

Forum

**Was ist ein «schwerer»,
was ein «leichter» Verkehrsunfall?**

Der Artikel von Niederer, Walz und Kollegen in der Schweizerischen Ärztezeitung [1] bringt in vielen Punkten endlich lang ersehnte Klarstellungen aus biomechanischer Sicht, an welchen sich nun behandelnde Ärzte, Gutachter und nötigenfalls auch Richter von Patienten orientieren können, welche ein Beschleunigungstrauma der Halswirbelsäule erlitten haben oder zu haben glauben. Die Grundausbildung der Autoren, ihre auf soliden wissenschaftlichen Grundlagen basierenden Argumentationen, ihr faires Aufzeigen auch der Schwächen und Grenzen der von ihnen verwendeten Methoden spricht für Seriosität und Kompetenz, weckt Vertrauen.

Der Artikel zeigt klar, dass es für bestimmte Unfallsituationen solide Wissensgrundlagen gibt, aber auch, dass ohne sorgfältige Abklärung eines individuellen Unfallereignisses durch kompetente Fachspezialisten keine verbindlichen Schlüsse gezogen werden können, und somit oft gehörte pauschale Behauptungen, wie «Es ist heute wissenschaftlich klar erwiesen, dass ...» nicht zutreffen und höchstens von sehr oberflächlichem Denken zeugen.

Leider missbrauchen immer wieder Ärzte in der Öffentlichkeit das – trotz unentwegter Versuche gewisser Kreise, dieses zu zerstören – immer noch vorhandene Ansehen des Berufs oder Titels, um medizinische Laien (Patienten, Journalisten, Anwälte usw.) mit unzutreffenden und wissenschaftlich nicht fundierten Behauptungen zu oft bloss marginal medizinischen Problemen zu beeindrucken, zu deren adäquater Beurteilung ihnen die fachliche Kompetenz fehlt. Der Artikel von Niederer, Walz und Kollegen kann helfen, falschen globalen Behauptungen zu biomechanischen Unfallproblemen in Einzelfällen mit sachlichen Argumenten entgegenzutreten.

Im Zeitalter des Internets hat jeder medizinische Laie die Möglichkeit, unter einem Stichwort irgendeine Publikation zu finden, welche seine eventuell bereits vorgefasste Meinung «bestätigt». Die Überprüfung der Quelle auf Seriosität und fachliche Kompetenz wird dabei oft allzu gerne vernachlässigt! Hier ist es besonders wichtig, Autoren zu kennen, welche kompetent sind, und deren Aussagen man vertrauen kann.

Ein Anwalt des Schleudertraumaverbandes, welcher einem Artikel von mir zu diesem Thema [2] kritisch gegenüberstand, wollte mich mit der Feststellung beeindrucken, dass sein Büro über 5000 Arbeiten zum Thema «milde traumatische Hirnschädigung/Schleudertrauma» gesammelt habe.

Ich schlug ihm daraufhin eine sachliche und fachliche Kritik in Form eines Leserbriefes an die Zeitschrift, in welcher mein Artikel publiziert worden war, vor, mit anschließender Diskussion zu Händen aller Leser. Bedauerlicherweise hat er sich dann elegant darum herumgedrückt, allerdings nicht, ohne noch zu erwähnen: «Was Herr Walz macht ist und bleibt unseriös.»

Irgendwie kam mir dieser Anwalt vor wie einer, welcher behauptet, er könne nach 5000 Stunden Üben mit dem «Flugsimulatorspiel» an seinem PC den nächsten Überseepassagierflug problemlos alleine als Flugkapitän pilotieren. Bei einem solchen «Piloten» fehlt mir schlichtweg das Vertrauen in seine fachliche Kompetenz, und ich wäre zugegebenermassen zu feige, um in sein Flugzeug einzusteigen. Ich bitte um Verständnis!

Prof. Dr. med. O. Meienberg, Binningen

- 1 Niederer P, Walz F, Muser M, Zollinger U. Was ist ein «schwerer», was ein «leichter» Verkehrsunfall? Schweiz Ärztezeitung 2001;82(28):1535-9.
- 2 Meienberg O. Schleudertrauma der Halswirbelsäule. Wissenschaftliche und pseudowissenschaftliche Aspekte. Schweiz Med Forum 2001;1(8):195-9.

