

Unfallrekonstruktion

Gefühl für Weg und Zeit – Nur die letzten Sekunden zählen

von Dipl.-Ing. Martin Kornau, Lüdenscheid*

Um eine Vorstellung vom Ablauf eines Verkehrsunfalls zu erhalten und festzustellen, unter welchen Umständen dieser hätte vermieden werden können, ist der Zeitraum vor der Kollision, also die Entwicklung des Unfalls, zu rekonstruieren. Hierzu muss der Unfallanalytiker die Bewegungen der Unfallbeteiligten in Beziehung setzen und untersuchen, wer in welcher Zeit welche Strecke zurückgelegt hat und wo sich die Unfallgegner zur jeweiligen Zeit befunden haben. Diese Vermeidbarkeitsbetrachtung lässt sich am besten in einem Weg-Zeit-Diagramm veranschaulichen. Mit der grafischen Verknüpfung von Weg und Zeit wird so auch dem Nicht-Techniker verständlich dargestellt, ob der Unfall für die Beteiligten vermeidbar gewesen wäre.

I. Allgemeine Vorgehensweise

Mit Hilfe der i.d.R. am Unfallort festgehaltenen Fahrzeugendstellungen, gesicherter Spuren sowie der Fahrzeugschäden ist der Unfallanalytiker in der Lage, über die Auslaufanalyse und die Kollisionsmechanik die Positionen der Fahrzeuge und ihre Geschwindigkeit zum Zeitpunkt der Kollision zu bestimmen. Auf dieser Basis können nun die **vorkollisionären Bewegungen verknüpft** werden. Dabei gibt das Weg-Zeit-Diagramm dem Anwender die Möglichkeit, den Unfallablauf nicht nur punktuell zu betrachten, sondern vielmehr die **Zusammenhänge** zwischen den Bewegungen der Unfallbeteiligten **zu jedem beliebigen Zeitpunkt** des betrachteten Zeitraums abzulesen und entsprechende Toleranzen zu berücksichtigen. Die Vorteile dieses Darstellungsverfahrens liegen auch darin, dass dem Unfallanalytiker das Weg-Zeit-Diagramm zur **Kontrolle** der errechneten Daten dient und bspw. im Laufe einer Gerichtsverhandlung gewonnene neue Erkenntnisse meist ohne großen Aufwand eingearbeitet werden können.

II. Aufbau des Weg-Zeit-Diagramms

Der Begriff **Bewegung** verbindet die Komponenten **Weg** und **Zeit**, die man grafisch in einem zweiachsigen Diagramm darstellen kann. Ein solches Weg-Zeit-Diagramm ist i.d.R. so aufgebaut, dass auf der **waagerechten Achse der Weg** in der Einheit Meter [m] und auf der **senkrechten Achse die Zeit** in der Einheit Sekunde [s] abgetragen wird. Parallel zu der Weg-Achse zeichnet man in einem Zeitintervall von einer Sekunde mehrere **Zeit-Hilfslinien**, wobei die Sekunde Null den Kollisionszeit-

Auslaufanalyse und Kollisionsmechanik bestimmen die Kollisionsgeschwindigkeit; das Weg-Zeit-Diagramm verknüpft die vorkollisionären Bewegungen

Grafische Darstellung von Weg und Zeit:

- Senkrechte Kollisionslinie als Zeit-Achse
- Zeit-Hilfslinien parallel zur waagerechten Weg-Achse

* Der Autor ist Sachverständiger für Straßenverkehrsunfälle im Ingenieurbüro Schimmelpfennig + Becke Lüdenscheid.

punkt angibt. Die Zeit-Achse ist durch die **Kollisionslinie** beschrieben, die ausgehend vom Kollisionsort in der Zeichnung des Straßenverlaufs als Lot die Zeit-Hilfslinien schneidet. Die daraus entstehenden Zeitpunkte **vor der Kollision** haben **negative Vorzeichen** und werden i.d.R. oberhalb der Weg-Achse abgetragen, die **Zeitpunkte nach der Kollision** haben **positive Vorzeichen**, wie die Abb. 1 zeigt.

