

Anfahrbeschleunigungen

von Dipl.-Ing. Frank Lange, Hannover*

In der Weg-Zeit-Betrachtung des Unfallanalytikers ist regelmäßig die Anfahrbeschleunigung von vorfahrtverletzenden Verkehrsteilnehmern zu bestimmen. Hierzu ist es erforderlich, sich mit dem Anfahrverhalten verschiedener Verkehrsteilnehmer auseinanderzusetzen.

I. Allgemeine Vorgehensweise

Im Rahmen der Analyse eines Verkehrsunfalls ist es erforderlich, zu den Fahrvorgängen der beteiligten Fahrzeuge und zur Vermeidbarkeit des Unfalls Stellung zu nehmen. Insbesondere bei Kreuzungs- und bei Einbiegeunfällen verdient die Anfahrbeschleunigung besondere Beachtung. Normale, einer typischen Alltagssituation angepasste Anfahrvorgänge **unterscheiden** sich deutlich von den in Fachzeitschriften veröffentlichten **maximal möglichen Beschleunigungen**.

Während die maximal möglichen Beschleunigungen motorisierter Verkehrsteilnehmer von dem Leistungsgewicht, dem Antriebskonzept und nicht zuletzt von der Reibpaarung Reifen/Straße abhängen, sind die typischen Anfahrbeschleunigungen von Normalfahrern eher von den individuellen Eigenschaften der Fahrer geprägt und bewegen sich in einem deutlich niedrigeren Spektrum.

Kollisionen im innerörtlichen Straßenverkehr ereignen sich **üblicherweise** in einem **zeitlichen Intervall** von etwa 2 – 4 s nach dem Anfahrbeginn des vorfahrtverletzenden Fahrzeuges; im außerörtlichen Verkehr ergeben sich ggf. längere Zeitspannen.

Allgemein sei angemerkt, dass sich in **Vermeidbarkeitsbetrachtungen** geringe Anfahrbeschleunigungen des vorfahrtverletzenden Verkehrsteilnehmers zu Ungunsten des vorfahrtberechtigten Verkehrsteilnehmers auswirken. Hohe Anfahrbeschleunigungen wirken sich zugunsten des vorfahrtberechtigten Verkehrsteilnehmers, da diesem dann eine geringere Zeitspanne für die Einleitung einer Abwehrreaktion verbleibt.

Im Folgenden werden die Anfahrbeschleunigungen verschiedener Verkehrsteilnehmer u.a. anhand eigener Versuche vorgestellt.

II. Anfahrbeschleunigungen verschiedener Verkehrsteilnehmer

1. Anfahrbeschleunigung von Personenkraftwagen

In der täglichen Praxis des Unfallanalytikers überwiegen die zu behandelnden Anfahrbeschleunigungen von Pkw. Bei der **normalen Anfahrbeschleunigung** spielt die Leistungscharakteristik des Fahrzeuges, insbesondere bei den hier behandelten kurzen Wegstrecken, keine merkliche Rolle. Die **maßgeblichen Faktoren** sind vielmehr die individuellen Fahrereigenschaften (Alter, Fahrerfahrung etc.) und die individuellen Gegebenheiten der Unfallörtlichkeit. Bspw. wird beim Geradeausbeschleunigen eine höhere Anfahrbeschleunigung gewählt als beim Abbiegen. Anfahrbeschleunigungen im außerörtlichen Verkehr sind regelmäßig etwas höher als im innerörtlichen. Mit zunehmender Wegstrecke nimmt die Anfahrbeschleunigung ab. Die Geschwindigkeits-Zeit-Kurven hinsichtlich des Anfahrvorgangs sind also nichtlinear (gegenüber einer linearen Abhängigkeit bei Annahme einer konstanten Beschleunigung). Der „normale“ Anfahrvorgang lässt sich nicht anhand vorgegebener Leistungsdaten des Fahrzeuges ermitteln, sondern muss empirisch bestimmt werden.

Unterschied zwischen normalen und maximalen Beschleunigungen

Auswirkungen auf die Vermeidbarkeit

Individuelle Fahrereigenschaften sind maßgebend

* Der Autor ist von der IHK Nord Westfalen öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Straßenverkehrsunfälle, Schimmelpfennig + Becke, Hannover.

