

Zur Problematik der Bremsreaktionszeit im Straßenverkehr

Henrik Zöller, Wolfgang Hugemann

Zusammenfassung

Die empirischen Grundlagen, auf denen die Empfehlungen des 20. Deutschen Verkehrsgerichtstags (1982) zur Dauer von Bremsreaktionszeiten im Straßenverkehr beruhen (BURCKHARDT, 1985), werden kritisch beleuchtet. Die Autoren stellen fest, daß eine Blickbewegung als notwendige Komponente der Bremsreaktion nur in bestimmten Fällen, bei denen die periphere Sehschärfe zur Objektidentifikation nicht ausreicht, gefordert werden muß, während sie bei einfachen Detektionsaufgaben sowie bei Identifikationsaufgaben mit ausreichender Objekt-/Detailgröße nicht erforderlich ist. Außerdem sind BURCKHARDT's Schätzungen zur Dauer einer solchen Blickbewegung unrealistisch hoch und beruhen zudem höchstwahrscheinlich auf einem methodischen Artefakt, der mit bestimmten Annahmen bezüglich der Reaktionszeitverteilung zusammenhängt. Ferner kritisieren die Autoren die ausschließliche Verwendung des Paradigmas der einfachen Reaktionsaufgabe zur Schätzung realistischer Bremsreaktionszeiten, da die einfache Reaktion nicht typisch für den Straßenverkehr ist und die dort vorkommenden Reaktionsdauern unterschätzt. Die Bedeutung von aufmerksamkeitssteuernden Prozessen für die Reaktionszeit wird betont. Die Autoren schlagen eine Revision der Untersuchungen zur Gewinnung einer repräsentativen Bremsreaktionszeitverteilung mit geeigneteren Methoden vor.

Einleitung

Bei der Rekonstruktion von Unfällen im Straßenverkehr spielt die Frage nach der Veranschlagung der Reaktionszeit von Verkehrsteilnehmern bekanntermaßen eine bedeutsame Rolle, da der Anhalteweg eines Fahrzeugs bei einer Vollbremsung nicht nur aus dem Bremsweg besteht, sondern zusätzlich aus der Wegstrecke, die das Fahrzeug während der Reaktionszeit des Fahrers ungebremst zurücklegt

$$\text{Anhalteweg} = \text{während der Reaktionszeit zurückgelegte Wegstrecke} \\ + \text{Bremsweg}$$

Der Bremsweg ergibt sich aus $v^2/2a$, wobei v [m/s] die Geschwindigkeit des Fahrzeugs beim Beginn der Vollbremsung, und a die Bremsverzögerung [m/s²]. Da hier nur technische Größen eine Rolle spielen, ist der Bremsweg für den Verkehrspsychologen relativ uninteressant. Ganz anders dagegen ist die sogenannte „Schrecksekunde“, nämlich die Reaktionszeit, die vom Moment des Auftauchens eines Gefahrenobjekts bis zum Einsatz der motorischen Bremsreaktion verstreicht, eine vieldiskutierte Einflußgröße im Rahmen der Vermeidbarkeitsbetrachtung von Verkehrsunfällen. Welche Zeitspanne muß man dem Kraftfahrer für diese Reaktion zubilligen? Eine einfache Rechnung ergibt beispielsweise, daß sich der Anhalteweg eines Fahrzeugs bei Tempo 50 km/h bereits um etwa 7 m verlängert, wenn man dem Autofahrer eine Reaktionszeit von 1.5 s anstatt nur 1 s zugesteht. Bei Tempo 100 km/h verlängert sich der Anhalteweg bereits um knapp 14 m, die das Fahrzeug in einer halben Sekunde zusätzlich zurücklegt. COHEN (1987) berichtet von statistischen Schätzungen, wonach es zu etwa 50% weniger Unfällen kommen würde, wenn die Fahrer 0.5-

1 s früher reagiert hätten. Das sind sicherlich Größenordnungen, über die sich im Rahmen der Vermeidbarkeitsbetrachtung zu diskutieren lohnt, und es hat in der Vergangenheit ernsthafte Bemühungen gegeben, vernünftige Richtlinien für die Bemessung der Reaktionszeit beim Abbremsen eines Fahrzeugs zu finden. In der vorliegenden Arbeit beschäftigen wir uns mit diesem Problem, indem wir die bisherigen Ansätze hierzu diskutieren und eigene Untersuchungen vorstellen.

Die Bemessungsgrundlage für die Dauer einer Bremsreaktion seit dem 20. Deutschen Verkehrsgerichtstag 1982

Auf der Grundlage der Arbeiten von BURCKHARDT, die erst 1985 veröffentlicht wurden, verabschiedete der 20. Deutsche Verkehrsgerichtstag 1982 seine Empfehlungen zur Dauer der Bremsreaktion. BURCKHARDT hatte hierzu ein Feldexperiment durchgeführt, in dem zwei PKW hintereinander auf einer Landstraße fuhren. Der Fahrer des vorderen PKW war instruiert, von Zeit zu Zeit eine Bremsung anzudeuten, d.h. das Bremspedal zu berühren, so daß seine Bremslichter aufleuchteten. Hierauf wiederum mußte der Hintermann ebenfalls mit einer angedeuteten Bremsung so schnell wie möglich reagieren (wirkliche Vollbremsungen wurden nicht durchgeführt). Mittels einer funkgesteuerten Meßeinrichtung wurde die Zeitdauer vom Moment des Aufleuchtens der Bremslichter des Vordermanns bis zum Moment der Berührung des Bremspedals durch den Hintermann bestimmt. Von jeder Versuchsperson (VP) wurden während einer solchen Verfolgungsfahrt mehrere Reaktionszeiten erhoben. Somit ergab sich eine statistische Reaktionszeitverteilung, die BURCKHARDT ohne weitere Angabe von Gründen mit dem mathematischen Modell der Weibullverteilung schätzte.

Die empirische Verteilung der Reaktionszeiten ließ sich jedoch nicht zufriedenstellend mit einer einzigen Weibullverteilung anpassen. Deshalb nahm man an, der „wahren“ Verteilung müßten mehrere Weibullverteilungen zugrunde liegen, und die Addition dieser Verteilungen ergäbe die Gesamtverteilung. Als theoretische Rechtfertigung für diesen Ansatz diente die Vermutung, die VPn hätten manchmal eine Blickbewegung (sakkadische Augenbewegung) ausführen müssen, um das Bremslicht des Vordermannes sehen zu können. BURCKHARDT geht davon aus, daß der Prozeß der Blickzuwendung dem eigentlichen Reaktionsprozeß vorgeschaltet ist. Die Verteilung der Durchlaufzeit kaskadierter Prozesse ergibt sich aus den Verteilungen der Durchlaufzeiten der Einzelprozesse und der statistischen Kopplung (im einfachsten Fall: Korrelation) der Prozesse. BURCKHARDT berechnete die Parameter der Weibullverteilung der spontanen Reaktion aus den Meßwerten im Bereich unterhalb des Medians. Diese Verteilung verrechnete er mit Daten von KÖHLER (1997) zu Latenzzeiten von Sakkaden, um die Parameter der Weibullverteilung von Reaktionen mit Blickzuwendung zu ermitteln.

Tabelle 1 stellt einige Zahlenwerte der angenommenen Prozeßkomponenten einer Bremsreaktion zusammen, die aus den Ergebnissen des Feldversuchs von BURCKHARDT (1985) erschlossen wurden.