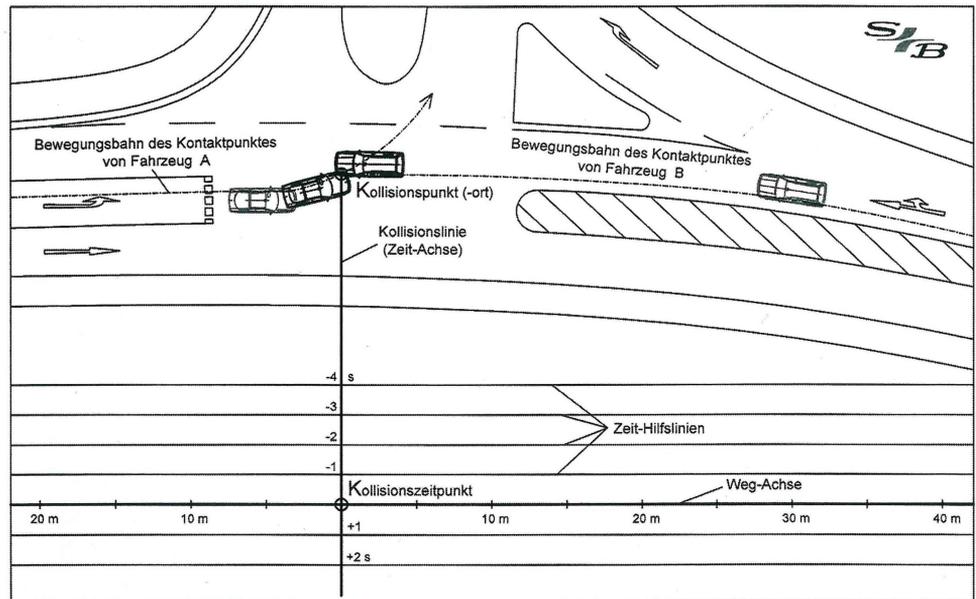


Abb. 1: Aufbau des Weg-Zeit-Diagramms

Zum Kollisionszeitpunkt befinden sich die Kontaktpunkte im Kollisionspunkt K

Der Zeitpunkt des Zusammenstoßes wird als **Kollisionszeitpunkt** bezeichnet. In diesem Moment befinden sich die Anstoßzonen der Fahrzeuge respektive die Kontaktbereiche, die für die Darstellung im Weg-Zeit-Diagramm zu **Kontaktpunkten** zusammengezogen werden, zur selben Zeit am selben Ort. Die Lage der Kontaktpunkte zum Zeitpunkt der Kollision nennt man **Kollisionspunkt**, der in der maßstäblichen Zeichnung der Unfallörtlichkeit und im darunter befindlichen Diagramm mit **K** gekennzeichnet ist.

III. Darstellung der Bewegungsarten

Bewegungslinien stellen vier mögliche Bewegungsarten dar

Während die Auslaufanalyse und die Kollisionsmechanik zu den **Kollisionsgeschwindigkeiten** führen, legen vorkollisionäre Spuren oder die durch die Gegebenheiten am Unfallort vorgegebene Einlaufrichtung die Bewegungsrichtung der Fahrzeuge oder auch der Personen fest. Diese **Bewegungsbahnen** der Kontaktpunkte in der Unfallzeichnung lassen sich in das Weg-Zeit-Diagramm übertragen und ergeben hier die **Bewegungslinien** der Kontaktpunkte.

Die grafische Darstellung dieser Bewegungslinien beschreibt die **vier möglichen Bewegungsarten**, nämlich eine konstante Annäherungsgeschwindigkeit, eine verzögerte Bewegung, eine beschleunigte Bewegung oder den Stillstand des Fahrzeuges bspw. vor einem Abbiegebeginn.