**Was ist ein «schwerer»,
was ist ein «leichter» Verkehrsunfall?**

Zu oben erwähntem Artikel [1] erlaube ich mir als regelmässiger Begutachter einige Anmerkungen, da mir doch manches als in der Physik nicht ganz unbewandelter Mediziner unverständlich vorkommt. Natürlich werde ich mich hüten, die von den Autoren unter der Überschrift «Physikalische Zusammenhänge» aufgeführte und am Ende nochmals zitierte Literatur in irgendeiner Form in Frage zu stellen. Andererseits ist es mir nicht klar, warum aus meiner Sicht immer von doch sehr einfachen physikalischen Vorstellungen ausgegangen wird, obwohl die Physik uns längst viel komplexere koordinatenfreie Erklärungsmodelle anbietet [2, 3]. Auch wenn beschrieben wird, dass Δv ein Vektor ist, so ist es doch nichts anderes als eine bestimmte Geschwindigkeitsänderung, sprich Beschleunigung, die eine vektorielle Grösse darstellt und nicht allein durch ihren Betrag ausgedrückt werden kann. Es kann sich sowohl um eine lineare, um eine Winkelbeschleunigung als auch um eine kombinierte Beschleunigung handeln. Dieses kann nur durch eine entsprechende exakte mathematische Darstellung der Beschleunigungscharakteristika beschrieben werden.

Natürlich bin ich davon überzeugt, dass die Polizei ihre Spurensicherungen und Messungen so sorgfältig wie möglich vornimmt, da sie sich über die juristischen Folgen, die sich daraus ergeben, natürlich völlig im klaren ist. Dennoch muss man sich fragen, ob es

hier nicht um approximative Werte handelt, die nachher die Ausgangswerte biomechanischer Untersuchungen darstellen, die dann vorgeben, exakt wissenschaftlich einen Vorgang aus technischer Warte darzustellen. Mich erstaunt es daher, dass bisher offenbar nie auf den Lagrange-Formalismus der Physik zurückgegriffen worden ist. Damit können Zwangskräfte dargestellt und berechnet werden sowie auch Invarianzeigenschaften und Erhaltungsgrössen, Mehrteilchensysteme, rotierende Bezugssysteme, Trägheitskräfte, Wirkungsquerschnitte und das 2-Körper-Problem. Es handelt sich um Methoden, die etabliert sind und über die ausreichende Literatur zur Verfügung steht. Dahinein greift auch der Hamilton Formalismus, bei dem ebenfalls wie beim Lagrange Formalismus die Koordination beliebig wählbar sind und der daher eine einheitliche Form der Bewegungsgleichungen bei leichter Erkennbarkeit der Erhaltungsgrössen gestattet. Statt dessen geht man von unterschiedlichen Definitionen juristischer, medizinischer und technischer Art aus, die von jedem Fachgebiet als Formulierung den kleinsten gemeinsamen Nenner enthalten und vom menschlichen Vorstellungsvermögen in abstrakter Art und Weise und nicht von natürlichen Gegebenheiten bzw. Beobachtungen ausgehen. Ich frage mich, ob man damit den individuellen Gegebenheiten der einzelnen Sachlage gerecht werden kann, die oft doch ein schweres Schicksal für alle oder einige Beteiligten nach sich ziehen und finanzielle Konsequenzen bedeuten.

Selbstverständlich muss man es als einen gewaltigen Fortschritt begrüssen, wenn bereits zwischen der «mechanischen Schwere eine Kollision, bezogen auf das Fahrzeug (Fahrzeugtechnik), 2. Schwere der Verletzung (Medizin) und 3. Körperbelastung in einem spezifischen Fall (Biomechanik)» deutlich unterschieden wird. Damit werden wenigstens Fahrzeug und «Inhalt» nicht mehr wie ein monolithischer Block behandelt, sondern getrennt in die Überlegungen miteinbezogen. Dennoch müssten bei der Präzisierung der Biomechanik sicherlich auch die Körperstellung/-haltung und der muskuläre Tonus im Zeitpunkt des Aufpralls bei den Verletzten, und auf solche bezogen handelt es sich ja nur, in die Überlegungen miteinbezogen werden.

Ich frage mich daher, ob die Ausrüstung eines Biomechanikers, sei er nun ein ausgebildeter Mediziner oder ein Biomechaniker mit «einschlägigem Fachwissen, gepaart mit langjähriger Erfahrung», ausreichend ist, um als «Bindeglied zwischen technischer Unfallrekonstruktion und ärztlicher Diagnose und Behandlung» fungieren zu können. Ich verweise in diesem Zusammenhang auch auf den Artikel von Senn [4], der die Nützlichkeit biomechanischer Untersuchungen als Entscheidungshilfe in versicherungsrechtlichen Belangen überhaupt anzweifelt.