Eine erste **umfangreichere Untersuchung** (BECKE/NACKENHORST, Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik 1986, 143 ff.) über das Anfahrverhalten an Kreuzungen wurde Mitte der 80er Jahre durchgeführt. Die Untersuchung lieferte das Ergebnis, dass das typische normale Anfahrverhalten auf geradeaus überquerten Kreuzungen bis zu Beschleunigungszeiten von etwa 4 s durch eine konstante Beschleunigung hinreichend genau beschrieben werden könne. Dies entspricht einer Wegstrecke von knapp 15 – 20 m. Diese mit willkürlich aus dem Straßenverkehr herausgegriffenen Personen bzw. Fahrzeugen ermittelten Beschleunigungswerte liegen zwischen 1,7 und 2,3 m/s². Bei der Betrachtung längerer Zeitspannen sind geschwindigkeitsabhängige Beschleunigungen zu verwenden.

In **weiteren Untersuchungen** (BATTIATO/WOLFF/NOVER, Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik 1998, 201 ff.) Ende der 90er Jahre wurden 200 Anfahrvorgänge mit Schwtwagen im Innerortsverkehr mit einem ausgewählten Probandenpool untersucht. Neben der Geradeausbeschleunigung wurden hier auch Abbiegemanöver nach links und rechts ausgewertet. Das Ziel war, den Beschleunigungsvorgang zeitdetaillierter zu betrachten. Die mittlere Beschleunigung über alle Messungen (also Geradeaus und Abbieger) wird mit 1,3 m/s² angegeben. Die gegenüber den obigen Werten geringere Beschleunigung lässt sich zum einen aus der längeren Zeitspanne der Messung über 6 s erklären. Zum anderen aber daraus, dass zusätzlich die langsameren Abbiegevorgänge berücksichtigt wurden. Die Anfahrvorgänge wurden einer (willkürlich gewählten) konstanten Beschleunigung von 1,5 m/s² gegenübergestellt. Es zeigte sich, dass bis zu etwa einer Sekunde nach dem Start die Anfahrbeschleunigung unterhalb der konstanten Beschleunigung liegt, während zwischen ca. 1 s und ca. 4 s nach dem Anfahren die Beschleunigung etwas höher als diese mittlere konstante Beschleunigung ist. Eine Ursache liegt in dem Schaltvorgang, der im Mittel ca. 3,6 – 4,4 s nach dem Anfahren vom Auskuppeln des ersten Gangs bis zum Einkuppeln des zweiten Gangs erfolgt.

Abnahme der Beschleunigung mit zunehmender Wegstrecke

In einer weiteren, durch unser Büro durchgeführten **Untersuchung** (KRAUSE, Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik 2002, 105 ff.) wurde empirisch mit versteckt gefilmten Verkehrsteilnehmern die Anfahrbeschleunigung über definierte Wegstrecken ermittelt. Wie erwartet ergab sich eine kontinuierliche Abnahme der Beschleunigung mit zunehmender Wegstrecke. Es lag eine deutliche Niveauabweichung zwischen abbiegenden und geradeaus fahrenden Fahrzeugen vor. Die Anfahrbeschleunigung im Geradeausverkehr (bezogen auf das 10 % / 90 %-Perzentil und auf eine Anfahrwegstrecke von 10 m) lagen zwischen ca. 1,4 und 2,3 m/s². Die Anfahrbeschleunigung von Abbiegern innerorts wurde hingegen zwischen 1,0 und 1,8 m/s² und außerorts zwischen 1,2 und 2,1 m/s² bestimmt.

Eigene Versuche

Um die in der Literatur vorherrschenden Werte für die Anfahrbeschleunigung anhand eines einfachen Beispiels zu verifizieren, wurden eigene Untersuchungen durchgeführt:

Vor einem in einer leichten Linkskurve gelegenen ampelgeregelten Fußgängerüberweg wurden die jeweils ersten anfahrenen Fahrzeuge mit einer Videokamera gefilmt. Die untenstehende Abbildung stellt die Verkehrssituation dar.



Abb. 1: Verkehrssituation vor der Fußgängerampel

Über definierte Messpunkte auf der Fahrbahn konnten die jeweiligen Weg-Zeit-Verläufe ab Anfahrbeginn ausgewertet werden. Insgesamt wurden 33 Messungen analysiert. Die Abbildung 2 zeigt ein Weg-Zeit-Diagramm, das sämtliche Anfahrvorgänge beinhaltet. Die Position 0 auf der Wegachse stellt die Haltelinie dar. Neben dem Fahrzeugtyp wurden das Geschlecht und das geschätzte Alter der Fahrer notiert.