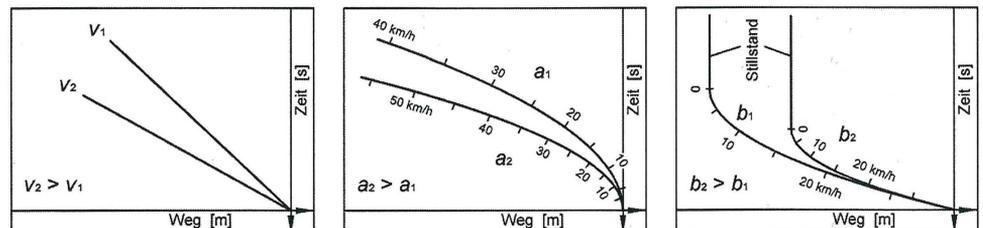


Abb. 2a: konstante Geschwindigkeit

Abb. 2b: Verzögerung

Abb. 2c: Beschleunigung

Gerade beschreibt konstante Geschwindigkeit

Die **konstante Geschwindigkeit v** in der Abb. 2a ist durch eine **Gerade** beschrieben, deren **Steigung** die Geschwindigkeit angibt. Diese ist umso größer, je flacher die Gerade ist. Werden bei der konstanten Geschwindigkeit in gleichen Zeitintervallen gleich große Wege zurückgelegt, fährt ein ge-

bremstes Fahrzeug in gleichbleibenden Zeitintervallen von einer Sekunde eine stets kleiner werdende Strecke, was durch eine **Parabel** dargestellt ist (s. Abb. 2b). Mit der **Verzögerung a** bis zum **Stillstand** ($v = 0 \text{ km/h}$) endet die Parabel in einer **Senkrechten**, während bei der **Beschleunigung b** aus dem Stand die Parabel aus einer Senkrechten kommt und mit steigender Geschwindigkeit zu einer Waagerechten tendiert (s. Abb. 2c).

Parabel zeigt Verzögerung oder Beschleunigung, Senkrechte gibt Stillstand an

Die **Kombination der möglichen Bewegungsarten** ergibt schließlich eine **zusammenhängende Bewegungslinie**, die in Verbindung mit den zugehörigen Fahrzeugpositionen in der Zeichnung der Unfallörtlichkeit den **gesamten Bewegungsablauf vor der Kollision** beschreibt.

Kombination der möglichen Bewegungsarten ergibt die Bewegungslinie

IV. Die letzten Sekunden vor der Kollision

Für eine **Vermeidbarkeitsbetrachtung** ist zu berücksichtigen, dass sich zumindest innerörtliche Unfälle in einem Zeitrahmen von nur etwa 2 sec. entwickeln. Es spielt also normalerweise keine Rolle, ob ein Fahrzeugführer mehrere Sekunden vor seiner tatsächlichen Reaktion durch ein anderes Ereignis abgelenkt wurde, weit vor dem Unfallort sehr schnell fuhr oder zuvor ein anderes Fahrzeug überholt hat. Entscheidend ist vielmehr die **Situation unmittelbar vor der Kollision**, wobei die **objektive Reaktionsaufforderung** angesichts eines Gefahrensignals den Beginn der **Reaktionsdauer** und damit die Möglichkeit zur **Vermeidung des Verkehrsunfalls** festlegt.

Situation unmittelbar vor der Kollision ist entscheidend

Reaktionsaufforderung erst durch Gefahrensignal

Sind vorkollisionäre Bremsspuren dokumentiert, ist nicht nur die Position des Fahrzeuges zum Verzögerungsbeginn bekannt, sondern – mit Vorgabe der **Reaktionsdauer** – auch die Position im Moment der Reaktion des Fahrzeugführers. Dabei unterstellt man für die Phase der Reaktionsdauer, die mit einer Sekunde veranschlagt wird, jedoch auch kürzer bzw. inklusive Blickzuwendungsdauer deutlich länger ausfallen kann, i.d.R. eine konstante **Ausgangs- oder Annäherungsgeschwindigkeit** bis zum Bremsbeginn und meist auch vor der Reaktionsaufforderung.