Sicher ist hier nicht der Raum, um auf Einzelheiten einzugehen. Dennoch frage ich mich, ob mein Kommentar, den ich als Anregung verstanden wissen will, nicht dazu beitragen könnte, die biomechanische Begutachtung durch Anwendung physikalisch genauer definierter Erkenntnisse bei der Lösung des Einzelfalls zu bereichern.

Dr. med. H. Matthis, Gossau

- 1 Niederer P, Walz F, Muser M, Zollinger U. Was ist ein «schwerer», was ist ein «leichter» Verkehrsunfall? Schweiz Ärztezeitung 2001;82(28):1535-9.
- 2 Landau LD, Lifschitz EM. Lehrbuch der Theoretischen Physik. Band 1, Mechanik. 12. berichtigte Auflage. Berlin: Akademie Verlag; 1987.
- 3 Rennert P, Schmiedel H, Weissmantel C. Physik. Kleine Enzyklopädie. Thun, Frankfurt/M: Harri Deutsch; 1987. S. 38ff.
- 4 Senn J. HWS / Hirnverletzungen und Biomechanik, Know-how. AJP/PJA 1999; 5:625-34.
- Ebert H (Hrsg.). Physikalisches Taschenbuch. 5. Auflage. Braunschweig: Vieweg; 1978. S. 240ff.
- Courant R, Hilbert D. Methoden der Mathematischen Physik I. 3. Auflage. Berlin, Heidelberg, New York: Springer; 1968. S. 199ff.

Replik

Wir beziehen uns auf den Leserbrief von Herrn Dr. med. H. Matthis vom 31. Juli 2001, in welchem er sich zu unserem Artikel *Was ist ein «schwerer», was ist ein «leichter» Verkehrsunfall* äussert. Die Unterzeichnenden verstehen die Ausführungen so, dass die Meinung besteht, wir würden bei unseren Untersuchungen (zu) stark vereinfachte, unpräzise definierte Grössen und Begriffe verwenden, sodann die einschlägigen Methoden der Physik ungenügend kennen und schliesslich den fallspezifischen biomechanischen Umständen zuwenig Rechnung tragen. Wir gehen im folgenden im einzelnen auf die zweifellos gut gemeinten, zum Teil offene Türen einrennenden, zum Teil unklaren Argumente und Anregungen ein. Da physikalische Überlegungen angestellt wurden, müssen wir in den Punkten 1 bis 3 auch detailliert auf der physikalischen Ebene entgegenen, was wohl nicht für alle Leser interessant ist. Punkt 4 bis 6 hingegen gehen auf die medizinisch-biomechanischen Fragen ein.

a) Physikalische Zusammenhänge

1. Mit Absicht haben wir physikalische Zusammenhänge in unseren Ausführungen nur sehr rudimentär dargelegt. Um etwas derart Komplexes, wie es ein Kollisions- und ein damit zusammenhängender, eventueller Verletzungsvorgang darstellt, auf physikalischer Grundlage nachvollziehen zu können, ist eine Reihe von bedeutenden Approximationen vorzuneh-

men, deren ausführliche Begründung und Darstellung den Rahmen unseres Artikels bei weitem gesprengt hätte (dazu gibt es umfangreiche Literatur). Daraus konnte offenbar der Eindruck entstehen, wir seien uns weder der Komplexität des Problems noch der physikalischen Grundlagen bewusst.

Da Herr Dr. med. Matthis in seinem Brief verschiedene Verfahren (Lagrange, Hamilton) erwähnt und auf Invarianzeigenschaften hinweist, welche in der Physik allgemein von zentraler Bedeutung sind, ist es unerlässlich, einige physikalisch-technische Zusammenhänge kurz zu erläutern, um seine Hinweise in den richtigen Zusammenhang zu stellen.

Bei der theoretischen Analyse von Fahrzeugkollisionen, Körperbewegungen und Verletzungsvorgängen sind zunächst zwei Gegebenheiten zu beachten, welche Voraussetzungen für das Nachfolgende bilden.

Wenn zwei oder mehrere Körper (Fahrzeuge, Fahrzeuginsassen, Gepäckstücke, etc.) kollidieren, deformieren sie sich zum Teil in irreversibler Weise, d.h. es wird kinetische Energie in Wärme umgewandelt. Jedes Fahrzeug stellt dabei mit Insassen, Inhalt des Benzintankes, Ladung, etc. je ein System von miteinander verbundenen deformierbaren, zum Teil sogar flüssigen Einzelkörpern dar. Auch Verletzungsvorgänge sind physikalisch als irreversible Deformationsprozesse zu verstehen.

