

Bewertung von Fahrzeugeigenschaften – vom Fahrgefühl zum Fahrergefühl

Hans-Peter Krüger, IZVW

Alexandra Neukum, IZVW

Jürgen Schuller, BMW AG

1 Einleitung

Im Bereich der Fahrwerksentwicklung stellt die unter dem Stichwort „subjektiv-objektiv“ gestellte Frage nach der **subjektiven Bewertung von Handlungeigenschaften und Fahrzeugreaktionen** seit Jahrzehnten einen Forschungsschwerpunkt dar. Zielsetzungen dieser Bemühungen sind in erster Linie Optimierungen im Hinblick auf die aktive Sicherheit, zu der das Fahrverhalten den wichtigsten Beitrag leistet. Ein Fahrzeug soll so ausgelegt sein, dass auftretende Fahrzeugbewegungen möglichst genau den Erwartungen des Fahrers entsprechen (Prinzip der Vorhersehbarkeit; Donges 1993). Es soll leicht kontrollierbar bzw. in kritischen Situationen beherrschbar sein und eine hohe Stabilität aufweisen. Diese Forderungen implizieren eine Anpassung der Übertragungseigenschaften des Fahrzeugs an die Fähigkeiten und Fertigkeiten des Fahrers. Nicht gleichrangiges, aber dennoch wichtiges Auslegungsziel bei der Entwicklung von Fahrwerkssystemen ist die Erhöhung des Fahrkomforts.

Kennzeichen bisheriger Ansätze ist, vom Normalfahrer Beschreibungen und Bewertungen von Fahrzeugeigenschaften zu bekommen. Im folgenden wird ein neuer Zugang vorgestellt, der aus der Tatsache entwickelt wurde, dass der Fahrer neben der Erfüllung der Fahraufgabe eine weitere zentrale Führungsgröße beachten muss: sich selbst in einem energetischen Zustand zu halten oder in einen Zustand zu versetzen, der ihm die Erfüllung der Fahraufgabe erlaubt (Effort-Management). Dieser Zugang trägt der Tatsache Rechnung, dass Fahren eine Tätigkeit mit Hilfe des Werkzeugs „Fahrzeug“ darstellt. Es wird untersucht, ob über die Beanspruchung aus dieser Tätigkeit Kriterien zur Bewertung von Fahrzeugen zu gewinnen sind.

2 Grundgedanken des Effort-Managements

2.1 Fahren als energetische Aufgabe

Der Fahrer ist in der aktuellen Fahrhandlung Ausgangs- und Endpunkt zweier Schleifen (dazu Abbildung 1):

- In der exterozeptiven Schleife setzt sich der Fahrer antizipativ ein Fahrziel in der Fahrumgebung, auf das hin das Fahrzeug gesteuert werden soll. Er erhält in der Regel über den visuellen Kanal die Rückmeldung, inwieweit er dieses Ziel erreicht hat. Abweichungen davon werden kompensatorisch ausgeregelt oder aber führen zu neuen antizipierten Zielen (hier folgt die Darstellung dem Zwei-Ebenen-Modell nach Donges, 1978).
- In der interozeptiven Schleife setzt der Fahrer seine Intention in eine Bedienhandlung um (effektorische Handlungskomponente), deren Auswirkung er als Fahrzeugreaktion (sensorisch, in der Regel kinästhetisch) rückgemeldet bekommt.

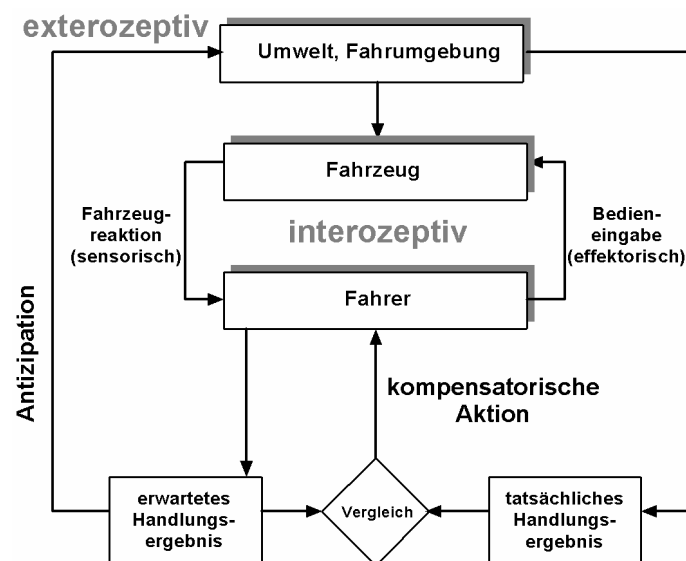


Abbildung 1: Extero- und interozeptive Schleife der Fahrhandlung.

Beide Schleifen sind nicht unabhängig voneinander. So informiert die interozeptive Rückmeldung auch über die Umwelt (etwa Straßenzustand) und ist deshalb ebenfalls eine wichtige Führungsgröße des Fahrens. Ebenso steuert der interozeptive Loop die Antizipation, wenn nur solche Ziele gesetzt werden, die innerhalb der subjektiven Grenzen der Bedienhandlungen erreichbar sind. Unmittelbar wird deutlich, dass Fahrzeugeigenschaften sich an allen Stellen dieser systemischen Verknüpfung zeigen können: Wie gut ist das Fahrzeug geeignet, die

fahrerische Intention (schnell, präzise usw.) zu erfüllen? Wie muss das Fahrzeug bedient werden, damit die Intention erfüllt werden kann (z.B. Beurteilung der Lenkung)? Wie notwendig sind kompensatorische Regelungen zur Erreichung des antizipierten Ziels (etwa: Stärke und Häufigkeit der Korrekturingriffe)? Wie stark sind die Fahrzeugreaktionen auf Umwelt- und Bedieneinflüsse (z.B. Spürbarkeit der Fahrbahn, Reaktion auf Lastwechsel)? Aus der systemischen Verknüpfung aller Komponenten ergibt sich, dass die Eigenschaft eines Fahrzeugs das Ergebnis einer fahrerischen Handlung im Zusammenwirken mit dem Fahrzeug in einer gegebenen Umwelt ist. Beurteilt der Fahrer eine Fahrzeugeigenschaft, sind Grundlage dieses Urteils alle Handlungsprozesse und -ergebnisse, die der Fahrer dem Fahrzeug zuschreibt (und nicht etwa sich selbst oder der Umwelt). Fragen der obigen Art machen ein zweites deutlich: Fahrzeugbeurteilung wird vor dem Hintergrund gesehen, dass die Transportaufgabe, auf bestimmte Weise von A nach B zu kommen, gelöst werden muss. Die untersuchten Parameter thematisieren die Tätigkeiten, die es braucht, um diese Aufgabe zu erfüllen und sie beziehen den Erfolg dieser Aufgabenlösung ein. Grundlage einer Fahrzeugbewertung wird damit die Frage: wie gut gelingt es mit dem Fahrzeug, die Transportaufgabe zu lösen (Geeignetheit)?