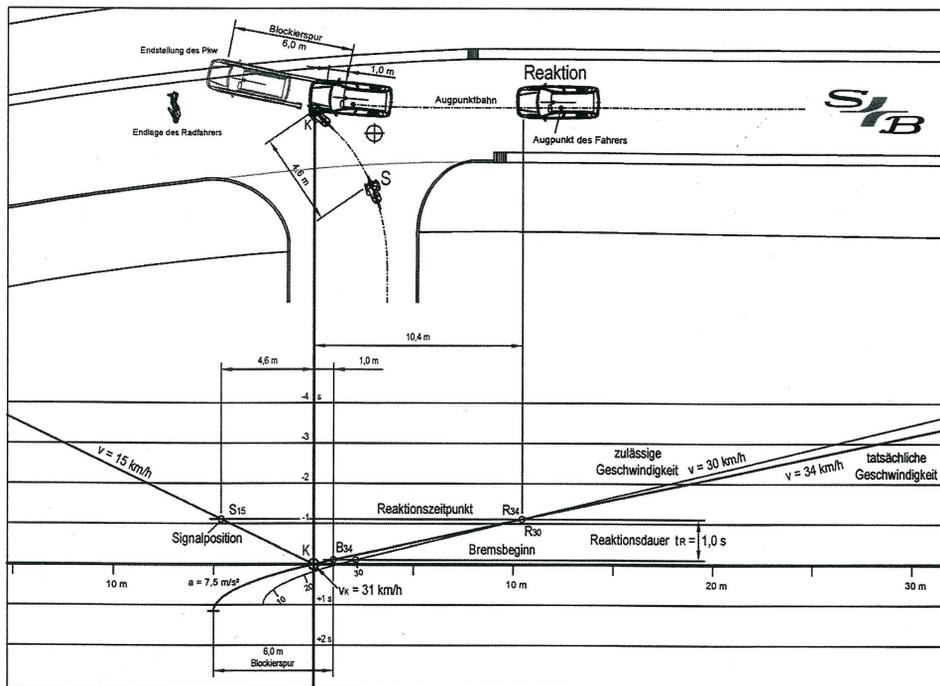


Abb. 3: Beispiel eines Weg-Zeit-Diagramms (Bremsausgangsgeschwindigkeit bekannt)

V. Unfallbeispiele

1. Bremsausgangsgeschwindigkeit bekannt

Zum Vergleich ist in der Abb. 3 eine Unfallsituation gezeigt, in welcher der durch die „rechts vor links“-Regelung bevorrechtigte Pkw-Fahrer auf das ungebremste Einbiegen eines Fahrradfahrers mit einer **Blockierbremsung** reagierte. Aus der zuvor durchgeführten Kollisionsanalyse konnten zu-

Reaktion mit Blockierbremsung

nächst die Geschwindigkeiten zum Kollisionszeitpunkt ermittelt werden, wobei für das Zweirad eine Mindestgeschwindigkeit von 15 km/h angesetzt ist, während die mittlere Kollisionsgeschwindigkeit des Pkw etwa 31 km/h betrug.

Durch den **vorkollisionären Bremsweg** von etwa einem Meter sind sowohl der **Bremszeitpunkt** von lediglich 0,1 sec. vor der Kollision als auch die **Bremsausgangsgeschwindigkeit** mit im Mittel 34 km/h bekannt. An die **Verzögerungsparabel** schließt sich demnach eine **Gerade** an, deren Steigung eine Annäherungsgeschwindigkeit von 34 km/h beschreibt; man erhält also eine **zusammenhängende Bewegungslinie** im Weg-Zeit-Diagramm.

Reaktion R auf Signal S

Der Schnittpunkt des **Reaktionszeitpunktes R** eine Sekunde vor dem Bremsbeginn gibt die Entfernung des Fahrzeuges bis zum Kollisionsort an, die in dem Beispiel 10,4 m beträgt. Die daraus resultierende Position des Pkw ist in die Zeichnung der Unfallörtlichkeit übertragen. Zum gleichen Zeitpunkt muss seitens des von links einfahrenden Fahrrades ein **Gefahrensignal** ausgegangen sein. Dabei führt der **Schnittpunkt der Reaktionszeitlinie** 1,1 sec. vor der Kollision mit der Bewegungslinie des Fahrrades zu einer Entfernung bis zur Kollisionslinie von 4,6 m; die entsprechende **Signalposition S** ist ebenfalls in die Zeichnung **maßstäblich übertragen**.

Verlängerte Reaktionszeit bei Blickzuwendung

Demnach reagierte der Pkw-Fahrer auf eine Position des Fahrrades, als sich dieses noch innerhalb der Einmündung zu der bevorrechtigten Straße befunden hat. In dieser Situation konnte der Fahrzeugführer erkennen, dass der Radfahrer ohne anzuhalten einbiegen würde. Dabei könnte zu Gunsten des Pkw-Fahrers auch eine längere Reaktionszeit von 1,5 sec. unterstellt werden, da im Grunde eine **Blickzuwendung** erforderlich war.

