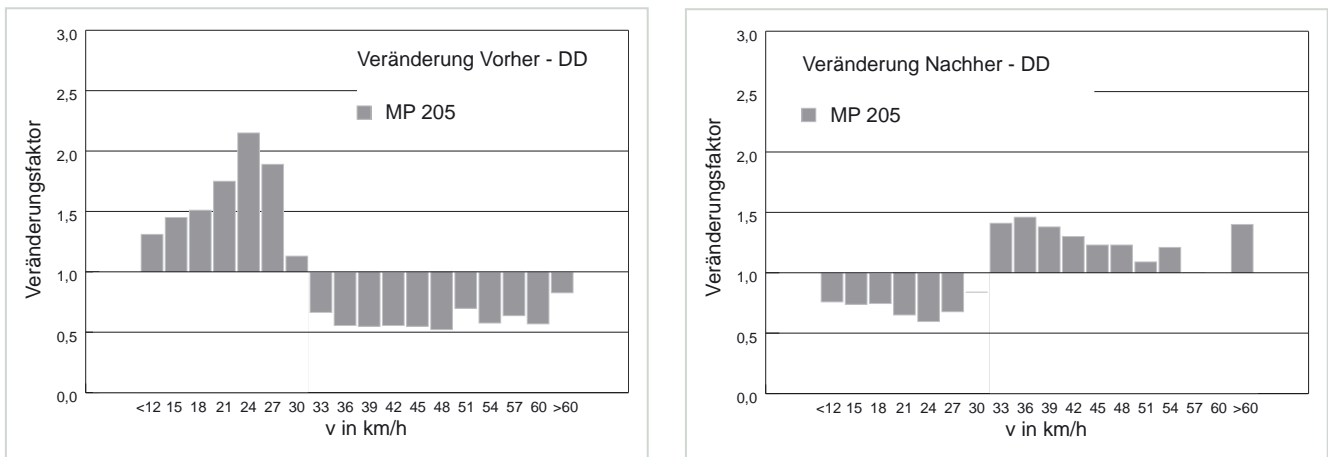


Abbildung 27: Vergleich der Untersuchungsphasen zum Dialog-Display (Differenz der realtiven Geschwindigkeitsverteilungen), MP 205

Während die Reduktion nach Aufbau der Anlage am MP 205 (Abbildung 27 links) durchaus den Effekten in der Gegenrichtung ähnelt, zeigt sich im rechten Diagramm die fehlende „Rückstellung“ hin zum Ausgangsniveau.

7.4.2 Analyse der Anlagenwirkung Geschwindigkeitsanzeige 2farbig

Für den zweifarbigen Geschwindigkeitsanzeiger ergeben sich zwischen den zugehörigen Verteilungen die nachfolgend dargestellten Differenzen. Die gegenüber der Wirkung des Dialog-Displays geringeren Reduktionen im Bereich kleiner Geschwindigkeitsübertretungen (ausführlich siehe Kapitel 3.2.5) zeigen sich hier ebenso, wie das insgesamt kleinere Wirkpotenzial.