Die Tatsache, dass Fahren eine Handlung ist, impliziert neben der Transportaufgabe eine zweite Aufgabe, die bislang nicht in die Betrachtung aufgenommen wurde. Jede Tätigkeit hat energetische Vorbedingungen und Konsequenzen. Die Durchführung einer Tätigkeit setzt eine bestimmte Aktivationslage voraus und bedarf einer ständigen energetischen Regelung. Dabei sind die Aktivierungsprozesse sowohl aktiv wie reaktiv zu sehen: nach längerer Fahrt ermüdet man; um Müdigkeit zu bekämpfen, steigert man die Schwierigkeit des Fahrens durch Schnellerwerden; beim Reden mit dem Beifahrer wird man langsamer; nach einem riskanten Überholvorgang mit Adrenalinschub fährt man vorsichtiger; um Eustress zu erleben, begibt man sich in fahrdynamisch anspruchsvolle Situationen usw.

Fahren stellt deshalb zum einen eine aktive Leistung dar, die psychischen Aufwand fordert: während des Fahrens muss ständig die zur Verfügung stehende Aktivierung den Leistungsanforderungen entsprechen. Die zweite Quelle des Aufwands resultiert daraus, dass der Fahrer im (!) Fahrzeug sitzt, von ihm bewegt wird, es zu spüren bekommt, und diese Einwirkungen auf seinen Körper ausgleichend verarbeiten muss. Fahrdynamische Größen wirken so direkt auf den Fahrerzustand ein, und haben deshalb eine energetisch konsummative Funktion. Das heißt, Fahrdynamik ist sowohl aktiv wie passiv mit energetischen Prozessen verknüpft. Zu jedem fahrdynamischen Zustand gehört (unter Konstanthaltung der Verkehrslage) eine bestimmte energetische Beanspruchung. Oder: gewollte Veränderungen der Bean-

spruchung können über eine Veränderung in der Fahrdynamik erreicht werden, andererseits hat jede Änderung der Fahrdynamik ihre energetische Konsequenz. Der energetische Aufwand für aktives Leisten (Bedienen) und reaktives Ausgleichen (der Fahrzeugreaktionen) muss so gesteuert werden, dass Fahren überhaupt möglich ist. Der eigene Aktivierungszustand ist also eine mindestens ebenso wichtige Führungsgröße im Modell des Fahrens wie die Zielerreichung.

2.2 Fragen an das Effort-Management

Rückt man die Regulation der eigenen Beanspruchung in das Zentrum der Betrachtung, resultieren folgende Fragen:

- Wie ist Beanspruchung beim und durch Fahren messbar?
- Wie sehen die funktionalen Verknüpfungen von Beanspruchung und fahrdynamischen Prozessen aus?
- Ist Beanspruchung beim und durch Fahren tatsächlich eine Größe, die durch den Fahrer gesteuert werden kann?
- Welche Zusammenhänge sind zwischen Beanspruchungsgrößen und Fahrzeugeigenschaften zu finden?
- Beeinflusst die Beanspruchung die Bewertung einer Fahrzeugeigenschaft?

2.3 Zur Begrifflichkeit und Messung von Beanspruchung

Nach Hacker (1998, 74) ist die Beanspruchung die Summe der individuell realisierten Leistungsanforderungen in einer Situation. Einer solchen Definition mit Schwerpunkt auf der Inanspruchnahme von Leistungsfunktionen steht das Verständnis der Beanspruchung als Summe der energetischen Prozesse bei Sanders (1983) gegenüber, dessen Modellvorstellung in modifizierter Form in Abbildung 2 dargestellt ist.

Unterschieden wird zwischen einer reizbezogenen Aufmerksamkeit (arousal), die sich nach den Anforderungen der Informationsaufnahme richtet, und einer Aktivierung motorischer Systeme (activation), die auf den Handlungsoutput bezogen ist. Die Handlungskonsequenzen werden mit den Erwartungen verglichen. Treten Diskrepanzen auf, kann das Effort-System aktiviert werden, das seinerseits das arousal und/oder die activation erhöhen kann.