Wir sehen, daß nach dieser Vorstellung die Reaktionszeit aus einzelnen Teilzeiten besteht, wobei für die Identifikation des Objekts durch die visuelle Wahrnehmung 0.22 bis 0.58 s veranschlagt werden. Zu dieser „Wahrnehmungszeit“ muß auf jeden Fall noch die Umsetzzeit des Fußes vom Gas- auf das Bremspedal hinzuaddiert werden (0.15 – 0.21 s) sowie die Schwelldauer der Bremsanlage, bis es zur Spurzeichnung kommt (0.17 – 0.24 s). Die Schwelldauer gehört allerdings strenggenommen nicht zur menschlichen Reaktionszeit, da sie eine rein technische Größe ist. Addiert

man diese drei Werte, so ergibt sich eine Basisreaktionszeit von 0.54 – 1.03 s, die man dem Kraftfahrer zugestehen muß, sofern sich das Gefahrenobjekt (bzw. hier: das Bremslicht des vorausfahrenden Fahrzeugs) im zentralen Gesichtsfeld (foveales Sehen) befindet. Muß der Kraftfahrer aber zur Seite schauen, um das Gefahrenobjekt zu erkennen, so benötigt er hierfür zusätzliche 0.32 – 0.55 s, falls sich das Objekt innerhalb von 5° Sehwinkel um die fovea centralis herum befindet, bzw. weitere 0.09 – 0.15 s, falls es noch peripherer gesehen wird. Exzentritäten von mehr als 5° Sehwinkel, so BURCKHARDT, werden nämlich nicht mit einem einzigen Blicksprung erreicht, sondern erfordern eine Korrektursakkade des Auges. Als maximale Reaktionsdauer ergibt sich bei stark peripherem Sehen eine „Schrecksekunde“ von 0.95 bis 1.73 s.

	2%	50%	98%
Blickzuwendung	0.32	0.48	0.55
Korrektursakkade	0.09	0.13	0.15
Informationsverarbeitung	0.22	0.45	0.58
Umsetzen des Fußes	0.15	0.19	0.21
Schwelldauer der Bremsanlage	0.17	0.22	0.24
Basisreaktionsdauer	0.54	0.86	1.03
+ Blickzuwendung < 5°	0.86	1.34	1.58
+ Blickzuwendung > 5°	0.95	1.47	1.73

Tab. 1 : Teilzeiten einer Bremsreaktionsdauer [sec] nach den Ergebnissen von BURCKHARDT (1985). Die Zahlenwerte kennzeichnen jeweils das 2%-Perzentil der statistischen Reaktionszeitverteilung, sowie das 50%-Perzentil (Median) und das 98%-Perzentil. Zeitdauern in der ersten Spalte werden also nur in < 2% aller Fälle unterschritten; längere Zeiten als die in der letzten Spalte aufgeführten sind ebenfalls nur in 2% aller Fälle zu erwarten.

Kritik und Erweiterung des Modells von BURCKHARDT

Wir möchten an dieser Stelle das von BURCKHARDT vorgeschlagene Reaktionsmodell kritisieren und erweitern. Die Überlegungen hierzu sind in 6 Thesen zusammengefaßt, die wir nacheinander besprechen. Die Thesen sind zum schnellen Überblick jeweils kursiv gedruckt. Die ersten 4 Thesen behandeln die Annahme einer Blickbewegungskomponente im Reaktionsmodell von BURCKHARDT. Die 5. These betont die Variation der Reaktionszeit in Abhängigkeit der Reaktionsaufgabe (einfache Reaktion, GoNoGo-Reaktion, Wahlreaktion). Die 6. These weist auf den Einfluß der Aufmerksamkeit auf die Dauer

der Reaktionszeit hin (Erwartungshaltung, räumliche Fokussierung vs. Verteilung der Aufmerksamkeit).

1. Die Reaktionszeiten aus Untersuchungen zur einfachen Reaktionszeit beim Bremsen können durch eine unimodale Verteilungsfunktion beschrieben werden, sofern der parametrische Ansatz über drei freie Parameter verfügt.

Bei der Auswertung der experimentellen Daten sollte die statistische Verteilung der Reaktionszeiten genau beschrieben werden. Die alleinige Angabe des Mittelwertes oder Medians würde den Erfordernissen der Rechtsprechung nicht genügen, da die gesamte denkbare (bzw. akzeptierbare) Bandbreite menschlichen Verhaltens berücksichtigt werden muß.

Um die Verteilung genauer zu beschreiben, genügt im Prinzip die Angabe einiger markanter Perzentile, bspw. 2%-, 5%-, 50%-, 95%- und 98%-Perzentil. Dann könnte die Jurisdiktion entscheiden, welche Bandbreite des menschlichen Verhaltens sie im konkreten Fall zu akzeptieren bereit ist. Die Empfehlungen des 20.

Deutschen Verkehrsgerichtstages gehen allerdings deutlich weiter, es wird praktisch eine Taylorisierung der Bremsreaktion vorgenommen, bei der für jeden Teilvorgang die entsprechenden Perzentile angegeben werden. Diese Teilvorgänge sind statistisch miteinander verknüpft; die Perzentile hintereinander geschalteter Vorgänge ergeben sich nicht einfach aus der Addition der entsprechenden Perzentile der Einzelvorgänge.

Um Perzentile gekoppelter Vorgänge berechnen zu können, müssen die Verteilungsfunktionen der Einzelvorgänge bekannt sein. Die Angabe von Perzentilen ist in diesem unzureichend. Bei der Auswertung der Meßwerte wurde deshalb die empirische Verteilung für jeden Teilvorgang parametrisch beschrieben. Bei der parametrischen Anpassung der Verteilungsfunktionen wurden einige methodische Fehler begangen, die zu einer unbefriedigenden Beschreibung experimentell gefundenen Verteilung führten. Weitere methodische Fehler unterliefen bei der Berechnung der Gesamtzeiten gekoppelter Vorgänge; diese sollen hier jedoch nicht betrachtet werden.

Für die mathematische Beschreibung der Verteilungsdichtefunktion entschied sich BURCKHARDT in von vornherein für die Weibullverteilung

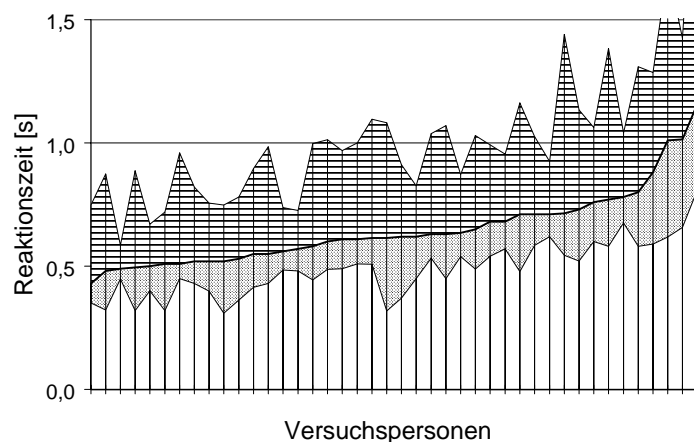


Abb. 1: Median, 2%- und 98%-Perzentil der Reaktionszeit für die einzelnen Versuchspersonen

$$f(t) = \frac{B}{T - t_0} \cdot \left(\frac{t - t_0}{T - t_0} \right)^{B-1} \cdot e^{-\left(\frac{t - t_0}{T - t_0} \right)^B} \quad ; \quad F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t - t_0}{T - t_0} \right)^B}$$

mit $f(t)$ als Verteilungsdichtefunktion und $F(t)$ als Verteilungsfunktion (Summenhäufigkeit). Diese Verteilung besitzt die besondere Eigenschaft, daß die Ausfallrate

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{1 - F(t)}$$

durch ein Polynom beschrieben wird

$$\lambda(t) = \frac{B}{T - t_0} \left(\frac{t - t_0}{T - t_0} \right)^{B-1}.$$

Die Weibullverteilung wird deshalb bevorzugt zur Beschreibung des verschleißbedingten Versagens von technischen Bauteilen verwendet. Dort steigt die Versagensrate unter den „überlebenden“ Bauteilen ab einem Zeitpunkt t_0 meist progressiv. Dieses Verhalten ist in der Weibullverteilung praktisch eingebaut, sie ist ihrer Struktur nach auf diese Fälle zugeschnitten. An keiner Stelle erwähnt BURCKHARDT, daß die Weibullverteilung damit auch eine klare Aussage zum Reaktionsverhalten des Menschen trifft: Ab einem Zeitpunkt t_0 wächst die Wahrscheinlichkeit, daß der Proband bald reagiert, progressiv an. Eine für die Reaktion im Straßenverkehr provokante These. Bedauerlicherweise wurde dann auch noch der Offset t_0 mit fragwürdiger Argumentation gestrichen, so daß dieses Verhalten bereits ab dem Zeitpunkt Null einsetzt.