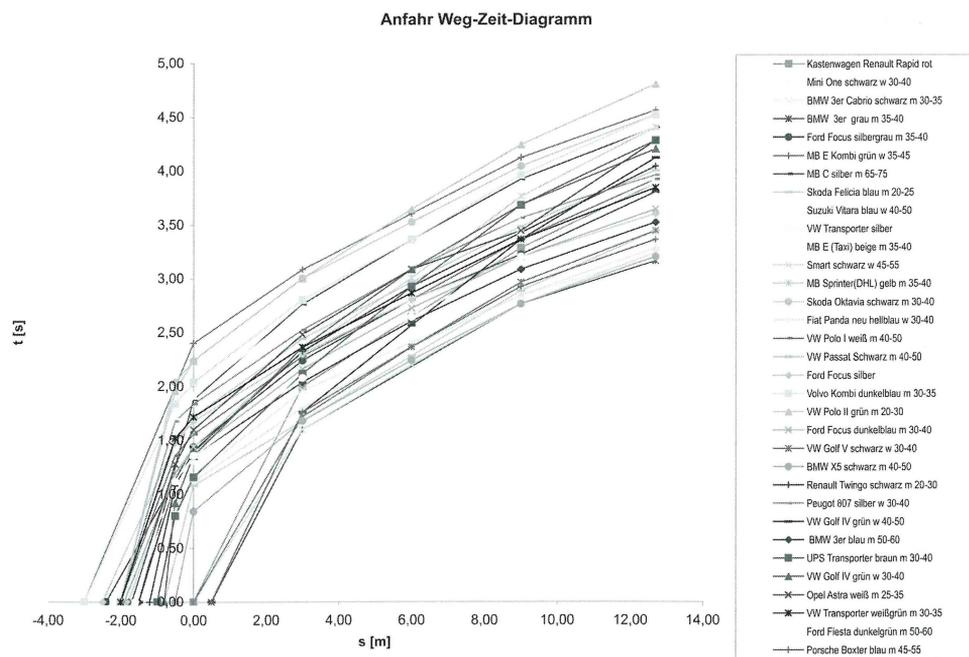


Abb. 2: Anfahrtdiagramm

Bei der Betrachtung des Diagramms zeigt sich eine gewisse **Besonderheit**. Die jeweiligen Fahrzeugführer stoppen an dieser Örtlichkeit nicht zwangsläufig unmittelbar an der Haltelinie, sondern – weil der Fußgängerüberweg in einem großen Abstand zu der Haltelinie liegt und sich rechts eine Einmündung befindet – zwischen ca. 3 m vor bis ca. 0,5 m hinter der Haltelinie. Deshalb differieren durch die Besonderheit der Örtlichkeit gerade in der Anfangsphase die Weg-Zeit-Verläufe teilweise recht stark. Dies ist bisweilen dadurch begründet, dass beim Wechsel des Lichtsignals von Rot auf Rot/Gelb einige Fahrer zunächst leicht vorrollen und erst beim Wechsel auf Grün stärker beschleunigen. Somit kommt dem Wegintervall zwischen 3 und etwa 12 m, vom Beginn der Haltelinie an gerechnet, besondere Bedeutung zu. In diesem Wegintervall sind die Weg-Zeit-Verläufe insgesamt auch entsprechend harmonisch ausgeprägt und weichen weniger voneinander ab.

Individueller Einfluss der Örtlichkeit

Das Diagramm kombiniert idealerweise durch den ortsfesten Weg-Zeit-Verlauf die Halteposition mit der entsprechenden Anfahrbeschleunigung. Um zu einem bestimmten Zeitpunkt an einen bestimmten Ort zu gelangen, ist es also entweder möglich, bis weit an die Haltelinie heranzufahren und langsam zu beschleunigen oder aber eine größere Distanz von der Haltelinie mit einer höheren Anfahrbeschleunigung zu kombinieren.

In der Abb. 3 wurden die Geschwindigkeitsverläufe auf eine wegabhängige Beschleunigung umgerechnet. In dem Intervall zwischen ca. 3 und 12 m von der Anfahrposition an gerechnet liegen die mittleren Beschleunigungen zwischen ca. 1,3 und 2,5 m/s^2 . Die Anfahrbeschleunigungen decken sich also – unter Berücksichtigung der örtlichen Gegebenheiten – in etwa mit den bereits in der Literatur vorliegenden Untersuchungen.