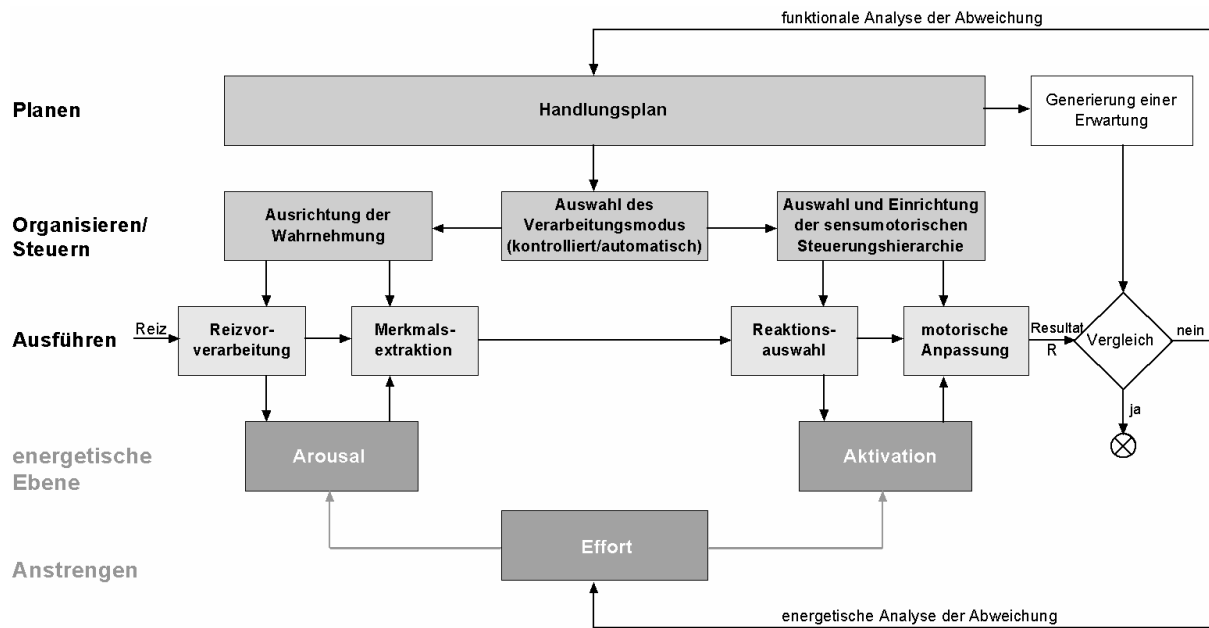


Abbildung 2: Handlung als kognitiv-energetischer Prozess (modifiziert nach Sanders 1983).

Eine Handlung spielt sich unter dieser Modellbetrachtung so ab, dass, nachdem ein Handlungsschema für die gegebene Aufgabe ausgewählt werden konnte, eine spezifizizierte Erwartung für das Handlungsergebnis generiert wird (antizipatorische Steuerung bei Donges, s.o.). Der tatsächliche Handlungserfolg wird gegen diese Erwartung verglichen. Bei Zielabweichungen oder bei Dauertätigkeiten findet im Sinne eines feedback loops eine ständige Anpassung der Handlungsparameter statt, so dass die Diskrepanzen minimiert werden (kompensatorische Regelung bei Donges, s.o.). Diese Rückkoppelungen sind „automatisiert“ und werden subjektiv nicht bemerkt (nicht bewußtseinspflichtig). Bei zu großen Regelabweichungen wird die automatisierte Schleife verlassen und die Adäquanz der Handlung überprüft. Daraus können größere Veränderungen in der Informationsaufnahme (z.B. Verstärkung und Ausrichtung der Aufmerksamkeit), in der Informationsverarbeitung (etwa: Einbezug anderer Schemata) und/oder in der Handlungsausführung (vermehrte Kraft, andere motorische Ausführungsschemata) resultieren. Das energetische Korrelat dieser verstärkten Tätigkeit oder des Tätigkeitswechsels ist die erlebte Anstrengung (bewußtseinsfähig).

Energetische Steuerung steht also in enger Interaktion mit der Informationsverarbeitung und führt in Abhängigkeit von dieser zu hochspezifischen phasischen Reaktionen. Daneben existieren unspezifische Aktivierungssysteme, die im Sinne einer tonischen Regulation den Wachheitsgrad bedingen. Qualität und Quantität der tätigkeitsbezogenen Aktivierungssysteme führen auf der Ebene tonischer Systeme summativ zu einem generellen Niveau der Aktivierung, das als „erlebte Beanspruchung“ subjektiv repräsentiert ist. Dieses generelle Niveau

sollte für eine optimale Leistung im Sinne des Yerkes-Dodson zugeschriebene u-förmige Aktivierungs-"gesetz" in einem mittleren Bereich liegen. Ein Absinken unter das optimale Niveau führt ebenso wie ein Übersteigen dieses Niveaus zu einer Leistungsminderung. Ist etwa die Reizdichte sehr gering, entstehen Vigilanzminderungen, ist sie sehr hoch, entstehen Stressphänomene. Das tonische System reguliert selbständig so, dass sensorischer Input und/oder motorischer Output so gewählt wird, dass das System möglichst lange in der optimalen Lage verharrt.

Prinzipiell ist Beanspruchung über subjektive Parameter des Erlebens (z.B. Anstrengung, Aufwand, Schwierigkeit), über beobachtbares Verhalten (Blickverhalten, Kraftaufwand, Präzision der psychomotorischen Ausführung, etc.) und über physiologische Indikatoren messbar.

2.4 Quellen der Beanspruchung beim Fahren

Betrachtet man das in Abbildung 1 dargestellte Zwei-Ebenen-Modell des Fahrens unter energetischen Gesichtspunkten, sind an vier Stellen phasische Steuerungen anzunehmen, die zu einer Gesamtbeanspruchung des Fahrens beitragen. Im exterozeptiven Loop muss das steuernde Antizipieren und das kompensatorische Regeln energetisch unterstützt werden. Im interozeptiven Loop bedarf das Bedienen und das aktive Ausgleichen der auf den Körper einwirkenden Fahrzeugreaktionen der Energie. Im unauffälligen Fahren werden diese energetischen Prozesse regelhaft nicht bemerkt und können deshalb auch nicht von den Fahrern berichtet werden. Dass Autofahren energetisch konsummativ ist, bemerkt der Fahrer in diesem Fall lediglich an den Ermüdungs- und Erschöpfungssymptomen nach langer Fahrt. Treten dagegen Schwierigkeiten im Handlungsvollzug auf, kommt das Effort-System zur Geltung und die einzelnen energetischen Komponenten werden bewußtseinsfähig. Ist die

- Wahl der Fahrspur schwierig (antizipatorischer Effort),
- bedarf es feinsten Korrekturbewegungen (kompensatorischer Effort),
- müssen schnelle Lenkbewegungen gemacht werden (Bedien-Effort) oder
- Wirkungen starker Fahrzeugbewegungen körperlich ausgeglichen werden (reaktiver Effort),

steigt die Gesamt-Beanspruchung und der Fahrer ist meist in der Lage, auch die Ursache dieser Erhöhung der Beanspruchung zu identifizieren und zu berichten.

3 Empirische Prüfung der Beanspruchung als Führungsgröße

Der hier vorgeschlagene energetische Zugang zum Fahren unterstellt, dass Beanspruchung eine im Fahrer subjektiv repräsentierte Größe ist, die sensitiv auf Änderungen des Fahrens oder des Fahrzeugs reagiert. Der Zugang unterstellt weiter, dass die Gesamt-Beanspruchung sich in Teilkomponenten zerlegen lässt, die ihrerseits den Teilfunktionen des Fahrens im Handlungsmodell entsprechen. Schließlich hypostasiert der Zugang, dass zwischen der Gesamtbeanspruchung durch das Fahren in einem bestimmten Fahrzeug und der Bewertung der Fahrt Zusammenhänge bestehen.