Die verbleibenden beiden Parameter der Weibullverteilung wurden dann mit einem modifizierten Momentenverfahren an die Versuchsdaten angepaßt:

$$B = \frac{\pi}{\sqrt{6} \tilde{\sigma}} \quad ; \quad T = e^{\left(\tilde{\mu} + \frac{C}{B} \right)},$$

mit $\tilde{\sigma}$ und $\tilde{\mu}$ als Standardabweichung und Mittelwert der logarithmierten Reaktionszeit und C als Eulerscher Konstante (=0,5772).

Diese funktionalen Zusammenhänge lassen bereits die praktischen Schwierigkeiten bei der parametrischen Anpassung experimenteller Daten erkennen: Der Parameter B ist an die Streuung der Meßwerte gebunden, der Parameter T an den Mittelwert. Das Modell besitzt keinen weiteren Freiheitsgrad, um die Schiefe der Meßdaten zu beschreiben. Die Schiefe der angepaßten Verteilung ist funktional an den Parameter B gebunden. Für Werte $B > 3,6$, wie sie sich bei der Beschreibung von Reaktionszeiten stets ergeben, ist die Schiefe negativ und die Verteilung damit rechtssteil. Reaktionszeitverteilungen sind jedoch stets linkssteil, so daß die Weibullverteilung in dieser Form prinzipiell nicht zu ihrer Beschreibung taugt. Die **Abb. 1** zeigt einige Perzentile der Reaktionszeiten der Versuchspersonen im damaligen Experiment. Wie man sieht ist das 98%-

Perzentil bei fast allen VPn weiter vom Median entfernt als das 2%-Perzentil, ein erstes Indiz für eine linkssteile Verteilung. Ein genauere Rechnung ergibt, daß die Schiefe für nahezu alle VPn positiv ist.

Ein denkbarer Ausweg ist der Wechsel auf ein parametrisches Modell mit drei freien Parametern. Eine naheliegende Lösung wäre der Wechsel auf die allgemeine Weibullverteilung mit Offset t_0 . Für die allgemeine Weibullverteilung ist die Momentenmethode allerdings nicht mehr anwendbar. ZÖLLER und HUGEMANN schlugen deshalb die zeitverschoben Gammaverteilung als alternativen parametrischen Ansatz vor

$$f(t) = \frac{1}{\Gamma(B) \cdot T} \left(\frac{t-t_0}{T} \right)^{B-1} e^{-\left(\frac{t-t_0}{T}\right)} ; \quad F(t) = \frac{\Gamma\left(B, \frac{t-t_0}{T}\right)}{\Gamma(B)}$$

mit $\Gamma(B)$ als der vollständigen und $\Gamma(B, y)$ als der unvollständigen Gammafunktion.

Für diesen parametrischen Ansatz lassen sich alle Parameter mittels der Momentenmethode berechnen

$$B = \frac{4}{\chi^2} ; \quad T = \frac{1}{2}\sigma\chi ; \quad t_0 = \mu - \frac{\sigma}{2\chi}$$

mit χ als der Schiefe der Verteilung.

Der Offset t_0 kann als Mindestreaktionszeit interpretiert werden, die aufgrund physiologischer und psychologischer Mindestzeiten von keinem Probanden unterschritten werden kann. Die Ausfallrate der Gammaverteilung ist mathematisch komplizierter zu handhaben

$$\lambda(t) = \frac{1}{T} \cdot \frac{\left(\frac{t-t_0}{T}\right)^{B-1} e^{-\left(\frac{t-t_0}{T}\right)}}{\Gamma(B) - \Gamma\left(B, \frac{t-t_0}{T}\right)}$$

Die Ausfallrate ist für den (hier einzig interessierenden) Fall $B > 1$ monoton steigend. Während die Ausfallrate der Weibullverteilung unbegrenzt wächst, nähert sich die Ausfallrate der Gammaverteilung asymptotisch dem Endwert $1/T$.

Die Prognose für die Reaktionszeiten lautet also: Keiner der Probanden reagiert unterhalb einer Mindestzeit t_0 . Ab diesem Zeitpunkt wächst die Wahrscheinlichkeit der Reaktion kontinuierlich und nähert sich dem Endwert $1/T$. Mit der zeitverschobenen Gammaverteilung läßt sich die empirische Häufigkeitsverteilung weit besser approximieren als mit der Weibullverteilung, **Abb 2**.

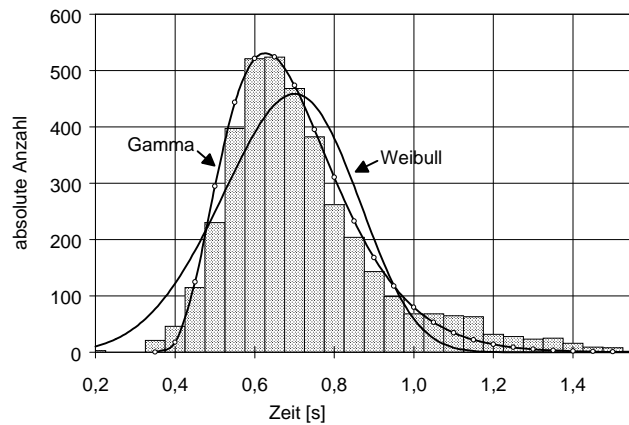


Abb 2: Approximation der Versuchsdaten mittels Weibullverteilung und zeitverschobener Gammaverteilung.

Generell kann festgestellt werden,

daß zumindest ein dreiparametrisches Modell erforderlich ist, um die Versuchsdaten zufriedenstellend zu beschreiben. Die zeitverschobene Gammaverteilung stellt zwar eine der besten Möglichkeiten dar, doch hätte bereits der Wechsel auf die allgemeine Weibullverteilung deutlich bessere Ergebnisse erbracht. Die Approximation der drei freien Parameter der allgemeinen Weibullverteilung ist über die Minimierung einer geeigneten Verlustfunktion möglich.

Die Kommission wählte jedoch eine andere Lösung. Ausgangspunkt bildete die These, daß bewußte Reaktionen nur auf foveal erfaßte Reize möglich sind. So sollte auch die Bremsreaktion im Nachfahrexperiment nur für den Fall möglich sein, daß der Proband das Bremslicht des Vorfahrenden zuvor foveal erfaßt hatte. Da eine ständige Fokussierung des Bremslichtes über die gesamte Versuchsdauer unmöglich war, mußte der Proband nach dieser Philosophie in einem Teil der Fälle vor der eigentlichen Reaktion eine Blickbewegung zum Zielreiz vollführen. Diese Blickbewegung verlängert in diesen Fällen dann die Reaktionszeit. Die Gesamtverteilung $f(t)$ stellt damit eine Überlagerung zweier Verteilungen „Reaktion ohne Blickzuwendung“ $f_1(t)$ und „Reaktion mit Blickzuwendung“ $f_2(t)$ dar

$$f(t) = \phi f_1(t) + (1 - \phi) f_2(t)$$

mit ϕ als dem Anteil direkter Reaktionen ohne Blickzuwendung.

Für die Verteilungsdichtefunktionen $f_1(t)$ und $f_2(t)$ wurden Weibullverteilungen verwendet, so daß das Modell nun fünf freie Parameter hatte. Die Approximation der Versuchsdaten ist dennoch nicht sehr gelungen, Abb. 3. Die Ursache ist wohl darin zu suchen, daß die Güte der

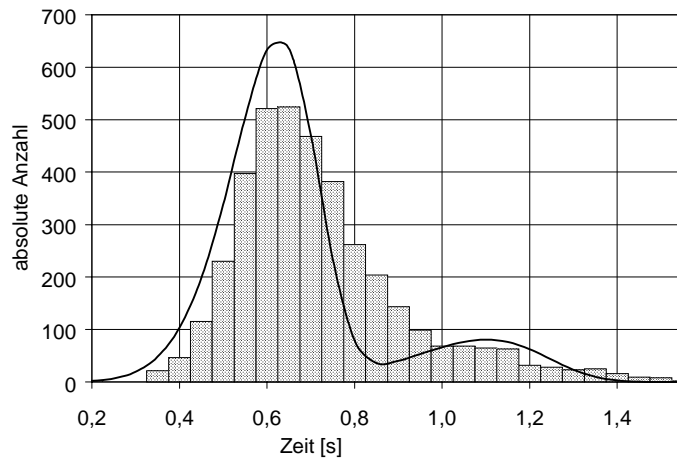


Abb. 3: Approximation der experimentellen Verteilung durch zwei Weibullverteilungen.