Wegen der Reifenkräfte (Reifen-Strasse) oder anderer äusserer Einwirkungen (Baum, Mauer) ist das Gesamtsystem, gebildet aus den kollidierenden Fahrzeugen mit Insassen, etc. nicht abgeschlossen, was bei der Formulierung von Invarianzen zu berücksichtigen ist.

Die Frage erhebt sich, wie unter diesen Voraussetzungen Kollisionen analysiert, bzw. rekonstruiert werden, denn irreversible Vorgänge können, wie der Name sagt, nicht rückgängig gemacht und damit auch nicht aus einer bekannten Endkonfiguration «rückwärts» gerechnet werden. Bei der Unfallanalyse wird deshalb generell so vorgegangen, dass der mutmassliche Kollisionsablauf durch mathematische Simulation, oder anschaulicher ausgedrückt, durch virtuelles «Nachfahren» ermittelt wird. Dabei wird ein auf den physikalischen Gegebenheiten beruhendes Rechenmodell der kollidierenden Fahrzeuge erstellt, welches gestattet, umfangreiche Kollisionssimulationen durchzuführen. Alle Eingangsgrössen werden so lange variiert, bis der wahrscheinlichste Ablauf bekannt ist. Von besonderer Wichtigkeit dabei ist es, die Sensitivität der Resultate in bezug auf die Eingangsgrössen zu ermitteln, denn daraus ergeben sich Hinweise auf die Zuverlässigkeit der Rekonstruktion.

Bei der Formulierung von Kollisionsmodellen (Fahrzeug-Fahrzeug, Fahrzeug-menschlicher Körper etc.) wird das sog. Erstarrungsprinzip angewendet, gemäss welchem Impuls- und Drallsatz bezogen auf den Massenmittelpunkt eines zusammengesetzten, deformierbaren Körpersystems formuliert werden dürfen, d.h. die Bewegungen der Massenmittelpunkte können mit Hilfe der Starrkörperdynamik ermittelt werden (dies stellt keine Approximation dar, sondern ist physikalisch exakt, falls die Lage des Massenmittelpunktes bekannt ist). Aus praktischen rechentechnischen Gründen ist dabei die von Herrn Dr. med. Matthis erwähnte Lagrange'sche bzw. Hamilton'sche Darstellung der Bewegungsdifferentialgleichungen eher ungeeignet; es werden vielmehr Methoden eingesetzt, welche sich auch bei der numerischen Steuerung von Robotern oder bei der Simulation von Bewegungen im Weltraum bewährt haben (siehe z.B. J. Wittenburg, *Dynamics of Systems of Rigid Bodies*, Teubner 1977, oder T. R. Kane et al., *Spacecraft Dynamics*, McGraw-Hill 1983).

Die Bewegungsdifferentialgleichungen können integriert werden, falls bei jedem Integrationsschritt die einwirkenden Kräfte bekannt sind. Diese ergeben sich aus den Wechselwirkungen und Deformationseigenschaften der Fahrzeuge, Strukturen des Fahrzeuginnenraumes, Glieder der Insassen, Räder, Boden, etc. untereinander. Hier versagen Starrkörperapproximationen; es sind vielmehr kontinuumsmechanische Ansätze zu verwenden. Entsprechende Deformationsmodelle können beispielsweise mit Hilfe der Methode der Finiten Elemente (siehe z.B. K.-J. Bathe, *Finite-Elemente-Methoden*, Springer 1990) aufgestellt werden. Je nach Grad der Detaillierung sind derartige Modelle unter Umständen sehr rechenaufwendig.

Insgesamt kommen bei der technischen Unfallanalyse und -rekonstruktion sowie bei der biomechanischen Untersuchung also in umfangreicher Weise Computermodelle der Starrkörper- bzw. der Kontinuumsmechanik zum Einsatz, welche allen Aspekten der theoretischen Mechanik und der heutigen Rechentechnik und Computergraphik gerecht werden.