3.1 Zur Methodik: Steigerungsreihe und Einzelfallprüfung

Die folgenden empirischen Untersuchungen dieser Annahmen gehen methodisch einen anderen Weg als übliche Fahrversuche. Die aufgestellten Hypothesen sind funktionaler Natur, unterstellen also immer „je desto“-Zusammenhänge (Übertragungsfunktionen) zwischen fahrerischen Tätigkeiten und resultierenden Beanspruchungen. Die Parameter dieser Funktionen können nur bestimmt werden, wenn mehrere Stützstellen vorhanden sind. Daher werden in allen folgenden Fahrversuchen die Bedingungen im Sinne einer Steigerungsreihe variiert. Weiter will der Ansatz diese Übertragungsfunktionen für jeden individuellen Fahrer bestimmen. Daraus resultiert, dass die Gültigkeit der Annahmen auf Individualebene überprüft werden muss. Die folgende Darstellung offeriert deshalb keine Gruppenstatistiken, sondern für jede Fragestellung Einzelergebnisse jeweils mehrerer Fahrer. Um weiter zu belegen, dass der gewählte Ansatz sich in unterschiedlichen Fahraufgaben bewährt, beziehen sich die aufgeführten Beispiele auf insgesamt vier unterschiedliche Fahrmanöver. Verzichtet wird dafür allerdings auf eine vollständige Darstellung aller Ergebnisse aus den einzelnen Studien.

3.2 Herstellbarkeit und Stabilität

Die Annahme, dass subjektive Beanspruchung eine eigene Führungsgröße im Fahren darstellt, verlangt als erstes den Nachweis, dass diese Größe vom Fahrer erlebbar und berichtbar ist. Noch viel strenger ist der Nachweis der Gültigkeit dieser Annahme, wenn aufgezeigt werden kann, dass die Fahrer vorgegebene Grade der Beanspruchung allein auf der Basis des eigenen Erlebens ohne äußere Hilfsmittel (z.B. Geschwindigkeitsinformationen per Tachometer) sensitiv und in der Wiederholung stabil herstellen können. Dies wurde in einer ersten

Untersuchung im Rahmen einer quasistationären Kreisfahrt (Durchmesser 50 Meter, Gassenbreite fünf Meter) untersucht. Die Fahrer erhielten die Instruktion, das Manöver so zu fahren, dass fünf Grade der Beanspruchung (sehr wenig, wenig, mittel, stark, sehr stark) resultieren. Die Fahrten wurden in zwei instrumentierten Meßfahrzeugen durchgeführt.

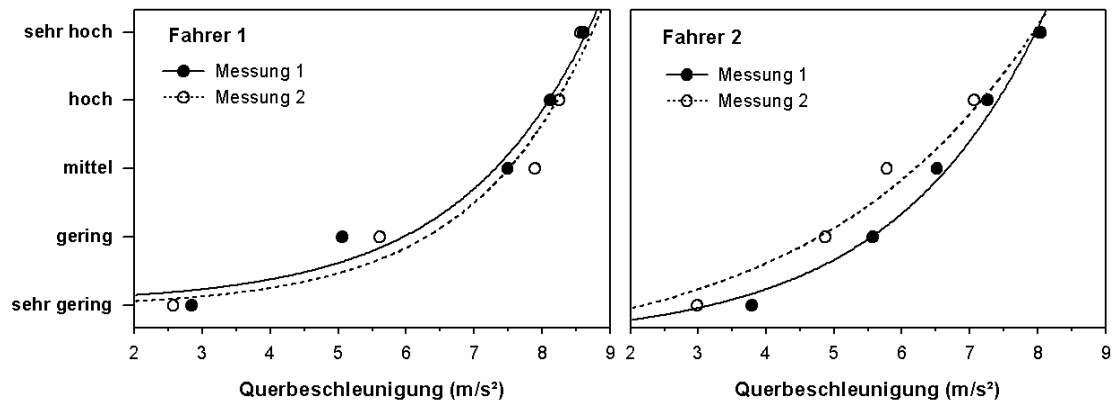


Abbildung 3: Individuelle Beanspruchungsfunktionen zweier Fahrer, aufgetragen über der Querbeschleunigung.

Abbildung 3 zeigt für zwei Fahrer die Ergebnisse einer Wiederholungsmessung. Offensichtlich können Fahrer auf der Basis unterschiedlich erlebter Beanspruchung sehr stabil fahrdynamische Parameter replizieren. Untersuchungen an weiteren Fahrern ergaben, dass die Reproduktionsgenauigkeit für einzelne Ausprägungen im Mittel bei 7% liegt. Dabei umfasst das Intervall von „wenig“ zu „stark beansprucht“ bei Normalfahrern etwa den Bereich von 2 bis 8 m/s^2 .

Eine vergleichbare Reproduktionsgüte kann auch bei nicht-stationären Manövern gefunden werden. In Abbildung 4 sind die Ergebnisse der Wiederholungsmessung für „geringe“ und „hohe“ Beanspruchung in einem 500 Meter langen Fahrparcours zu finden, der, wie der Geschwindigkeitsverlauf zeigt, unterschiedliche Fahraufgaben (z.B. Slalom, Kurven verschiedener Radien) aneinanderreichte. Offensichtlich ist das Beanspruchungs-Erleben für die Fahrer nutzbar als „subjektiver Tempomat“. Weiter zeigt Abbildung 4 in ihrem unteren Teil, dass sich das subjektiv eingestellte Beanspruchungsniveau auch im Pulsverlauf des Fahrers niederschlägt: zwischen niedriger und hoher Beanspruchung bestehen stabile Pulsdifferenzen, wobei die Abhängigkeit des Pulsverlaufs von Merkmalen der Strecke bzw. der Fahraufgabe eindrucksvoll ist.