Approximation immer nur im Weibullnetz beurteilt wurde. Das Weibullnetz ist eine stark verzerrte Darstellung der Summenverteilung $F(t)$. LUCE (1986) rät generell davon ab, funktionale Approximationen anhand der Summenverteilung vorzunehmen, da unterschiedliche funktionale Ansätze in dieser Darstellung optisch kaum zu unterscheiden sind.

BURCKHARDT vertritt die These, daß die Versuchsdaten eine Unterteilung der VPn in zwei Gruppen zuließen, Probanden mit spontaner Reaktion und Probanden, die zuvor eine Blickbewegung durchführen. Bereits **Abb. 1** läßt diese These fragwürdig erscheinen, sie ließ sich auch mit detaillierteren Analysen unsererseits nicht erhärten. Unseres Erachtens sind die beobachtete Bandbreite rein durch interpersonelle Leistungsunterschiede zu erklären.

Die Approximation der Versuchsdaten durch eine bimodale Verteilung ist anhand der Daten nicht zu rechtfertigen. Sie scheint vielmehr ein methodisches Artefakt zu sein, das in den Unzulänglichkeiten des funktionalen Ansatzes begründet ist. Unserer Meinung nach besagen die Versuchsdaten lediglich, daß selbst bei einfachsten Reaktionen im Straßenverkehr eine große Bandbreite im Bereich der oberen Perzentile beobachtet wird. Dies deckt sich mit den Beobachtungen von COHEN (1987), der auch den statistischen Einfluß des Blickwinkels auf Detektionshäufigkeit und Reaktionsdauer aufzeigte.

Der Blickwinkel, unter dem der Zielreiz erscheint, hat sicher Einfluß auf die Reaktionszeit. Wenn er versuchstechnisch nicht kontrolliert wird, wird die Bandbreite der experimentellen Ergebnisse größer. Dies ist bei derart einfachen Zielreizen wie in diesem Experiment jedoch nicht in einer Blickbewegung begründet. Die Daten sind vielmehr als unimodale Verteilung zu interpretieren, deren großer Bandbreite im Bereich der oberen Perzentile letztlich in der Aufgabenstellung begründet ist.

2. Die aus Laboruntersuchungen bekannten Zahlen über die Latenzzeiten und Dauern von Blickbewegungen decken sich nicht mit den Zahlen, die BURCKHARDT (1985) aus seinen Daten schätzt.

Die Augenmuskeln gehören zu den schnellsten Muskeln unseres Körpers (ALPERN, 1982). Ein Wechsel der Blickrichtung geschieht im allgemeinen durch eine sprunghafte, ballistische Bewegung des Augapfels, die als sakkadische Augenbewegung oder kurz: Sakkade bezeichnet wird. Je nachdem, wie sich das peripher auftauchende und anzuvisierende Objekt strukturell vom Hintergrund abhebt, haben Sakkaden eine etwas unterschiedliche Latenzzeit (=Reaktionszeit, Zeitdauer vom Beginn der Reizdarbietung bis zum Beginn der Augenbewegung). Falls sich das Zielobjekt nur durch einen Leuchtdichtekontrast abhebt, beträgt die Latenzzeit 127-170 ms. Bei „reinen“ Orientierungskontrasten (die ohne gleichzeitigen Leuchtdichte- oder Farbkontrast allerdings in der natürlichen Umwelt sehr selten sind) beträgt sie 158-221 ms. Falls das Objekt nur durch seine Bewegungsrichtung zum Hintergrund kontrastiert, beträgt sie 148-191 ms (NOTHDURFT, PARLITZ, 1993). Ein 4.5° peripher dargebotener Leuchtdichtekontrast kann in manchen Fällen sogenannte Express-Sakkaden auslösen, die eine Latenz von nur etwa 70 ms haben. WESTHEIMER (1954) gibt für Leuchtdichtekontraste etwa 130 ms als sakkadische Latenzzeit an. Ferner hat nach Angaben von BAHILL, STARK (1986) beispielsweise eine Sakkade mit der Weite von 10° Sehwinkel eine Dauer von 38 – 45 ms. Auch Sakkaden mit einer Weite von mehr als 20° haben eine Zeitdauer von weniger als 100 ms, da die Höchstgeschwindigkeit – und damit die Beschleunigung – der Augenbewegung in diesem Winkelbereich eine annähernd lineare Funktion der Sakkadenweite ist. Wenn wir also mittels sakkadischer Blickbewegungen einen Gesichtsfeldbereich von 20° Radius absuchen, so haben wir für die Verarbeitungszeit einer einzelnen Blickbewegung mit maximal 300 ms zu rechnen (max. 200 ms Latenzzeit + max. 100 ms Bewegungsdauer). Dieser Wert ist geringer als der in Tabelle 1 angegebene 2%-Perzentilwert nach BURCKHARDT (1985). Es sei betont, daß die hier referierten Zeitdauern aus Untersuchungen stammen, in denen Augenbewegungen direkt gemessen und nicht erschlossen wurden.

3. Je nach Art der Reaktionsaufgabe und Aufgabenschwierigkeit muß die Reaktionszeit bei peripherem Sehen überhaupt nicht verlängert sein; sie kann gegenüber dem fovealen Sehen (Objekt geradeaus in Blickrichtung) sogar verkürzt sein; in solchen Fällen müssen wir schließen, daß keine Blickbewegung zur Reaktionsauslösung notwendig war.

Falls zur Erkennung eines peripher gesehenen Objekts eine vorherige Blickbewegung notwendig ist, die das Objekt an die Stelle des schärfsten Sehens (fovea centralis) bringt, so müßte sich die Reaktionszeit mindestens um die Dauer dieser Blickbewegung verlängern gegenüber der Reaktionszeit bei fovealer Darbietung des Objekts. Hierzu führten ZÖLLER, HUGEMANN (1995) und HU-

GEMANN, ZÖLLER (1996) zwei Experimente durch, in denen die einfache Bremsreaktionszeit gemessen wurde in Abhängigkeit des Leuchtdichtekontrasts eines balkenförmigen Reizes, der die Sehwinkelabmessungen eines in 30 m Entfernung auftauchenden Fußgängers von 175 cm Größe und 30 cm Schulterbreite hatte. Der Balken erschien entweder foveal oder 5° peripher (für die VP nicht vorhersehbar). Die Fixation der VP unmittelbar vor einer Reizdarbietung wurde kontrolliert, indem die VP mehrmals hintereinander die zufallsvariierte Öffnungsrichtung eines Landoltrings angeben mußte, wobei die Sehwinkelgröße der Öffnung an der Grenze der fovealen Sehschärfe lag. Die Adaptationsleuchtdichte des Hintergrunds betrug 0.5 cd/m² (mesopische Adaptation). Im ersten Experiment, an dem 32 VPn teilnahmen, betrug der Kontrast des Balkens ($K = [L_{\max} - L_{\min}] / L_{\min}$) entweder 10.4 oder 0.5, was dem 520-fachen, bzw. 26-fachen Schwellenkontrast entspricht. Während die Reaktionszeit durch den niedrigeren Kontrast um etwa 40 ms erhöht war, zeigte sich kein statistisch bedeutsamer Effekt der Variation der Position des Balkens: hätten die VPn bei 5° peripherer Darbietung des Balkens eine Blickbewegung durchgeführt, wie es von BURCKHARDT (1985) unterstellt wird, so müßte die Reaktionszeit hier entsprechend erhöht sein. Im Experiment ist die Reaktionszeit für beide Kontraste bei peripherer Darbietung allerdings nur um 11 ms erhöht gegenüber der fovealen Darbietung, was innerhalb des experimentellen Zufallsfehlers liegt und keinesfalls auf eine Blickbewegung schließen läßt.

Der Leser sollte sich im übrigen hüten, die hier gemessenen Reaktionszeiten in ihrem absoluten Ausmaß für den Straßenverkehr repräsentativ zu halten. Es war hier und auch in den folgenden beiden Experimenten nicht unser Ziel, Schätzungen für Notbremsreaktionszeiten im Straßenverkehr zu gewinnen. Vielmehr werden hier nur Reaktionszeitdifferenzen interpretiert, um die Existenz von Blickbewegungen nachzuweisen.