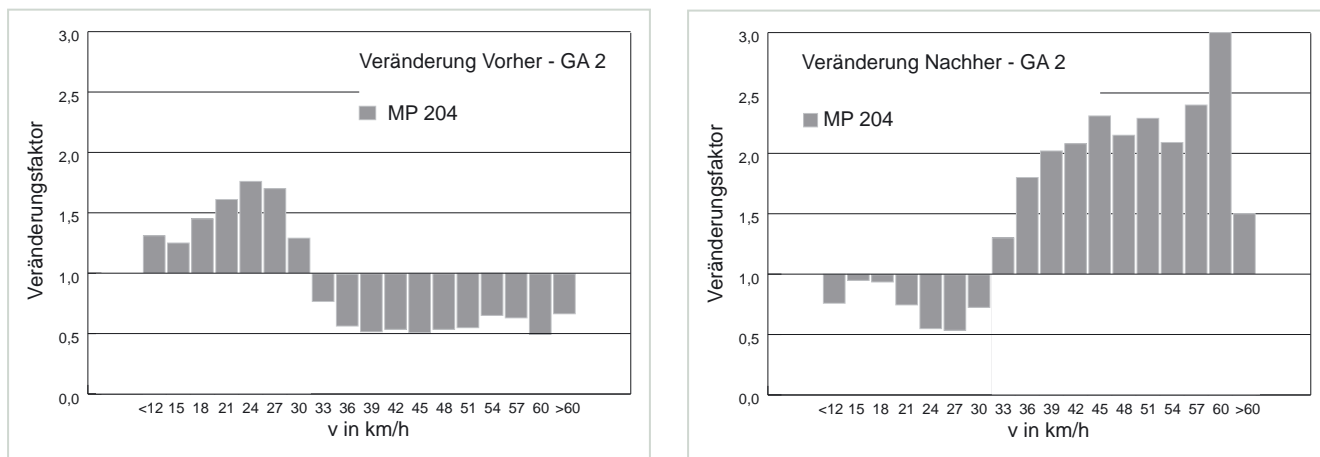


Abbildung 28: Vergleich der Untersuchungsphasen zum GA 2farbig (Differenz der realtiven Geschwindigkeitsverteilungen), MP 204

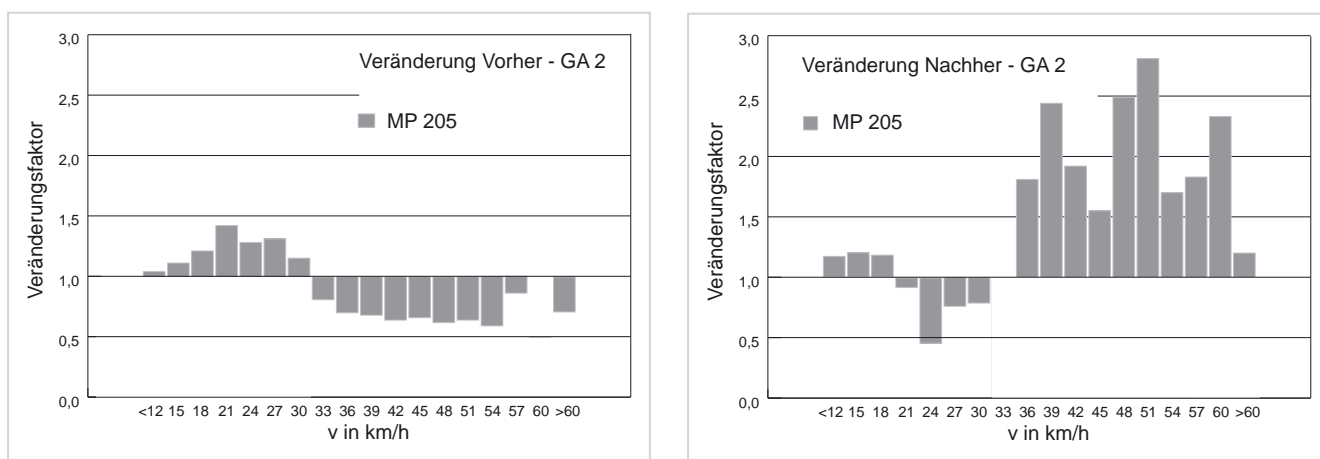


Abbildung 29: Vergleich der Untersuchungsphasen zum GA 2farbig (Differenz der realtiven Geschwindigkeitsverteilungen), MP 205

7.4.3 Analyse der Anlagenwirkung Geschwindigkeitsanzeige 1farbig

Beim einfarbigen Geschwindigkeitsanzeiger kommt es schließlich zu geringen Veränderungen in der Geschwindigkeitsverteilung. Damit decken sich die aufgezeigten Verteilungsdifferenzen in ihrer Aussage mit derjenigen der anderen Kennwerte.