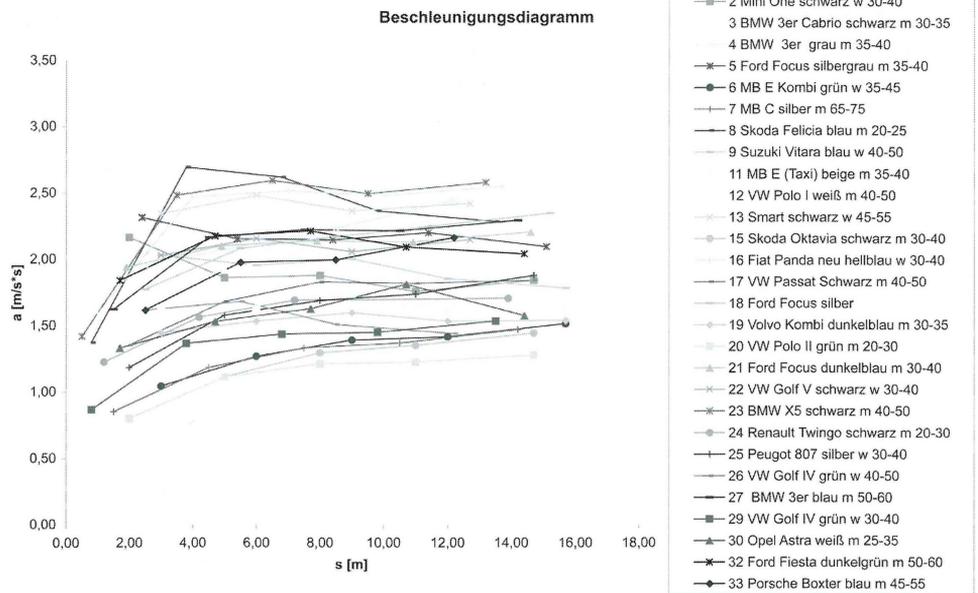


Abb. 3: Beschleunigungsdiagramm

**Beschleunigung ist nicht
zwangsweise von Motorisierung
abhängig**

Trotz der sicherlich nicht repräsentativen Auswahl wurde versucht, einige mögliche Abhängigkeiten von Parametern zu erarbeiten:

Ein Abhängigkeitsgrad von der **Motorisierung** konnte in der vorliegenden Verkehrssituation nicht zwingend festgestellt werden. So war bspw. ein nicht sehr leistungsstarker Smart das zweitschnellste der Fahrzeuge. Bisweilen werden auch sehr stark motorisierte Fahrzeuge (z.B. Porsche Boxster) abhängig von der Verkehrssituation eher moderat beschleunigt. Des Weiteren war eine Abhängigkeit vom Geschlecht und vom Alter nicht eindeutig festzustellen.

Ferner wurden die Anfahrtdiagramme von **Kleintransportern**, insbesondere von Paketfirmen, denjenigen von **Pkw** gegenübergestellt. Interessant war, dass trotz des höheren Gewichtes und der größeren Abmessungen deren Anfahrbeschleunigungen etwa auf dem Niveau von Pkw liegen.

Insgesamt lässt sich das **Fazit** ziehen, dass das Anfahrverhalten und die Anfahrbeschleunigungen wesentlich von den individuellen Fahreigenschaften sowie den Gegebenheiten an der Messstelle bzw. am Unfallort abhängen.

2. Anfahrbeschleunigung von Lastkraftwagen

Diagrammscheibenauswertung

Im Gegensatz zum Pkw sind Lkw i.d.R. mit einer Diagrammscheibe ausgerüstet. Diese könnte hinsichtlich des weg-zeitlichen Verlaufes des Anfahrvorgangs einer **Diagrammscheibenauswertung** unterzogen werden. **Problematisch** ist jedoch, dass der Diagrammaufschrieb systembedingt erst ab einer Geschwindigkeit von 6 km/h erfolgt und die Auswertung des Fahrtenschreibers vergleichsweise großen Toleranzen unterworfen ist. Ein wichtiger Punkt, der den Anfahrvorgang eines Lkw vom Pkw unterscheidet, ist die Differenz zwischen dem zulässigen Gesamtgewicht und dem Leergewicht, die beim Lkw bedeutend größer ist. Entsprechend kommt der Zuladung des Lkw bei der Beurteilung des Anfahrvorgangs eine höhere Bedeutung als beim Pkw zu. Die Diagrammscheibenauswertung eines Anfahrvorgangs kann lediglich einen ersten überschlägigen Ansatzpunkt für den Unfallanalytiker liefern, der jedoch im Detail auf Plausibilität überprüft werden muss.