Das zweite Experiment war eine Replikation des ersten mit der Ausnahme, daß hier 48 andere VPn teilnahmen, und der Objektkontrast in engeren Grenzen 5-fach variierte: (C = 0.09, 0.19, 0.29, 0.40, 0.52). Diese Kontraste sind zwischen 4.5-fach und 26-fach überschwellig. Die Ergebnisse zeigt **Abb. 4**.

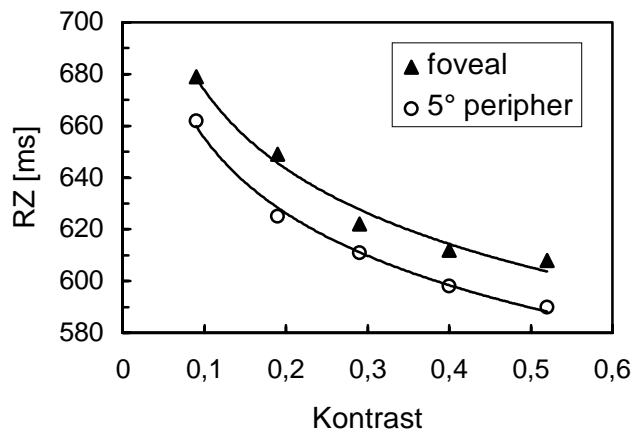


Abb. 4: Reaktionszeiten [ms] bei einer simulierten Vollbremsung im Experiment von HUGEMANN, ZÖLLER (1996). Die Grafik zeigt die einfache Reaktionszeit in Abhängigkeit des Objektkontrasts, der zur Bremsreaktion aufforderte. Parameter ist die foveale (schwarze Dreiecke), bzw. 5° periphere (unausgefüllte Kreise) Darbietung des Objekts, das den Sehwinkelabmessungen eines Fußgängers in 30 m Entfernung entspricht.

len Darbietung. Man kann also auch hier nicht davon ausgehen, daß die periphere Darbietung eine sakkadische Blickbewegung initiiert, die für den Vorgang der einfachen Reaktion erforderlich wäre.

Wir schließen aus den Ergebnissen zunächst folgendes: eine Blickbewegung findet bei seitlichem Auftauchen des Gefahrenobjekts zwar möglicherweise statt; sie ist aber *keine* notwendige Komponente zur Detektion eines peripher auftauchenden Objekts innerhalb des Reaktionsablaufs, die erst beendet sein muß, bevor die Objektidentifikation beginnen kann. Die exponentiell verlaufende Erniedrigung der einfachen Reaktionszeit mit zunehmendem Objektkontrast dagegen ist in der Psychologie schon lange bekannt (TEICHNER, KREBS, 1972) und auch im Bereich der Verkehrspsychologie nachgewiesen worden (RÖNITSCH, 1993, ECKERT, 1994).

4. Die Exzentrizität eines Objekts ist nicht per se entscheidend für die Frage, ob für die Objektidentifikation /-diskrimination eine Blickbewegung notwendig ist oder nicht. Nur wenn die periphere Sehschärfe nicht zur Objektidentifikation ausreicht, ist eine Blickbewegung als serielle Komponente des Reaktionsablaufs zu fordern.

Diese These hängt unmittelbar mit der vorhergehenden These zusammen und konkretisiert sie. Die soeben berichteten beiden Experimente haben gezeigt, daß bei peripherem Sehen die Reaktionszeit nicht unbedingt erhöht ist gegenüber der fovealen Darbietung eines Objekts. Dies müßte aber so sein, falls zur Objektwahrnehmung eine Blickbewegung erforderlich wäre. In diesen Experimenten wurde aber stets die einfache Reaktionsaufgabe verwendet, bei der die

Wie man sieht, beeinflusst auch hier der Objektkontrast die Reaktionszeit sehr stark, viel stärker als die Variation der Darbietungsposition dies vermag. Bemerkenswerterweise ist in diesem Experiment die Reaktionszeit bei peripherer Darbietung sogar bei allen Objektkontrasten im Schnitt um etwa 20 ms erniedrigt gegenüber der fovealen

VP das Objekt nicht identifizieren, sondern lediglich sein plötzliches Auftauen bemerken muß (Detektionsaufgabe). Wie aber verhält sich die Reaktionszeit, wenn das Objekt bei peripherer Darbietung von einem anderen, sehr ähnlichen Objekt unterschieden werden muß, und wenn zudem die Sehaufgabe so schwer gemacht wird, das sie garantiert nur noch bei fovealem Sehen zu meistern ist? Hier müßte sich die Reaktionszeit tatsächlich mindestens um die Dauer der erforderlichen Blickbewegung verlängern. Auch hierzu haben wir ein Experiment durchgeführt, von dem wir an dieser Stelle erstmals berichten.

Die Blickstellung der VPn unmittelbar vor einer Reizdarbietung wurde wie in den vorherigen beiden Untersuchungen ständig durch eine Zusatzaufgabe kontrolliert, bei der die VPn ein Landoltmuster erkennen mußten, wobei die Sehwinkelgröße des kritischen Details bei strenger Fixation soeben noch erkennbar war. Die VPn mußten nun zu einem zufallsvariieren Zeitpunkt auf ein plötzlich erscheinendes Schwarz-Weiß-Streifengitter mit einer Vollbremsung reagieren, aber nur dann, wenn das Gitter in vertikaler Richtung gestreift war (dies war in 50 % der Durchgänge der Fall). War das Gitter hingegen horizontal gestreift, so mußte der rechte Fuß auf dem durchgedrückten Gaspedal ruhen bleiben. Es handelte sich folglich um eine sogenannte GoNoGo-Reaktionsaufgabe mit zwei Reizalternativen (siehe hierzu auch die Erläuterungen in der 5. These). Die Raumfrequenz der Streifengitter betrug 5.2 oder 20 Perioden pro Sehwinkelgrad, was einer Streifenbreite von 5.8, bzw. 1.5 Sehwinkelminuten entspricht. Das Gitter hatte einen Leuchtdichtekontrast von 0.87, einen Gesamtdurchmesser von etwa 1° und eine kreisrunde Begrenzung. Es konnte foveal oder 5° peripher erscheinen. Raumfrequenz, Darbietungsposition und Orientierung des Gitters variierten zufällig innerhalb eines Versuchsblocks. Die Adaptationsleuchtdichte des Hintergrunds betrug 35.5 cd^2 (photopisches Sehen). Die Unterscheidung, ob das Gitter horizontal oder vertikal ausgerichtet war, fiel den VPn bei fovealer Darbietung sehr leicht. Bei 5° peripherer Darbietung hingegen, wo die Sehschärfe nur noch $1/5$ bis $1/6$ der fovealen Sehschärfe beträgt (ALPERN, 1982), konnte die Orientierung des Gitters mit hoher Raumfrequenz nur bei vorheriger Fixation durch einen Blicksprung erkannt werden. Das Gitter mit niedriger Raumfrequenz dagegen war sowohl foveal als auch peripher gut erkennbar. Wie verhält sich nun die Reaktionszeit? Abbildung 2 zeigt die Ergebnisse des Experiments.

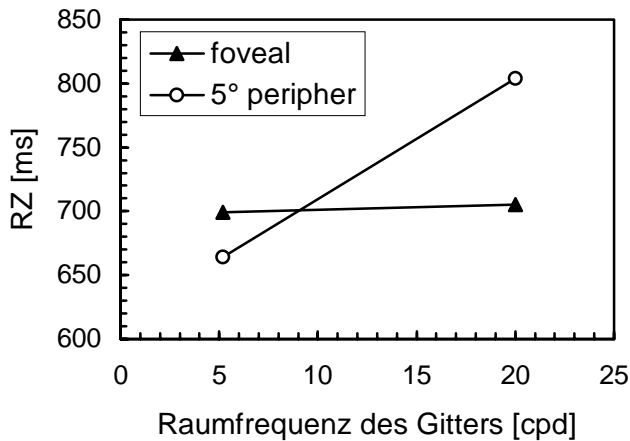


Abb. 5: mittlere GoNoGo-Reaktionszeiten in Abhängigkeit der Raumfrequenz eines vertikalen Schwarz-Weiß-Gitters sowie der Darbietungsposition des Gitters (foveal oder 5° peripher). Bei hoher Raumfrequenz (20 cycles per degree) ist die Reaktionszeit bei peripherer Darbietung um etwa 100 ms gegenüber der fovealen Darbietung erhöht. Man muß davon ausgehen, daß das Auge im Fall der peripheren Darbietung immer einen sakkadischen Blicksprung ausführen muß, damit die Orientierung des Gitters erkennbar wird.

bei peripherer Darbietung stark erhöht gegenüber der Reaktionszeit bei fovealer Darbietung, und zwar um ca. 100 ms. Dies ist sogar mehr als die reine Dauer der erforderlichen Blickbewegung. Die Reaktionszeit für das gröbere Gitter (5.2 cpd) ist dagegen bei peripherem Sehen nicht erhöht, sondern sogar leicht erniedrigt. Dieses Gitter kann also auch bei peripherem Sehen sicher und ohne Blicksprung in seiner Orientierung erkannt werden, obwohl die Breite der Gitterstreifen auch hier nur knapp 6 Bogenminuten (0.1°) Schwinkel beträgt.