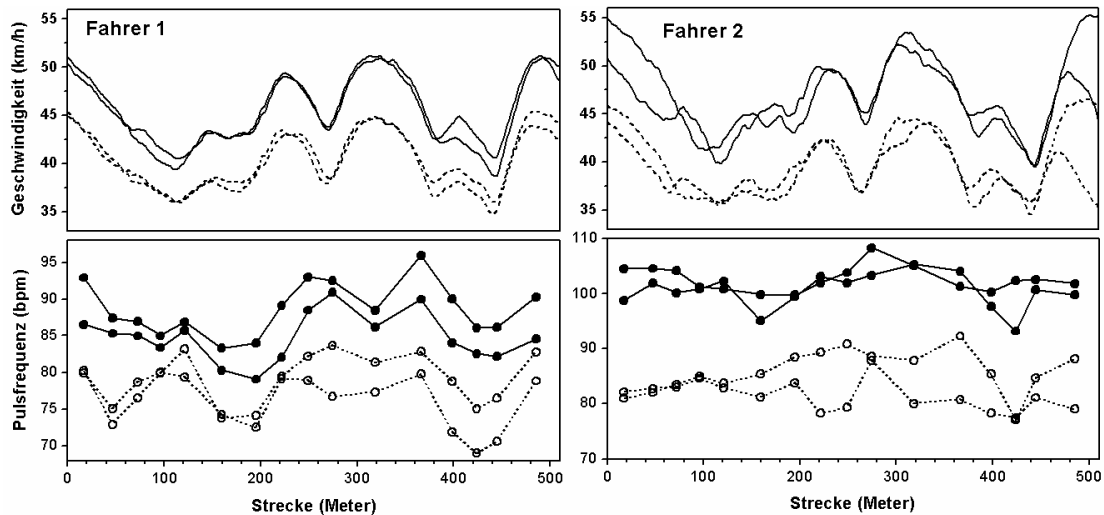


Abbildung 4: Fahrgeschwindigkeiten und Pulsverläufe (Mittel über Streckenabschnitte) zweier Probanden. Gefahren wurde die Strecke jeweils bei geringer (gestrichelt) und hoher Beanspruchung (durchgezogen).

3.3 Komponenten der Beanspruchung

Beanspruchung setzt sich nach der obigen Darstellung aus verschiedenen Komponenten zusammen, die abhängig von der Fahraufgabe mehr oder weniger stark ausgeprägt sind. Im folgenden werden Ansätze gezeigt, wie diese Komponenten experimentell getrennt werden können.

3.3.1 Beanspruchung im interozeptiven Loop

Der interozeptive Loop thematisiert den Bedienaufwand und die Gegenregulation der Einwirkungen des Fahrzeugs auf den Fahrer. Zur Abbildung dieser Gegenregulation im subjektiven Erleben wurde wiederum die Kreisfahrt durchgeführt, neben der globalen Beanspruchung aber direkt das „Zur-Seite-Gedrückt-Werden“ als Operationalisierung des Aufwands für den Ausgleich von Fahrzeugbewegungen erhoben. Die Fahrer hatten Querbeschleunigungen herzustellen, die vorgegebenen Stärken dieses „Gedrückt-Werdens“ entsprachen. Dies gelang mit gleicher Präzision wie die Herstellung der Beanspruchung. Allerdings zeigte sich eine Änderung des funktionalen Verlaufs. Während die Gesamtbeanspruchung exponentiell mit der Querbeschleunigung steigt, zeigt sich ein linearer Anstieg des Gedrückt-Werdens.

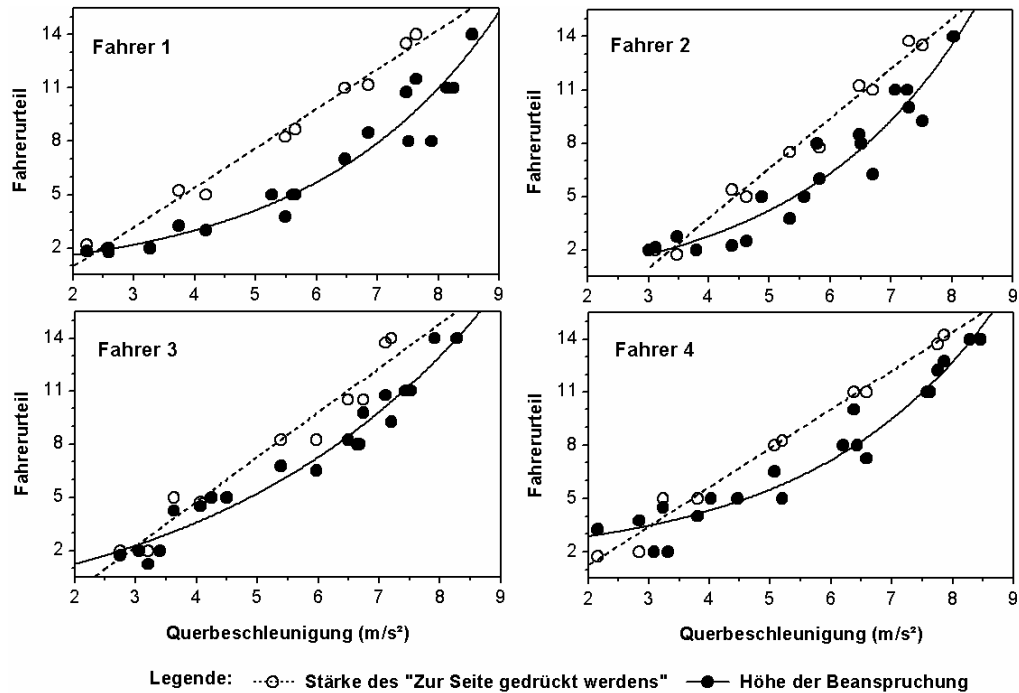


Abbildung 5: Hergestellte Beanspruchung und hergestelltes „Zur-Seite-Gedrückt-Werden“, jeweils in fünf Stufen, mit Wiederholung für vier Fahrer.

Die Unterschiedlichkeit beider funktionaler Verläufe lässt sich auch auf der physiologischen Ebene der Beanspruchung nachweisen. Als Maß wurde aus dem EKG die Dauer der Interbeatintervalle bestimmt und als Pulsfrequenz ausgedrückt. Da der Aufwand, der aus dem Ausgleich der Fahrzeugbewegungen resultiert, über den Fahrerpuls allein nicht vom Aufwand für die Bedienung zu trennen ist, wurden Beifahrer in den Versuch eingeführt, deren Pulsfrequenz ebenfalls gemessen wurde.