Letztlich lässt sich mit diesem Beispiel verdeutlichen, dass der Pkw-Fahrer auch bei Einhaltung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 30 km/h die Kollision trotz Vollbremsung weder räumlich noch zeitlich hätte vermeiden können. Bei dieser Ausgangsgeschwindigkeit hätte die Restgeschwindigkeit noch gut 22 km/h betragen und der Pkw hätte den Kollisionsort lediglich knapp 0,2 sec. später erreicht, das Fahrrad also frontal erfasst!

Kürzester Anhalteweg zur räumlichen Vermeidbarkeit

Da dem Fahrzeugführer zur **räumlichen Vermeidbarkeit** allenfalls ein **Anhalteweg** von knapp 10 m zur Verfügung gestanden hat, hätte er hierzu mit max. 25 km/h fahren müssen.

2. Bremsausgangsgeschwindigkeit nicht bekannt

Bremsdauer als Zeit zwischen Reaktionsaufforderung und Kollision abzgl. der Reaktionsdauer

Die Notwendigkeit, eine Weg-Zeit-Betrachtung durchzuführen, liegt insbesondere dann vor, wenn die Berechnung der Annäherungsgeschwindigkeit ohne eine vom Fahrzeug hinterlassene Bremsspur erfolgen muss. Mit Hilfe des Weg-Zeit-Diagramms lässt sich die **Bremsdauer**, die dem Fahrzeugführer zur Verfügung stand, bestimmen. Diese ist i.d.R. durch die **Zeit zwischen der Reaktionsaufforderung und der Kollision abzgl. der Reaktionsdauer** definiert.

Gefahrensignal durch anfahrenen Pkw

Ein Beispiel hat bereits BECKE in seinem Beitrag zur „Geschwindigkeitsermittlung vor Bremsbeginn“ im VRR 2005, 22 f., beschrieben. Hier reagierte ein Fahrzeugführer auf eine Signalposition eines kreuzenden Pkw, nachdem dieser eine Anfahrstrecke von einem Meter zurückgelegt hatte. Das Gefahrensignal war somit eindeutig durch das Anfahren des Pkw gekennzeichnet.

Bei dem nachfolgenden Unfall der Abb. 4 reagierte der Fahrzeugführer A bereits deutlich bevor das Fahrzeug B die Wartelinie der von rechts kommenden Einmündung erreichte bzw. überfuhr. Aus der Kollisionsanalyse errechnet sich für den bevorrechtigten Pkw A eine Kollisionsgeschwindigkeit von 25 km/h, während der Kurven schneidend einbiegende Pkw B zum Kollisionszeitpunkt mit etwa 20 km/h fuhr. Dabei kollidierten zwar beide Fahrzeuge gebremst, allerdings zeichnete das ABS-gebremste Fahrzeug A **keine Bremsspuren**, sodass der **Bremsbeginn nicht bekannt** war.

Grenzbetrachtung, wenn Bremsbeginn nicht bekannt

Auch eine eindeutige Signalposition des Fahrzeuges B als Reaktionsaufforderung konnte zunächst nicht festgelegt werden – es fuhr ohne anzuhalten in den Bereich der Einmündung. Ob das Fahrzeug dabei mit einer konstanten Annäherungsgeschwindigkeit von 24 km/h – entspricht der Bremsausgangsgeschwindigkeit – fuhr oder aus einer höheren Geschwindigkeit vor der Einmündung zunächst verzögert und dann zum Einbiegen wieder beschleunigt wurde, lässt sich nicht mehr feststellen. Bei der in dem Weg-Zeit-Diagramm grau dargestellten Bewegungslinie ergibt sich aber als **Grenzbetrachtung** die zum möglichen Reaktionszeitpunkt des Fahrzeugführers A kürzeste Fahrstrecke des Fahrzeuges B zwischen der Signalposition und dem Kollisionsort. Für diesen Zeitpunkt

knapp 2 sec. vor der Kollision ist eine möglichst geringe Geschwindigkeit zu unterstellen, aus der der Pkw B bis zum Bremsbeginn beschleunigt wurde.