5. Das Modell von BURCKHARDT (1985) berücksichtigt nicht die Reaktionszeitunterschiede für einfache Reaktionsaufgaben, GoNoGo- und Wahlreaktionsaufgaben. In seinem Experiment wurden einfache Reaktionszeiten bestimmt, die zwar die kürzesten Reaktionszeiten sind, im realen Straßenverkehr aber sehr selten vorkommen.

Im Feldversuch von BURCKHARDT (1985) wußten die VPn, daß während der Verfolgungsfahrt in unregelmäßigen Zeitabständen die Bremslichter des Vordermanns aufleuchten würden. Es bestand also eine konkrete Erwartungshaltung bezüglich der Reizsituation. Ebenso waren die VPn instruiert, daß nur eine einzige Reaktion, nämlich die angedeutete Vollbremsung, in Frage kam. Somit handelte es sich um eine sogenannte **einfache Reaktion** mit ungewisser Vorwarnzeit.

Dieser Reaktionstypus ist im Straßenverkehr allerdings nicht die Regel. Fahren wir auf eine Ampel zu, so schreibt uns das Signal bei ROT sowie bei GELB die

Die GoNoGo-Reaktionszeit auf das vertikale Gitter ist im Fall der fovealen Darbietung konstant für die Raumfrequenzen 5 und 20 cpd. Bei 5° peripherer Darbietung dagegen ändert sich die Situation drastisch. Hier ist die Reaktionszeit sehr stark von der Raumfrequenz abhängig. Als wichtigstes Ergebnis halten wir fest: bei hoher Raumfrequenz des Gitters (20 cpd) ist die Reaktionszeit

Handlungsalternative „Anhalten“, also Bremsen vor, während wir bei GRÜN weiterfahren können. Nehmen wir an, die Ampel sei für den Fahrer bei der Annäherung zunächst durch ein Sichthindernis (z.B. Lastwagen) verdeckt und wird dann etwa in der Halteentfernung seinem Blick freigegeben. In diesem Fall ist die Entscheidung „Bremsen oder nicht?“ augenblicklich anhand zweier Ausprägungen des Zielreizes zu fällen.

Nach einer Einteilung von DONDERS (1869) entspricht dies der c-Reaktion, heute bekannter unter dem Namen **GoNoGo-Reaktion**. Im Beispiel ist die rote Ampel das Signal für „Go“, was in diesem Kontext allerdings die Reaktion „Abbremsen“ beinhaltet; die grüne Ampel ist das Signal für „NoGo“, was gleichbedeutend ist mit „nichts tun / nicht reagieren“ (die Wortwahl GoNoGo ist in diesem Beispiel zugegebenermaßen etwas verwirrend).

Schließlich gibt es den b-Reaktionstyp nach DONDERS, der im heutigen Sprachgebrauch mit **Wahlreaktion** bezeichnet wird. Hier gibt es mindestens zwei verschiedene Signale, die jeweils zu einer anderen Handlungsalternative auffordern, beispielsweise dem Bremsen oder einem ausweichenden Lenkmänover.

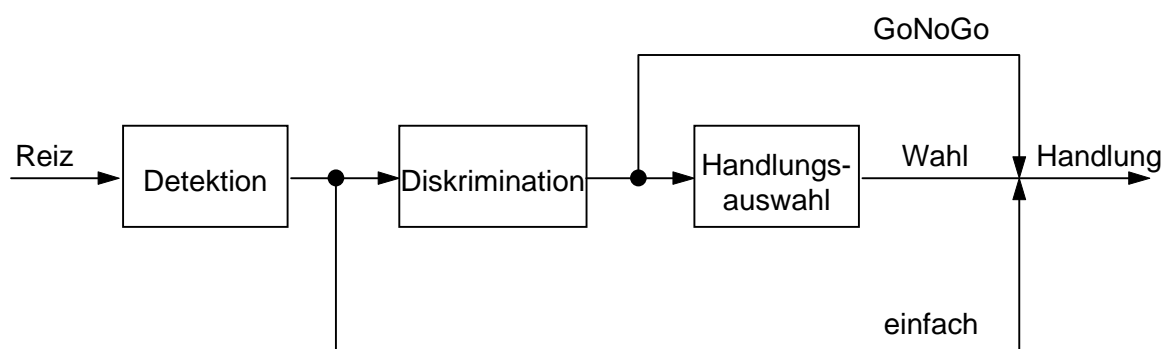


Abb 6: Stufenmodell des Reaktionsvorgangs nach der Vorstellung von DONDERS (1869). Je nach Art der erforderlichen, bzw. im Experiment mit der VP vereinbarten Reaktion werden verschiedene Verarbeitungsstufen übersprungen, woraus sich eine Reaktionszeitersparnis ergibt. (aus: HUGEMANN, ZÖLLER, 1996)

Unterschiede in der Reaktionszeit bei den drei Aufgaben könnte man mit einem einfachen Stufenmodell der Informationsverarbeitung erklären. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** zeigt ein solches Modell, in dem es drei kritische Stufen gibt: in Stufe 1 wird der Sehreiz lediglich vor seinem Hintergrund detektiert, aber noch nicht von anderen Reizalternativen diskriminiert. Möglicherweise geschieht dies durch ein phasisches neuronales Signal bei plötzlichem Auftauchen oder Bewegungs-Onset. In Stufe 2 erfolgt die Diskrimination aufgrund der Mustererkennung des visuellen Systems. Hier kann z.B. der Buchstabe X vom Y unterschieden werden, etc. In Stufe 3 schließlich erfolgt eine Handlungsauswahl, wobei das zum jeweiligen Reiz gehörende (vorher gelernte) motorische Programm ausgewählt wird (z.B. bei roter Ampel Bremsen). Zusätzlich wird noch eine Stufe der motorischen Handlungsausführung angenommen, die aus Gründen der Einfachheit nicht eingezeichnet ist, da

sie von allen Reaktionstypen durchlaufen wird und im Modell daher als additive Konstante angehängt werden kann. Wir nehmen ferner an, daß jede Verarbeitungsstufe Zeit benötigt, und daß alle Verarbeitungszeiten voneinander unabhängig sind. Wie wir sehen, überspringt die einfache Reaktion gleich zwei Verarbeitungsstufen, nämlich die Diskrimination und die Handlungsauswahl, was sich aus der Definition der einfachen Reaktionsaufgabe ergibt: man muß hier immer mit demselben motorischen Programm reagieren; die Art des Reizes muß nicht berücksichtigt werden. Bei der GoNoGo-Reaktion dagegen muß der Reiz zwar diskriminiert werden, eine Handlungsauswahl dagegen erfolgt nicht, da es ja nur die Alternativen „mit vorher vereinbarter Handlung reagieren“ oder „gar nicht reagieren“ gibt. Für die Wahlreaktion schließlich müssen alle 3 Stufen durchlaufen werden, denn zusätzlich zur Reizdetektion und -diskrimination muß hier auch eine Auswahl des zum Reiz i passenden Handlungsprogramms j erfolgen.