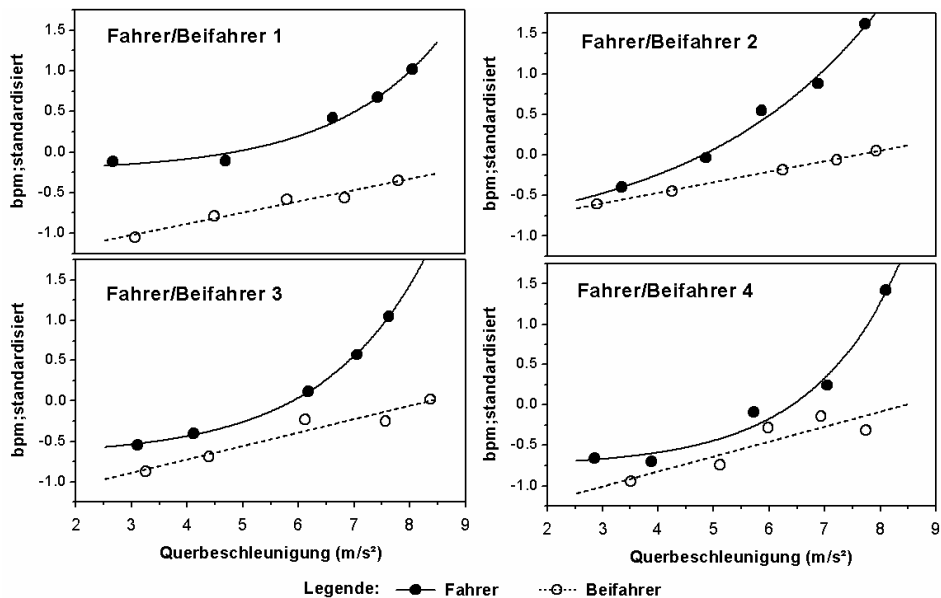


Abbildung 6: Standardisierte Pulswerte für Fahrer und Beifahrer bei der Herstellung von fünf Stufen unterschiedlicher Beanspruchung in der „quasistationären Kreisfahrt“.

Jede Versuchsperson nahm mehrfach als Fahrer wie auch als Beifahrer an dem Versuch teil. Die individuellen Pulsverläufe wurden über Fahrer- und Beifahrer-Bedingung z-standardisiert und sind in Abbildung 6 aufgetragen. Der Fahrerpuls zeigt den Verlauf wie die subjektive Beanspruchung, der Beifahrerpuls folgt dem Verlauf des „Zur-Seite-Gedrückt-Werdens“. Offensichtlich steigt sowohl subjektiv wie physiologisch die Beanspruchung durch das reaktive Ausgleichen von Fahrzeugbewegungen (passives Gefahren-Werden) linear an, während das aktive Fahren einen exponentiellen Verlauf nimmt. Woran dies liegt, ergibt sich aus der Betrachtung der Bedientätigkeiten, hier operationalisiert als Häufigkeit der Richtungsänderungen in den Lenkbewegungen und in der Betätigung des Fahrpedals im gleichen fahrdynamischen Manöver.

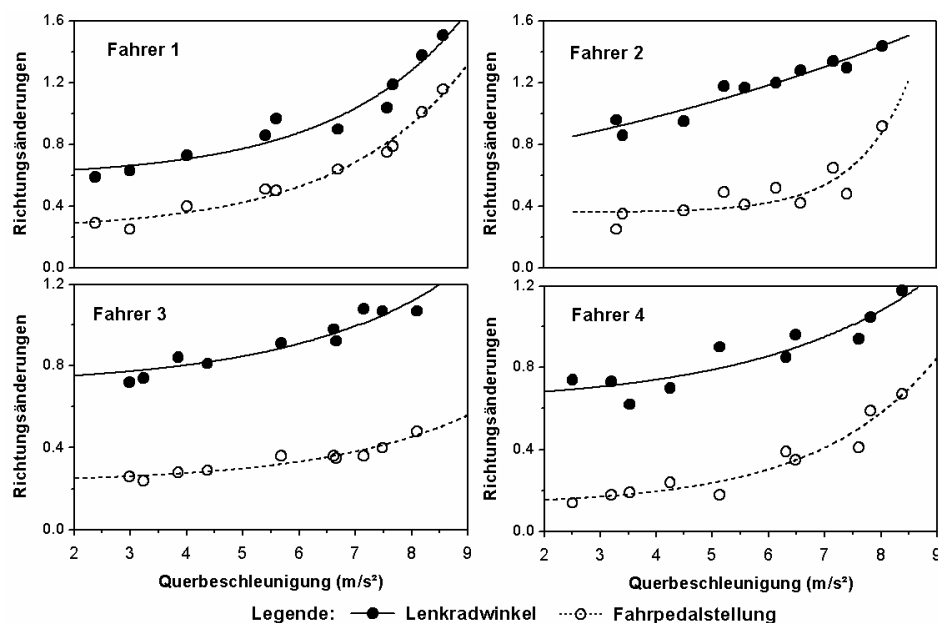


Abbildung 7: Individuelle Bedientätigkeitsfunktionen (Änderungen des Lenkradwinkels bzw. der Fahrpedalstellung pro Sekunde) in Abhängigkeit von der Querbeschleunigung.

Das Ergebnis dieser Untersuchungen: im interozeptiven Loop treten zwei Quellen der Beanspruchung auf: eine durch die Bedienung des Fahrzeugs mit exponentiellem Verlauf zur Geschwindigkeit und eine durch den Ausgleich der Fahrzeugeinwirkungen auf den Fahrer mit linearem Verlauf. Beide Beanspruchungsquellen sind im subjektiven Erleben, in physiologischen Reaktionen, wie auch im Bedienverhalten konsistent und konkordant nachweisbar.

3.3.2 Beanspruchungen im exterozeptiven Loop

Die Hauptbeanspruchung im exterozeptiven Loop liegt in der richtigen Positionierung des Fahrzeugs im gegebenen Fahrraum. Beim Fahrmanöver „Sinuslenken“ ist diese Anforderung

in besonderer Weise thematisiert. Bei entsprechend hoher Frequenz liegt die fahrerische Leistung sehr stark im Bereich der Antizipation (Anvisieren des nächsten Zielpunkts), wobei nur sehr geringe Möglichkeiten zur kompensatorischen Regelung gegeben sind. Dieses Manöver sollte in drei Stufen der Beanspruchung gefahren werden, wobei die unterschiedlichen Niveaus durch Variationen der Lenkgeschwindigkeit hergestellt wurden. Als Testfahrzeug diente ein BMW 840 CI, der Modifikationen der Fahrwerksauslegung erlaubt: verglichen wurden Fahrten bei zugeschalteter Aktiver Hinterachs-Kinematik (DONGES et al. 1990) mit solchen bei konventioneller Auslegung der Hinterachse.