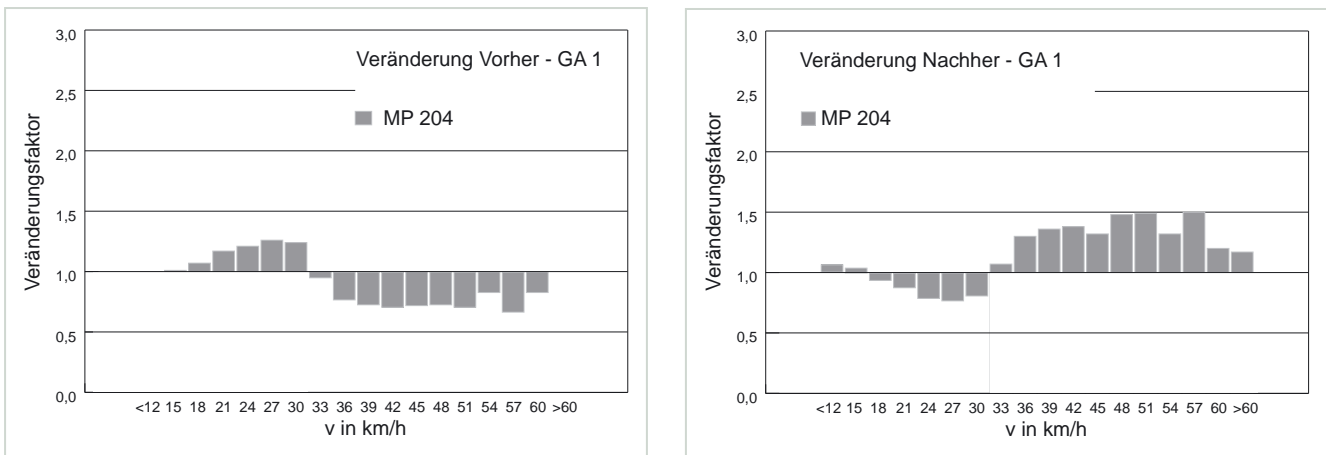


Abbildung 30: Vergleich der Untersuchungsphasen zum GA 1farbig (Differenz der realtiven Geschwindigkeitsverteilungen), MP 204

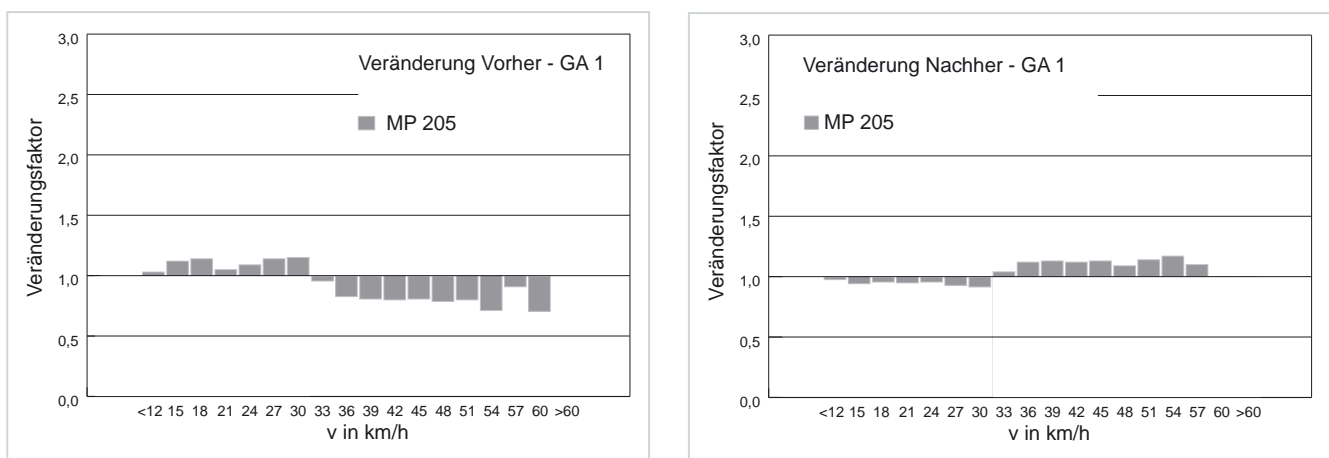


Abbildung 31: Vergleich der Untersuchungsphasen zum GA 1farbig (Differenz der realtiven Geschwindigkeitsverteilungen), MP 205

7.5 Kennwerte auf Basis frei fahrender Fahrzeuge

Auf städtischen Verkehrsstraßen ist in bedeutsamen Umfang mit pulkgebundenem Fahrzeugverkehr zu rechnen. Wird unter diesem Vorzeichen die Durchschnittsgeschwindigkeit aller Fahrzeuge als Evaluationskriterium herangezogen, kann es zu einer gewissen Verzerrung der Aussage dadurch kommen, dass ein erheblicher Anteil der Fahrzeuge an der Geschwindigkeitsrückmeldeeinrichtung keine unbeeinflusste, selbst gewählte Geschwindigkeit realisiert, sondern vielmehr in der Geschwindigkeitswahl stark von den umgebenden Fahrzeugen im Pulk beeinflusst wird. Betrachtungen über differentielle Aspekte sollten daher den Effekt der Anlagen auf Fahrzeuge mit ausreichender Freiheit in der Geschwindigkeitswahl berücksichtigen.