Im Experiment variierte DONDERS (1869) per Instruktion die verschiedenen Reaktionstypen und fand heraus, daß die einfache Reaktion im Schnitt um 83 ms schneller ist als die Wahlreaktion, während die einfache Reaktion nur um 36 ms schneller ist als die GoNoGo-Reaktion. Er schloß daraus, daß für die Reizdiskrimination 36 ms benötigt werden, während eine zusätzliche Zeitdauer von 47 ms (83-36) für die Antwortauswahl bei der Wahlreaktion angenommen werden muß. DONDERS verwendete weiße und rote Lichter als Reaktionsaufforderung, auf die mit der rechten bzw. linken Hand geantwortet werden mußte. Eine Replikation des sogenannten DONDERS-abc mit den Buchstaben X und Y als Reizmaterial sowie manuellen Reaktionen mit linker oder rechter Hand erbrachte folgendes Ergebnis (ZÖLLER, 1998):

$$RZ_{\text{wahl}} - RZ_{\text{einfach}} = 331 - 197 = 134 \text{ ms,}$$

die für die Diskrimination des Zeichens (X,Y) plus Handlungsauswahl benötigt werden.

$$RZ_{\text{gonogo}} - RZ_{\text{einfach}} = 300 - 197 = \mathbf{103 \text{ ms}},$$

was eine Schätzung der Diskriminationszeit für die Buchstaben X und Y ergibt.

$$RZ_{\text{wahl}} - RZ_{\text{gonogo}} = 331 - 300 = \mathbf{31 \text{ ms}},$$

was eine Schätzung der für die Handlungsauswahl (linke oder rechte Hand) notwendigen Verarbeitungszeit ergibt.

Die Zeit für die Handlungsauswahl fällt in der Replikation folglich nur um 16 ms kürzer aus als in der Originalstudie, während die Diskriminationszeit mehr als doppelt so hoch ist wie bei DONDERS (1869). Letzteres liegt höchstwahrscheinlich an der schwereren Diskriminierbarkeit von X und Y gegenüber roten und weißen Lichtflecken bei DONDERS. In der Replikation wurden übrigens in 60 Versuchsblöcken über mehrere Wochen verteilt insgesamt 2400 Reaktionen für jede der drei Aufgaben von einer einzelnen VP erhoben, was den Umfang der Originalstudie bei Weitem übertrifft.

Wir sehen jedenfalls, daß je nach der Art der Aufgabe mit Reaktionszeitunterschieden von 30 bis mehr als 130 ms gerechnet werden muß. Was das für die Verlängerung des Anhaltewegs bedeutet, kann sich der Leser anhand des eingangs geschilderten Beispiels leicht ausrechnen.

Außerdem verlängert sich die Reaktionszeit für Wahlaufgaben noch einmal mit der Anzahl der Reiz- und Handlungsalternativen. Nach dem HICK-HYMAN-Gesetz (HICK, 1952, siehe auch WELFORD, 1980; WICKENS, 1992) gilt für die Wahlreaktionszeit:

$$RZ = a + b \log_2(N),$$

wobei a und b Konstanten, $\log_2(N)$ der Logarithmus der Anzahl der Wahlalternativen zur Basis 2 (=Informationsgehalt der Aufgabe [bit]).

Für empirische Studien, die zu einer Bemessungsgrundlage der im Straßenverkehr zuzubilligenden Reaktionsdauer herangezogen werden, ist die Verwendung des einfachen Reaktionstypus nicht angemessen. Die ausschließliche Verwendung von Reaktionszeiten aus solchen Aufgaben, die dem Typus der einfachen Reaktion (DONDERS Typ a) entsprechen, unterschätzt vielmehr die realistischen Verhältnisse, da im realen Straßenverkehr vor allem GoNoGo-, bzw. Wahlreaktionen mit variabler Komplexität, d.h. mit variabler Anzahl der Reiz- und Handlungsalternativen, anzutreffen sind.

6. Von besonderer Bedeutung für die Frage, wie gut und (damit einhergehend) wie schnell Objekte zu erkennen sind, ist die Verteilung der visuellen Aufmerksamkeit. Falls ein Sehobjekt an bestimmter räumlicher Stelle erwartet wird, kann man sehr schnell darauf reagieren, da eine vorherige Fokussierung der Aufmerksamkeit auf diesen Bereich möglich ist; falls man dagegen seine Aufmerksamkeit über einen großen Bereich des Gesichtsfelds verteilen muß, da der Erscheinungsort ungewiß ist, verlangsamt sich die Reaktionszeit, auch wenn zur Objekterkennung keine Blickbewegung erforderlich ist. Ebenso verlängert sich die Reaktionszeit mit zunehmender räumlicher Informationsdichte im Gesichtsfeld.

Falls sich ein Objekt durch einen Leuchtdichte- oder Farbkontrast, durch seine Konturorientierung oder auch durch seine Bewegungsrichtung vom Hintergrund überschwellig unterscheidet, so ist dieses Objekt in der Lage, die visuelle Aufmerksamkeit auf sich zu ziehen. Hierdurch werden beim alltäglichen Sehen in aller Regel, wenn auch nicht notwendigerweise, Blicksprünge auf das Objekt hin ausgelöst. Diese Form der Aufmerksamkeitslenkung nennen wir passiv, da sie reizgesteuert, also von außen gelenkt, funktioniert. Im Gegensatz dazu steht die aktive, willentliche Blicklenkung, mittels derer wir das Gesichtsfeld nach einem bestimmten Objekt absuchen. Im Straßenverkehr spielt die Aufmerksamkeitslenkung eine wichtige Rolle für die Dauer der Reaktionszeit, und zwar aus folgenden Gründen:

1. Die Reaktionszeit ist erniedrigt, wenn wir innerhalb eines kurzen Zeitintervalls mit dem Auftreten eines Objekts/Signals rechnen können (WELFORD, 1980). Das Signal löst zwar letztlich die Reaktion aus, aber es hat sich vorher bereits eine Erwartungsspannung in der Motorik aufgebaut, die zwar nur für wenige Sekunden aufrechterhalten werden kann, innerhalb dieses Zeitraums aber zu beschleunigten Reaktionen führt, da die motorischen Einheiten quasi „vorgeglüht“ werden. Gefahrenhinweisschilder sowie die Gelbphase bei Ampelanlagen sind verkehrsplanerische Maßnahmen zur Verkürzung der Reaktionszeit in diesem Sinne. Besonders die Hinweisschilder bereiten uns aber nicht nur zeitlich, sondern oftmals auch räumlich auf bestimmte Ereignisse vor, indem wir durch sie angewiesen werden, die visuelle Aufmerksamkeit auf einen begrenzten Bereich des Sehfelds zu fokussieren, innerhalb dessen eine potentielle Gefahr zu erwarten ist. Diese Aufmerksamkeitsfokussierung im räumlichen Sinn beschleunigt die Reaktionszeit auf Ereignisse, die im beachteten Bereich stattfinden (WICKENS, 1992).

2. Die Fokussierung der Aufmerksamkeit ist allerdings erschwert, wenn wir durch die Anwesenheit vieler Signale im Gesichtsfeld abgelenkt werden. Der häufig kritisierte „Schilderwald“ auf unseren Straßen ist ein Beispiel hierfür. Eine hohe Informationsdichte im Sehfeld und die zusätzliche Forderung, möglichst alles zu beachten, zwingt uns zu der Strategie einer eher verteilten Aufmerksamkeit, wodurch aber die Reaktionszeit auf ein einzelnes Signal verlängert wird, auch dann, wenn zu seiner Erkennung keine Blickbewegung erforderlich ist.

Wie der Leser sicher bereits vermutet hat, fand das oben berichtete Experiment von BURCKHARDT (1985) aus Praktikabilitäts- und Sicherheitsgründen auf einer weniger befahrenen Landstraße statt. Damit aber waren die soeben angesprochenen Einflüsse auf die Reaktionszeit von vornherein minimiert. In einem Experiment von COHEN (1987) zur Reaktionszeitmessung während der Autofahrt wurde die Art der Fahrstrecke variiert (Autobahn, Landstraße, Stadtverkehr). Die mittleren Reaktionszeiten erfahrener Kraftfahrer waren am höchsten im Stadtverkehr (1526 ms) und auf der Landstraße (1503 ms), während sie auf der Autobahn, wo die Aufmerksamkeit viel enger auf den direkt vorausfahrenden Verkehr fokussiert ist, etwa 200 ms schneller waren (1317 ms).