Die Ergebnisse eines Testfahrers sind aus Abbildung 8 zu entnehmen. Unter beiden Bedingungen wird die Lenkgeschwindigkeit vergleichbar gesteigert, wobei bei gleicher Beanspruchung mit Aktiver Hinterachs-Kinematik (AHK) höhere Geschwindigkeiten realisiert werden. Offensichtlich kann die höhere Präzision des Lenkens mit AHK vom Fahrer in eine Lenkgeschwindigkeitssteigerung umgesetzt werden.

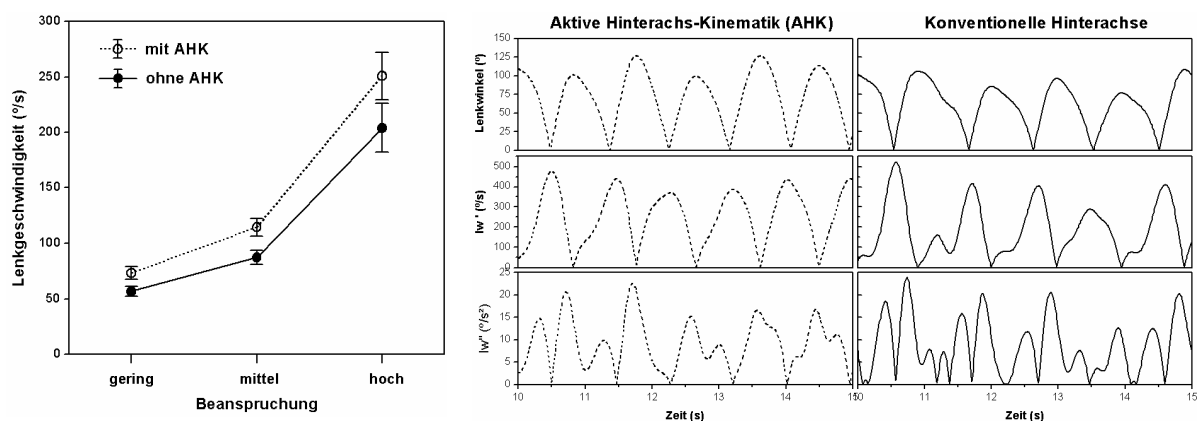


Abbildung 8: Mittlere Lenkgeschwindigkeiten bei Fahrten zu drei unterschiedlichen Beanspruchungsstufen im Fahrzeug mit und ohne Aktive Hinterachs-Kinematik (links). Fünf-Sekunden-Ausschnitte der Lenkradwinkelverläufe sowie der ersten beiden Ableitungen (Absolutwerte) für beide Fahrwerkeinstellungen.

Woran dies liegen kann, zeigt die rechte Seite der Abbildung, in der für beide Bedingungen jeweils als Absolutwerte der Lenkwinkelverlauf, die Lenkgeschwindigkeit und die Lenkbeschleunigung beim Sinuslenken aufgezeichnet sind. Die Beschleunigungsdaten zeigen, dass jeweils am Ende einer Sinusphase ohne AHK mehrere sehr kurze Beschleunigungsänderungen zu beobachten sind, die aus Korrekturbewegungen resultieren. Bei eingeschalteter AHK zeigt sich ein wesentlich glatterer Verlauf der Beschleunigungen, was als eine Verminderung von Korrekturen zu interpretieren ist. Diese Entlastung im exterozeptiven Loop kann der Fahrer offensichtlich in eine Steigerung der Lenkgeschwindigkeit umsetzen.

3.4 Beanspruchung und Beurteilung

Verlangt man vom Fahrer, ein Fahrzeug zu beurteilen, ist man darauf angewiesen, dass der Fahrer unterscheiden kann, ob er oder das Fahrzeug Auslöser der Beanspruchung ist. Dies ist eine Leistung, die sicherlich von Testfahrern, nicht aber von Normalfahrern erwartet werden kann. Es hat sich deshalb als sehr viel sachangemessener gezeigt, nicht nach dem Fahrzeug, sondern nach der Fahrt zu fragen. Das Handlungsergebnis „Fahrt“ ist für den Normalfahrer viel direkter und eindeutiger verfügbar als die nur analytisch zu erschließenden Dimensionen „Fahrzeug“ oder „Situation“.

In vielen Untersuchungen zu den zentralen Dimensionen subjektiver Bewertungen hat sich sowohl über die Technik des Semantischen Differentials (Osgood, Hofstätter) wie in Modellen der Klassifikation von Gefühlen (etwa bei Wundt) gezeigt, dass dieser Bereich durch eine dreidimensionale Struktur darstellbar ist. Danach sind „Grundwertungen“ die Dimensionen

- der Bewertung (evaluation, etwa gut/schlecht),
- der Erregung (activity, etwa ruhig – erregt) und
- der Dominanz (potency, etwa submissiv – dominant).

Diese Dimensionen lassen sich direkt in die Beurteilung des Fahrens umsetzen, woraus sich auch der Aufbau unseres Befragungsinstruments zur Qualität der Fahrt ergibt:

- Activity wird beim Fahren zur erlebten Beanspruchung
- Evaluation zur Güte der Fahrt und
- Potency zur erlebten Sicherheit.

Zur Überprüfung des Zusammenhangs zwischen Beanspruchung und Bewertung wurde der doppelte Fahrspurwechsel nach ISO/TR 3888 ebenfalls im BMW 840 CI jeweils mit und ohne eingeschalteter AHK gefahren. Die Durchführung erfolgte dabei im Blindversuch. Um das Lenkverhalten zu isolieren, wurde das Manöver mit Tempomat bei Geschwindigkeiten zwischen 70 und 95 km/h jeweils mehrfach absolviert. Die Fahrer hatten dabei auf Skalen mit fünf Kategorien und jeweils zehn Feinabstufungen die erlebte Beanspruchung, die Sicherheit und die Güte des Fahrens anzugeben. Das Ergebnis für einen Normalfahrer geht aus der Abbildung 9 hervor. Bis 80 km/h unterscheidet sich die Beanspruchung bei Fahrten mit und ohne AHK nicht, in höheren Geschwindigkeitsbereichen wird der Unterschied immer deutlicher. Wie der mittlere Teil der Abbildung zeigt, werden höher beanspruchende Fahrten als weniger gut bewertet.