In einer Untersuchung (FÜR BETH/GROBER/KOLB/BURGER, Verkehrsunfall- und Fahrzeugtechnik 1993, 182 ff.) wurden die Anfahrbeschleunigungen von Lkw bis zu einer Anfahrwegstrecke von 30 m bei Geradeausfahrt und beim Abbiegen gemessen. Die Probanden wurden angewiesen, „langsam“, „normal“ oder „schnell“ zu beschleunigen. Beim Einbiegen wurden „normale“ Anfahrbeschleunigungen bis zu einer Wegstrecke von rd. 30 m relativ konstant um 0,5 m/s² gemessen. Beim Geradeausbeschleunigen sind

sie höher, d.h. für teilbeladene Lkw bei etwa $0,7 - 1 \text{ m/s}^2$, für vollbeladene Sattelzüge bei ca. $0,5 - 0,7 \text{ m/s}^2$ anzusetzen. Die Bandbreite der Anfahrbeschleunigungen ist wesentlich von der Mentalität des Fahrers abhängig. Bei schweren und langen Sattelzügen wird die Anfahrbeschleunigung bei engradigen Einbiegevorgängen durch die Räumlichkeiten, nicht aber durch die Motorisierung begrenzt. Ähnlich wie bei Pkw müssen auch bei Lkw die Schaltpausen, die ca. $0,8 - 1,2 \text{ s}$ währen, beachtet werden. Diese führen letztlich zu einem nicht linearen Beschleunigungsverlauf.

In Kenntnis dieser Tatsachen ist es die Aufgabe des Unfallanalytikers, Abweichungen von einer konstant angenommenen Beschleunigung hinsichtlich des Weg-Zeit-Verlaufes zu berücksichtigen.

3. Anfahrbeschleunigungen von Zweirädern

Aufgrund höherer Leistungsgewichte sind die **Anfahrbeschleunigungen** von **Motorrädern** i.d.R. höher als die von Pkw. Für die Bestimmung normaler Anfahrbeschleunigungen wurden seinerzeit in unserem Büro Beschleunigungsversuche (SCHMEDDING/BÜSCHER, Verkehrsunfall- und Fahrzeugtechnik 1994, 67 ff.) mit Motorrädern in acht unterschiedlichen Leistungsgewichtsklassen durchgeführt. Das Fahrerkollektiv bestand aus vier durchschnittlich routinierten Fahrern. Die ausschließlich geraden Messstrecken betragen 8 bzw. 16 m.

Dominante Parameter für die Anfahrbeschleunigungen sind die jeweiligen Übersetzungsverhältnisse in den niedrigen Gangstufen. Unterschiede zwischen Enduros und Straßenmotorrädern resultieren u.a. aus dem unterschiedlichen Drehmomentverlauf in den unteren Drehzahlbereichen. Von Enduro-Fahrern werden i.d.R. höhere Beschleunigungen gewählt als von Straßenmotorrad-Fahrern.

Bemerkenswert ist, dass die normale Anfahrbeschleunigung mit einem Sozius zumindest bei leistungsstarken Motorrädern nicht zwangsläufig niedriger liegt als im Solobetrieb. Unter Ausnutzung des maximalen Beschleunigungspotentials ergibt sich allerdings immer eine Reduzierung der Beschleunigung.

Die nachfolgende Abbildung gibt einen Überblick über die durchschnittlichen Anfahrbeschleunigungen über eine Wegstrecke von 8 m. Die Versuche wurden auf trockener Fahrbahn durchgeführt. Bei feuchter oder nasser Fahrbahn ist sicherlich eine Reduzierung der Beschleunigung zu erwarten.