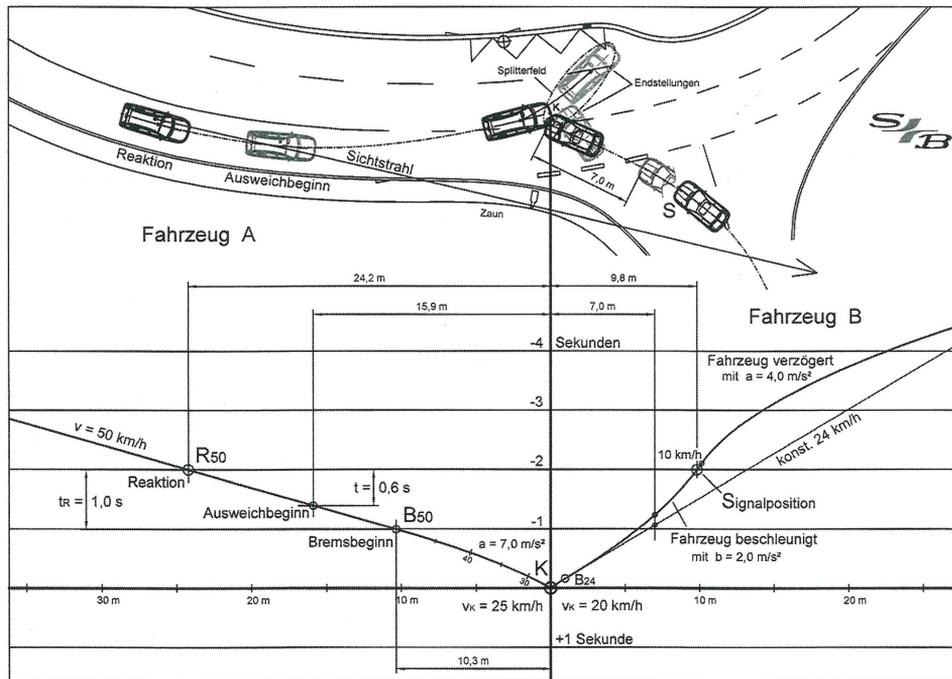


Abb. 4: Beispiel eines Weg-Zeit-Diagramms (Bremsausgangsgeschwindigkeit nicht bekannt)

Nimmt man für den bevorrechtigten Pkw A zunächst die zulässige Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h an, die der Fahrzeugführer auch als maximale Annäherungsgeschwindigkeit behauptete, reagierte er mit dem **Ausweich-/Bremsmanöver** auf eine Signalposition des Pkw B, als dieser noch knapp 10 m vom Kollisionspunkt entfernt und deutlich in den **möglichen Sichtbereich** des Fahrzeugführers A eingefahren war. Dessen Reaktion bezog sich demnach auf eine Situation, als ihm bewusst wurde, dass der Pkw B ohne anzuhalten einbiegen würde. Ein früheres Reagieren und damit eine höhere Annäherungsgeschwindigkeit des Fahrzeuges A – so die Behauptung des Fahrzeugführers B – lässt sich daher nicht nachweisen.

VI. Fazit

Die geschilderten Beispiele zeigen auf, dass ein **anschauliches Weg-Zeit-Diagramm** nahezu zwingend erforderlich ist, um die Beweisfragen zur möglichen Vermeidbarkeit des Verkehrsunfalls zu beantworten.

Auch wenn das **Grundprinzip der Darstellung einheitlich** ist, gestaltet sich **jeder Fall anders**, und häufig lässt sich erst durch eine solche Vermeidbarkeitsbetrachtung zur Plausibilität Stellung nehmen. Es wäre wünschenswert, wenn allen Unfallrekonstruktionsgutachten derartige Weg-Zeit-Diagramme beiliegen, da diese eine hervorragende Zusammenfassung der durchgeführten Analyse darstellen. Außerdem entwickelt auch der Nicht-Techniker ein **Gefühl für Weg und Zeit**.

Reaktion zum frühestmöglichen Zeitpunkt

Beweis durch anschauliches Weg-Zeit-Diagramm