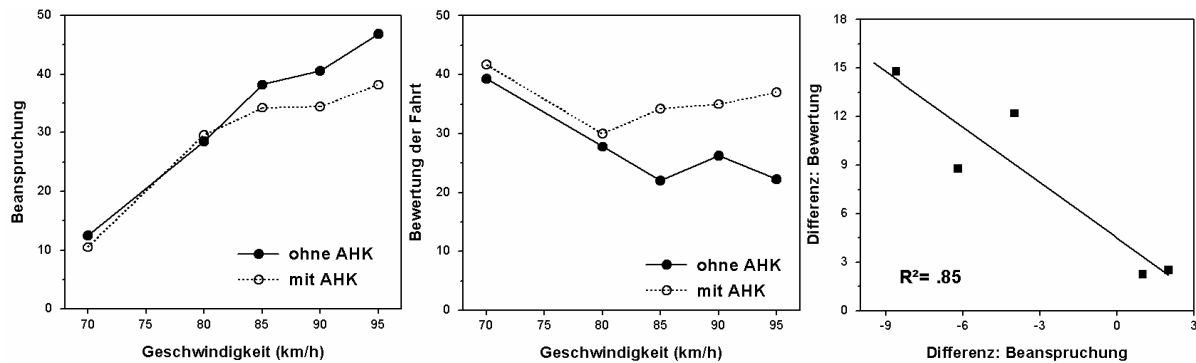


Abbildung 9: Beanspruchungsfunktionen (50 = sehr hoch) und Fahrtbewertungen (50 = sehr gut) bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten für beide Fahrwerkseinstellungen. Rechts: Zusammenhang der Urteilsdifferenzen pro Geschwindigkeitsstufe zwischen Fahrten mit und ohne AHK.

Um den Einfluss der Geschwindigkeit zu eliminieren, wurde pro Geschwindigkeitsstufe die Differenz zwischen den beiden AHK-Einstellungen sowohl für die Beanspruchung wie für die Bewertung der Fahrt berechnet. Der hohe Zusammenhang zwischen den beiden Differenzen ist im rechten Teil der Abbildung dargestellt. In das Bewertungsurteil gehen damit zwei Größen ein: die generelle Beanspruchung durch die Fahrt bei einer bestimmten Geschwindigkeit und die Beanspruchung, die aus einer unterschiedlichen fahrdynamischen Auslegung resultiert. Für beide Komponenten gilt, dass höhere Beanspruchungen zu schlechteren Bewertungen führen.

4 Diskussion und Ausblick

Die Ergebnisse zur Herstellbarkeit und Wiederholbarkeit zeigen, dass Beanspruchung eine außerordentlich stabile und sensible Führungsgröße im Fahren darstellt. An unterschiedlichen Fahrmanövern kann aufgezeigt werden, dass Beanspruchung mit allen Komponenten der Fahrhandlung verknüpft ist. Die erlebte Beanspruchung beschreibt den Gesamtaufwand, den ein Fahrer aufbringen muss, um einen bestimmten fahrdynamischen Zustand herzustellen. Dabei ist dieser sowohl durch die Fahrsituation wie durch das Fahrzeug bestimmt. Unterschiedliche Fahrmanöver akzentuieren einzelne Aspekte der Beanspruchung, wegen der Ganzheitlichkeit des Fahrens ist aber eine vollständige Isolierung der Komponenten nicht möglich. Ebenso zeigt sich, dass die Beanspruchung sowohl auf der Ebene des Erlebens, wie der der Physiologie und des Fahrverhaltens parametrisierbar ist. Besonders eindrucksvoll ist der lineare Zusammenhang zwischen erlebter Beanspruchung und Pulsfrequenz, ein Ergebnis, das Fahren als eine Psyche und Soma gleichermaßen intensiv ansprechende Tätigkeit erschei-

nen lässt. Weiter hat sich der funktionale Ansatz bewährt, der auf der Individualebene über Steigerungsreihen versucht, Übertragungsfunktionen zu bestimmen. Gegenüber der Versuchstechnik, nur eine oder wenige Schwierigkeitsgrade im Fahrmanöver zu realisieren, erbringt die Steigerungsreihe mit ihrem Bereich von „sehr wenig“ bis „sehr viel“ wesentlich aussagekräftigere Ergebnisse. Insbesondere kann sie aufzeigen, ab wann ein Unterschied eintritt und ob dieser sich bei weiterer Steigerung ebenfalls vergrößert, was einen Hinweis auf die Stetigkeit von Erlebnisgrößen gibt.

Für die zentrale Frage nach der Bewertung von Fahrzeugeigenschaften bietet der energetische Ansatz einen neuen vielversprechenden Zugang. Mit Sicherheit ist der Normalfahrer kein Spezialist für Fahrzeuge, wohl aber ein Experte für den eigenen Zustand. Bewirken fahrdynamische Auslegungen Zustandsänderungen beim Fahrer (Voraussetzung ist eine entsprechende Auswahl und Durchführung geeigneter Fahrmanöver), sind Fahrerberichte über Zustandsänderungen auch valide Abbildungen der Fahrdynamik. Offensichtlich besteht ein negativer Zusammenhang zwischen Beanspruchung und Bewertung. Von daher steht zu erwarten, dass fahrdynamische Änderungen, die eine Entlastung des Fahrers in einem Fahrmanöver erbringen, von diesem auch positiv bewertet werden.

5 Literatur

DONGES, E. (1978). A two level-model of driver steering behavior. *Human Factors*, 20 (6), 691-707.

DONGES, E., AUFFHAMMER, R., FEHRER, P. & SEIDENFUSS, T. (1990). Funktion und Sicherheitskonzept der Aktiven Hinterachskinematik von BMW. *Automobiltechnische Zeitschrift*, 92, 580-587.

DONGES, E. (1993). Das Prinzip Vorhersehbarkeit als Auslegungskonzept für Maßnahmen zur Aktiven Sicherheit im Straßenverkehrssystem (Teil 1 und 2). *Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik*, 9, 241-246 und 10, 277-280.

HACKER, W. (1998). *Allgemeine Arbeitspsychologie. Psychische Regulation von Arbeitstätigkeiten*. Bern: Huber.

SANDERS, A.F. (1983). Towards a model of stress and human performance. *Acta psychologica*, 61-97.