	Beschleunigung [m/s^2]			
	ohne Beifahrer		mit Beifahrer	
Messstrecke 8 m	normal	maximal	normal	maximal
Enduro	3,0 ... 3,5	6,0 ... 7,0	2,5	4,0
Straßenmotorrad	2,5 ... 3,0	4,5 ... 5,0	1,5 ... 2,0	3,0 ... 4,0
Roller / kleines Straßenmotorrad	2,0 ... 3,0	4,0 ... 4,7	1,5 ... 2,0	2,5 ... 3,5
Mofa / Mokick / LKR	1,5 ... 2,0	2,0 ... 4,0	1,5	2,5

Abb. 4: Anfahrbeschleunigung von Motorrädern

4. Anfahrbeschleunigung von Bussen

Bei der Beurteilung von Anfahrvorgängen von Bussen, insbesondere im Linienverkehr, stehen der Komfort sowie die **Stand-** und **Sitzsicherheit** für die Fahrgäste im **Vordergrund**. Die Standsicherheit in Bussen ist bereits bei einer Beschleunigung bzw. Verzögerung von ca. $1,3 \text{ m/s}^2$ gefährdet (WALTER/SCHNEIDER/SCHIMMELPFENNIG, Verkehrs- und Fahrzeugtechnik 1999, 317 ff.). Heutzutage sind nahezu alle Busse mit Automatikgetriebe ausgerüstet, sodass sich der Geschwindigkeits-Weg-Verlauf vergleichsweise linear darstellt. WALTER hat bei seinen verdeckt durchgeführten Untersuchungen Beschleunigungen zwischen $0,7$ und $2,4 \text{ m/s}^2$ festgestellt, wobei sich die weitgehende Mehrzahl der Anfahrbeschleunigungen in einem Spektrum zwischen $0,8$ und $1,2 \text{ m/s}^2$ beim Geradeausbeschleunigen bewegte.

Zweiräder beschleunigen i.d.R. schneller als Pkw

In Bussen muss Stand- und Sitzsicherheit gewährleistet sein

Bei Kurvenfahrten sind entsprechend niedrigere Anfahrbeschleunigungen zwischen 0,5 und 1 m/s² zu diskutieren.

Zusammenfassung

III. Fazit

Bei Kreuzungs- und Einbiegeunfällen ist die Anfahrbeschleunigung ein entscheidender Parameter bei der Analyse des Unfallherganges und der Rekonstruktion der Weg-Zeit-Zusammenhänge.

Zwingend sind bei der Auswahl die örtlichen Gegebenheiten und besonderen Umstände des Unfalls zu berücksichtigen.

Im Einzelfall ist seitens des Unfallanalytikers zu prüfen, ob überhaupt mit einer konstanten Beschleunigung gerechnet werden kann oder ggf. Nichtlinearitäten im Weg-Zeit-Verlauf zu berücksichtigen sind.

In jedem Fall muss man sich über etwaige Fehler bei der Berechnung mit einer konstanten Anfahrbeschleunigung im Klaren sein und diese im Einzelfall diskutieren bzw. begründen.

Die nachfolgende Tabelle gibt einen Überblick über die anzunehmenden Anfahrbeschleunigungen unterschiedlich motorisierter Verkehrsteilnehmer.

mittlere Anfahrbeschleunigung in der Ebene (Strecke: 8-10m)/a [m/s ²]			
	geradeaus		ein-/abbiegend
	normal	maximal	normal
Pkw	1,5 ... 2,5	3,0 ... 6,0	1,0 ... 2,0
Lkw (teilbeladen)	0,7 ... 1,0	ca. 1,5	0,5 ... 0,7
Sattelzug (vollbel.)	0,5 ... 0,7	ca. 1,3	ca. 0,5
Stadt-Linienbus	0,8 ... 1,2	2,0 ... 2,5	0,5 ... 1,0
	ohne Beifahrer		mit Beifahrer
	normal	maximal	normal
Motorrad	2,0 ... 3,5	4,0 ... 7,0	1,5 bis 2,5

Abb. 5 Anfahrbeschleunigungen

Praxistipps:

1. Normale, alltägliche Anfahrbeschleunigungen sind deutlich niedriger als die in Fachzeitschriften veröffentlichten Maximalbeschleunigungen.
2. Geringe Anfahrbeschleunigungen des Einbiegenden wirken sich i.d.R. zu Ungunsten des vorfahrtberechtigten Verkehrsteilnehmers aus.
3. Die individuellen Örtlichkeiten und deren Einflüsse müssen berücksichtigt werden.
4. Befindet sich eine Diagrammscheibe im Lkw, so sollte diese mikroskopisch ausgewertet werden.
5. Bei längeren Wegstrecken ist die Anfahrbeschleunigung nicht konstant. Sie nimmt mit zunehmender Wegstrecke ab. ■