7.5.1 Analysen zum zeitlichen Abgrenzungskriterium

Eine wichtige Frage bei der Betrachtung frei fahrender Fahrzeuge betrifft das zeitliche Abgrenzungskriterium. Im engeren Sinne kann es sich dabei nur um ein räumliches Distanzmaß handeln. Relevant ist dabei ein Straßenbereich unmittelbar vor und hinter dem jeweiligen Fahrzeug. Ausreichender Platz voraus ermöglicht eine freie Geschwindigkeitswahl. Der notwendige Raum nach hinten stellt eine unbeeinflusste Fahrt ohne Einflüsse beispielsweise von Dränglern sicher. Da es sich bei der vorliegenden Untersuchung um eine Querschnitterhebung handelt, gibt es keine direkten Informationen über räumliche Relationen der erfassten Fahrzeuge. Der zeitliche Abstand stellt jedoch unter der Annahme lokal relativ konstanter Geschwindigkeit einen gültigen Indikator dar. Dieser ist aus den Messungen bekannt (vgl. Kapitel 2).

Für die zeitliche Abgrenzung nach oben und unten wurden die mittleren Abstände zwischen den Fahrzeugen für eine Untersuchungsphase berechnet (vgl. Tabelle 19). Zugrunde gelegt wurde die mittlere gemessene Geschwindigkeit von 30 km/h (8,33 m/s) am Messquerschnitt. Für die Abgrenzung nach unten war die Überlegung ausschlaggebend, dass Bereiche unterhalb von 50m (z. B. 5 s) innerhalb der notwendigen Voraussicht liegen, um rechtzeitig reagieren zu können. Sie werden somit nicht als „unbeeinflusst“ angesehen.

Kriterium	mittlerer Abstand	N	v_d in km/h	v_{85} in km/h	h_{ij} in %
alle FZ		338.583	28,8	34,0	33,4
3s	25 m	219.455	29,3	36,0	39,2
5s	42 m	158.798	29,8	36,0	43,3
10s	83 m	109.257	30,3	37,0	46,3
15s	125 m	68.641	30,8	38,0	49,4
30s	250 m	28.253	31,8	40,0	55,0
60s	500 m	8.174	33,1	41,1	61,6
2 min	1000 m	2.158	34,0	42,0	65,5

Tabelle 19: Geschwindigkeitskennwerte nach Abgrenzung „frei fahrend“ (Treatmentphase DD), MP 205

Die Abgrenzung nach oben basiert auf der Annahme, dass ein Fahrzeug mit größerem Abstand auch sicherer als „frei fahrendes“ anzunehmen ist. Tabelle 19 zeigt mit steigendem zeitlichen Abstand eine deutliche und stetige Verschiebung aller Parameter hin zu immer höheren Werten. Bis zum Bereich von 30 s (ca. 250 m) könnte unter Annahme einiger Randbedingungen von einer Abnahme der „gegenseitigen Beeinflussung“ der beteiligten Fahrzeuge ausgegangen werden. Oberhalb dieses Abstandes driften die Kennwerte jedoch weiter, obwohl Fahrzeuge schwerlich noch „freier“ unterwegs sein können. Abbildung 32 stellt zur Illustration die bei Verwendung einer Abgrenzung von 60 s bzw. 10 s resultierenden Gestalt der Verteilung im Vergleich zur Geschwindigkeitsverteilung aller erfassten Fahrzeuge dar (Werte siehe Tabelle 20). Die dort deutlich sichtbare Verschiebung hin zu größeren Geschwindigkeiten muss daher auf weitere konfundierte Effekte über das Abgrenzungskriterium hinaus zurückgeführt werden. Solche könnten beispielsweise durch die Selektion überwiegend nächtlicher Messwerte hervorgerufen werden. Entsprechende Analysen unterstützen diese Vermutung (Schlag, Stern, Butterwegge & Degener, 2009).