Zusammenfassende Diskussion

Die Bedeutung der Aufmerksamkeit für die Reaktionszeit im Straßenverkehr betont auch SPIEGEL (1983) in seiner Besprechung der Empfehlungen des 20. Deutschen Verkehrsgerichtstages. Die damalige Verkehrsgerichtspraxis begegnete dem Problem der Aufmerksamkeitslenkung, bzw. -ablenkung vor allem durch die Vorschrift des defensiven Fahrstils, wonach der Verkehrsteilnehmer seine Aufmerksamkeit über den gesamten potentiellen Gefahrenbereich zu verteilen hat und darüber hinaus seine Fahrweise den situativen Gegebenheiten, sprich: dem Gefahrenpotential, anzupassen hat.

Im Reaktionsmodell von BURCKHARDT (1985) dagegen wird dem Kraftfahrer durch die Einführung der Blickbewegungszeit prinzipiell ein „Reaktionszeitbonus“ zugestanden für den Fall, daß ein Gefahrenobjekt nicht direkt in Blickrichtung, sondern seitlich auftaucht (siehe Tabelle 1). Dieser Vorschlag aber führt unserer Meinung nach zu einer problematischen Rechtspraxis, denn sie vernachlässigt völlig die Umstände,

a) daß ein Objekt/Signal möglicherweise sehr wohl peripher erkennbar gewesen sein kann

b) daß es sowohl beim peripheren als auch beim fovealen Sehen sehr stark von der Informationsdichte im Sehfeld sowie von eventuellen Gefahrenhinweisen (Vorwarnungen) abhängt, wie schnell man reagieren kann

c) daß man für die Klärung der Frage, ob ein Blicksprung für die Objekterkennung erforderlich war oder nicht, Kenntnis über die Augenstellung des Kraftfahrers im Moment der Gefahrenexposition haben muß, was praktisch unmöglich ist (man kann bestenfalls a posteriori vorschreiben, wo der Kraftfahrer hinzuschauen gehabt hätte, und in aller Regel wird man sich hierbei auf die Richtung „geradeaus“ einigen müssen).

Der Vorschlag von BURCKHARDT (1985), wonach dem Kraftfahrer bei peripherem Erscheinen eines Gefahrenobjekts *immer* eine Blickzuwendungszeit eingeräumt werden muß, erscheint uns inhaltlich nicht begründet und führt außerdem zu praktischen Problemen im Straßenverkehrsrecht. Zudem belegen die Ergebnisse früherer Augenbewegungsstudien, daß die von BURCKHARDT geschätzten Blickbewegungszeiten zu hoch angesetzt sind (2. These). Dies stellt natürlich das methodische Vorgehen von BURCKHARDT, die Reaktionszeitverteilung seiner Versuchspersonen als Summe zweier Weibullverteilungen (Reaktionen mit und ohne Blickbewegungen) aufzufassen, in Frage. Wenn man sich die Verteilungen genauer anschaut, scheint es vielmehr geboten zu sein, sie durch eine einzige charakteristische Funktion zu beschreiben. Da die Weibullverteilung hierfür offenbar ungeeignet ist, muß man sich eben für einen anderen Verteilungstyp entscheiden (siehe 1. These). Diesen Weg haben ZÖLLER, HUGEMANN (1995) und HUGEMANN, ZÖLLER (1996) erfolgreich beschritten, indem sie eine Gammaverteilung (LUCE, 1986) an ihre Daten anpaßten. Diese Funktion läßt sich auch hinreichend gut zur Beschreibung der Daten von BURCKHARDT (1985) verwenden.

Die Verwendung von Reaktionszeiten vom Typus der einfachen Reaktion (DONDERS Typ a) unterschätzt allerdings die im realen Straßenverkehr vorkommenden Reaktionsdauern (siehe 5. These), die diesem Typus in aller Regel nicht entsprechen. Ferner sollten unserer Meinung nach Experimente zur Gewinnung verlässlicher Schätzungen für Bremsreaktionszeiten auch die durchschnittliche Informationsdichte im Sehfeld des Kraftfahrers berücksichtigen, die auf ruhigen Landstraßen wesentlich geringer ist (und somit zu niedrigeren Reaktionszeiten führt) als im dichten Stadtverkehr. Datensätze aus Versuchen, die dies nicht berücksichtigen, müssen zumindest um die genannten Einflußfakto-

ren korrigiert werden, falls sie zur repräsentativen Schätzung der Bremsreaktionszeit im alltäglichen Straßenverkehr dienen sollen.

Empirische Untersuchungen, die all diesen Umständen Rechnung tragen können, sind im Feld allerdings extrem schwer durchzuführen. Dennoch sind neue Studien zur Messung der Dauer von Bremsreaktionszeiten bei Kraftfahrern unserer Meinung nach dringend geboten. Ein Ausweg aus dem Dilemma wäre die Datenerhebung an einem möglichst realistischen Fahrsimulator.

Literatur

- Alpern, M. (1982): Eye movements and strabismus. In: Barlow, H.B., Mollon, J.D. (Ed.):
The senses. Cambridge: University press, 201-211
- Bahill, A.T., Stark, L. (1986): Sakkadische Augenbewegungen. In:
Wahrnehmung und visuelles System. Heidelberg: Spektrum der
Wissenschaft, 68-77
- Burckhardt, M. (1985): Reaktionszeiten bei Notbremsvorgängen.
Köln: Verlag TÜV Rheinland
- Cohen, A.S. (1987): The latency of simple reaction on highways: A field study.
Public Health Reviews, 15, 291-310
- Donders, F.C. (1869): Over de Snelheid van psychische Processen.
Onderzoekingen gedaan in het Physiologisch Laboratorium der Utrechtsche
Hoogeschool, 1868-1869, Tweede Reeks, II, 92-120. Engl. Übersetzung von
Koster, W.C.: On the speed of mental processes. Acta Psychologica, 30,
1969, 412-431
- Eckert, M. (1994): Optische und akustische Wahrnehmungsfähigkeit im
Verkehr.
32. Deutscher Verkehrsgerichtstag, 1/1994, 196-209
- Hick, W.E. (1952): On the rate of gain of information.
Quarterly Journal of Experimental Psychology, 4, 11-26
- Hugemann, W., Zöller, H. (1996): Notbremsreaktionen beim Dämmerungssehen
und niedrigen Objektkontrasten. Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik, 9,
243-246 sowie 11, 307-312
- Köhler, G. (1979): Da Verhalten von Latenzzeiten saccadischer
Augenbewegungen unter psychophysischen Beanspruchungen. Inaugural-
Dissertation, München.
- Luce, D. (1986): Response Times.
New York: Oxford University Press
- Nothdurft, H.C., Parlitz, D. (1993): Absence of express saccades to texture or
motion defined targets. Vision Research, 33, 1367-1383
- Rönitzsch, H. (1993): Die Kontrastabhängigkeit der Reaktionsdauer von
Fahrzeugführern. Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik, 10, 264-268
- Spiegel, R. (1983): Die neuen Erkenntnisse über die Reaktionszeit des
Kraftfahrers. Die Folgerungen für die Rechtsprechung. Verkehrsunfall und
Fahrzeugtechnik, 7/8, 198-203
- Teichner, W.H., Krebs, M.J. (1972): Laws Of The Simple Reaction Time.
Psychological Review, 79, 344-358

- Welford, A.T. (1980): Reaction Times.
London: Academic Press
- Westheimer, G. (1954): Saccadic eye movements.
AMA archives of opthalmology, 52, 710-724
- Wickens, C.D. (1992): Engineering psychology and human performance.
New York: Harper Collins
- Zöller, H. (1998): Das Donders-ABC. Unveröffentl. Vortrag am Institut für
Allgemeine und Angewandte Psychologie der Universität Münster
- Zöller, H., Hugemann, W. (1995): Notbremsreaktionen beim
Dämmerungssehen: eine experimentelle Studie unter simulierten
Bedingungen. Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik, 7/8, 209-214

Adressen der Autoren:

Henrik Zöller

Institut für Allgemeine und Angewandte Psychologie

Universität Münster

Fliednerstr. 21

48149 Münster

e-mail: zoeller@psy.uni-muenster.de

Wolfgang Hugemann

Ingenieurbüro Morawski & Hugemann (Büro Münster)

Kanalstr. 58

48147 Münster

e-mail: hugemann@muenster.net