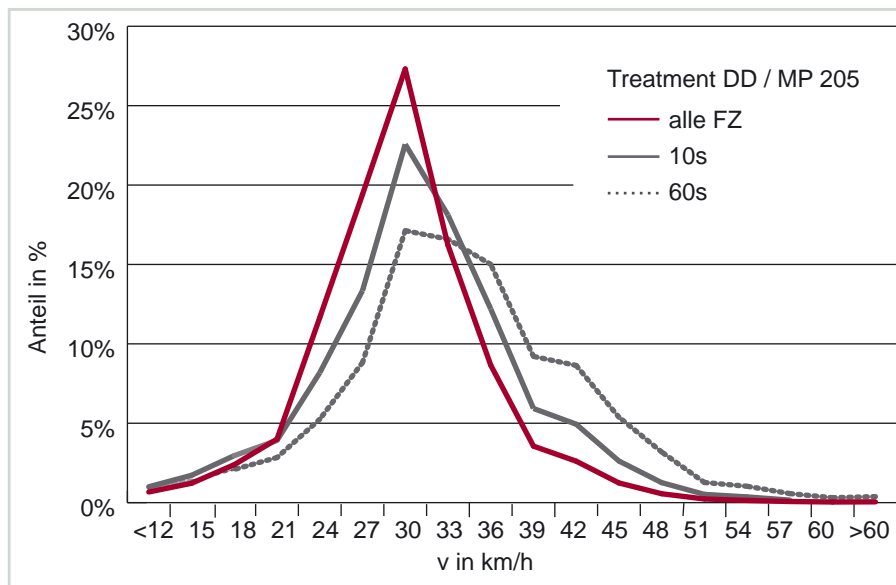


Abbildung 32: Geschwindigkeitsverteilung nach Abgrenzung „frei fahrend“ (Treatmentphase DD), MP 205

Die Festlegung des Abgrenzungskriteriums ist somit eine Abwägung zwischen notwendigem räumlichen Abstand und möglichst geringer Verzerrung durch die Selektion von speziellen Teilgruppen. Vor dem Hintergrund eines freien Blickes nach vorn bzw. im Rückspiegel sowie der unbeeinflussten Wahl der eigenen Geschwindigkeit werden daher Abstände im Bereich 100 m (ca. ab 10 s.) als angemessen angesehen. Die Schlussfolgerung lautet daher, dass eine Grenze von 10 s als ausreichend angesehen werden kann, um Fahrzeuge als frei fahrend im Sinne eines unbeeinflussten Fahrverhaltens zu charakterisieren. Wie die Analysen zeigen, besteht bei größeren zeitlichen Abständen die Gefahr der Überlagerung durch weitere konfundierte Effekte.

Phase/ Geschw.klasse in km/h	N	<12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60	>60
alle FZ	338.583	0,67	1,22	2,39	4,00	11,65	19,41	27,31	16,21	8,66	3,56	2,61	1,24	0,56	0,23	0,14	0,07	0,04	0,05
3 s	219.455	0,89	1,60	2,95	4,17	9,93	16,23	25,03	17,28	10,39	4,61	3,58	1,77	0,81	0,33	0,21	0,10	0,06	0,07
5 s	158.798	0,99	1,73	3,05	4,00	8,74	14,47	23,70	17,89	11,50	5,32	4,33	2,23	1,04	0,42	0,28	0,13	0,07	0,09
10 s	109.257	1,00	1,72	2,96	3,92	8,18	13,35	22,57	18,11	12,20	5,93	4,94	2,62	1,26	0,52	0,36	0,16	0,09	0,12
15 s	68.641	0,94	1,62	2,73	3,66	7,57	12,47	21,63	18,03	12,95	6,54	5,65	3,11	1,49	0,66	0,46	0,22	0,12	0,14
30 s	28.253	0,80	1,44%	2,44	3,25	6,4	10,87	19,71	17,92	14,06	7,73	6,81	4,02	2,08	0,95	0,69	0,34	0,20	0,22
60 s	8.174	0,93	1,36	2,09	2,84	5,25	8,82	17,13	16,59	15,01	9,21	8,64	5,38	3,19	1,27	1,03	0,57	0,31	0,38
2 min	2.158	0,88	1,58	1,39	2,83	4,68	7,55	15,62	16,22	14,97	10,19	9,50	5,89	3,94	1,53	1,30	0,79	0,60	0,56

Tabelle 20: Verteilungsanalyse in Abhängigkeit des Parameters „frei fahrend“, MP 205, Treatmentphase DD: klassierte relative Häufigkeiten in % (Grundlage zu Abbildung 32)

7.5.2 Gegenüberstellung der Kennwerte für frei fahrende Fahrzeuge vs. das gesamte Fahrzeugkollektiv

Tabelle 21 stellt die Kennwerte der Untersuchungsphasen für alle Fahrzeuge und frei fahrende Fahrzeuge im Vergleich dar und ergänzt die Ausführungen in Kapitel 3.2.6.

	N		v_d in km/h		v_{g5} in km/h		$h_{\ddot{u}}$ in %	
	alle Fz	frei fahrende Fz	alle Fz	frei fahrende Fz	alle Fz	frei fahrende Fz	alle Fz	frei fahrende Fz
MP204								
Vorhermessung DD	102.340	31.882	31,8	33,0	37,0	39,0	59,4	66,2
Treatment DD	335.246	95.458	28,8	30,1	34,0	36,0	30,8	41,9
Nachhermessung DD	707.423	206.193	31,9	32,9	38,0	40,0	60,4	65,0
Vorhermessung GA2	91.767	27.130	31,4	32,6	36,0	39,0	56,1	63,5
Treatment GA2	259.475	75.253	29,3	30,2	35,0	36,0	36,0	44,1
Nachhermessung GA2 Vorhermessung GA1	171.823	48.625	31,6	32,6	37,0	39,0	57,8	62,9
Treatment GA1	238.943	71.722	30,6	31,4	35,0	38,0	48,2	54,7
Nachhermessung GA1	108.361	30.136	31,6	32,6	37,0	39,0	58,0	63,7
MP 205								
Vorhermessung DD	105.701	37.267	31,3	32,5	37,0	40,0	55,0	63,4
Treatment DD	338.583	109.257	28,8	30,3	34,0	37,0	33,4	46,3
Nachhermessung DD	712.089	228.151	29,0	30,0	34,0	36,0	37,0	47,0
Vorhermessung GA2	96.209	31.532	30,3	31,5	36,0	38,0	46,6	56,5
Treatment GA2	260.138	81.798	29,0	30,2	34,0	36,0	34,7	45,5
Nachhermessung GA2 Vorhermessung GA1	160.632	49.829	30,8	31,9	37,0	39,0	50,0	57,8
Treatment GA1	236.684	79.095	30,1	31,0	36,0	38,0	43,4	51,5
Nachhermessung GA1	109.204	32.784	30,4	31,6	36,0	39,0	47,2	55,5

Tabelle 21: Kennwerte nach Untersuchungsphasen für alle Fz und frei fahrende Fz im Vergleich

Abbildung 33 enthält in Ergänzung zu den Ausführungen in Kapitel 3.2.6 die vollständige Gegenüberstellung in allen Parametern.

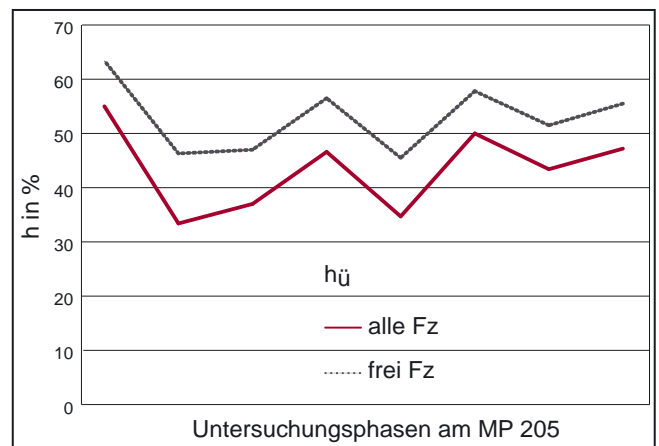
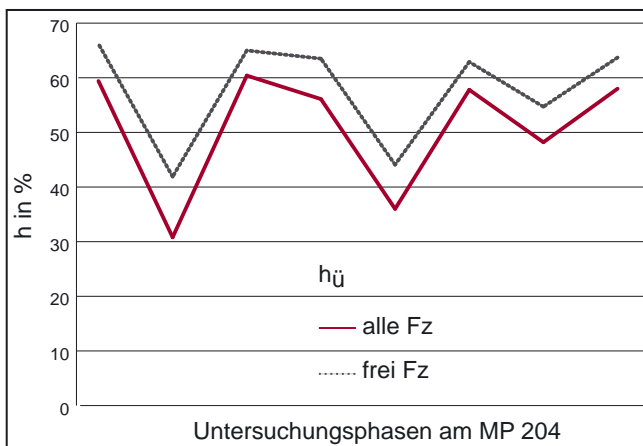
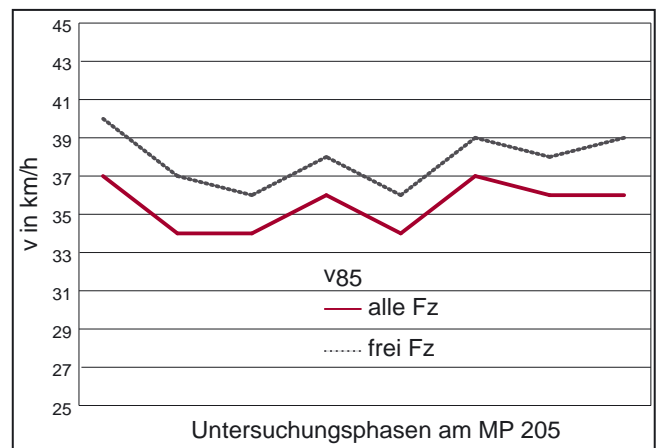
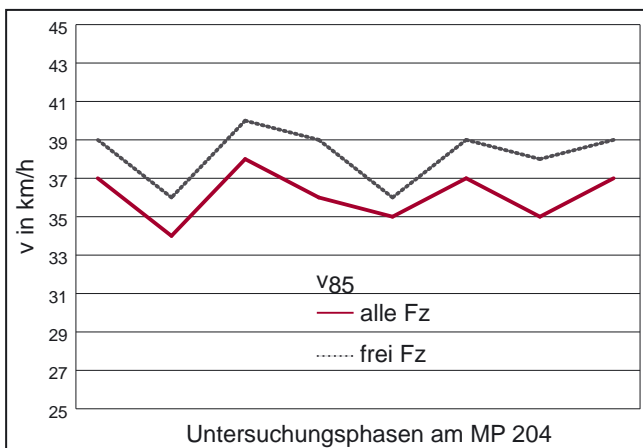
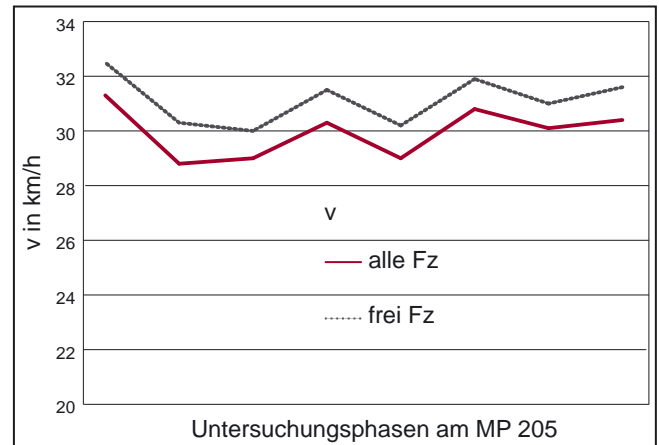
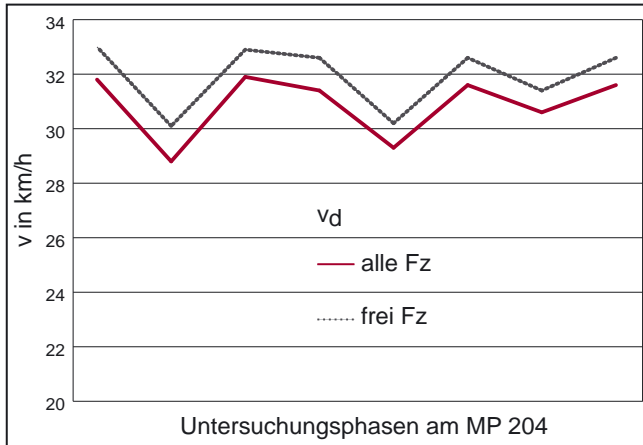


Abbildung 33: Geschwindigkeitskennwerte für alle vs. frei fahrende Fahrzeuge



Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V.

Wilhelmstraße 43 / 43 G, 10117 Berlin
Postfach 08 02 64, 1002 Berlin

Tel. 030 / 20 20 -50 00, Fax 030 / 20 20 - 60 00
www.gdv.de, www.udv.de