2. Bezüglich Invarianzen ist zu erwähnen, dass unter der Voraussetzung, dass ein Fahrzeugstoss kurzzeitig erfolgt, d.h. die Zeitdauer, während welcher erhebliche Kollisionskräfte zwischen den Fahrzeugen wirken, so kurz ist, dass die während dieser Zeit wirkenden dissipativen Vorgänge, welche aufgrund der äusseren Kräfte am System (Reifen-Strasse, etc.) erfolgen, vernachlässigbar sind, gilt wegen der Translations- und Rotationsinvarianz Impuls- und Drehimpulserhal-

- tung. Wegen der zeitlichen Irreversibilität sind bei der Energiebilanz sodann die dissipativen Prozesse, insbesondere die Fahrzeugdeformationen mit zu berücksichtigen. Dass sich daraus wichtige Hinweise auf die Rekonstruktion ergeben, ist für den Fachmann selbstverständlich. Bei gewissen Stosskonfigurationen oder bei Fehlen einer dokumentierten Kollisionskinematik sind dies sogar die einzigen Hilfsmittel für die Rekonstruktion. Letzteres ist bei leichten Kollisionen besonders häufig der Fall.
3. Der Parameter Δv («Geschwindigkeitsänderung») stellt eines der (vielen) Resultate einer Rekonstruktion dar. Der Wert ergibt sich als Integral der Translationsbeschleunigung des Massenmittelpunktes eines Fahrzeuges über die Stosszeit. Formal kann diese Rechnung immer ausgeführt werden, wir haben aber ausdrücklich die Einschränkung gemacht, dass Δv nur dann als approximativer Wert zur Charakterisierung der Kollisionsschwere einen Sinn hat, wenn im wesentlichen ein uniaxialer Stoss vorliegt und die Geschwindigkeitsänderung eine wohldefinierte Richtung aufweist, d.h. die Grösse als Vektor gegeben ist. Falls erhebliche Winkelbeschleunigungen oder nicht ebene Bewegungen vorliegen, kann der betragsmässige Wert von Δv , wenn überhaupt, höchstens Hinweischarakter haben.
- b) Medizinisch-biomechanische Fragen
4. Herr Dr. med. Matthis erwähnt, es müsse «bei der Präzisierung der Biomechanik sicherlich auch die Körperstellung/-haltung und der muskuläre Tonus ... miteinbezogen werden». Dies ist ein zentraler Punkt der Biomechanik, der einen wichtigen Unterschied zur technischen Unfallanalyse ausmacht. Offenbar wurde übersehen, dass wir diese Einflüsse in unserer Veröffentlichung im Detail dargelegt haben (Seite 1537, Punkt 2, zum Beispiel «Vorschädigung, Alter, Sitzposition, andere verletzungsfördernde Umstände» etc.). Ebenso haben wir darauf hingewiesen, dass aufgrund der vielen unbekannteten Unfalldeterminanten, nebst der Körperhaltung, Muskeltonus, etc., auch wegen der biologischen Variabilität im allgemeinen sowie der inhärenten Ungenauigkeiten jeder Rekonstruktion die Resultate von Modellrechnungen generell relativiert werden müssen. Aus denselben Gründen schrieben wir, dass in Gutachten Formulierungen wie «mit Sicherheit» nicht gerechtfertigt sind.
5. Herr Dr. med. Matthis verweist auf den Artikel J. Senn zum Thema Hirnverletzungen und Biomechanik (AJP/PJA 1999;5:625-634). Da Herr Senn die Interessen einer Partei als Jurist vertritt und seine Ausführungen die nötige physikalische, biomechanische und medizinische Kompetenz vermissen lassen, erübrigt sich ein Kommentar
6. Abschliessend sei erwähnt, dass in einem Entscheid des Eidgen. Versicherungsgerichtes vom 7. August 2001 die technische Unfallanalyse und die Biomechanik auch im Kontext des «Schleudertraumas» in die Rechtsprechung Eingang gefunden haben, wie dies zum Teil in anderen Ländern längst der Fall ist. Wörtlich heisst es in der Urteilsbegründung zum unfallanalytischen Gutachten «... in welchem die kollisionsbedingte Geschwindigkeitsänderung (Delta-v) von lediglich 5 bis 9 km/h angegeben wird, ist anzunehmen, dass es sich beim Ereignis vom ... um einen leichten Unfall gehandelt hat. Bei solchen Unfällen kann die Adäquanz des Kausalzusammenhanges in der Regel ohne weiteres verneint werden, weil ... davon ausgegangen werden darf, dass ein solcher Unfall nicht geeignet ist, einen erheblichen Gesundheitsschaden zu verursachen ...». Umgekehrt sind viele Entscheide bekannt, wo es die technische Unfallanalyse und die Biomechanik gestatteten, einen Streit über die «Schwere des Unfalles» rasch abzuschliessen, weil nachgewiesen wurde, dass auf einen Körper solche Kräfte gewirkt hatten, dass die Beschwerden ohne weiteres erklärbar waren.

Prof. Dr., dipl. Phys. Peter Niederer,
Prof. Dr. med. Felix Walz,
Zürich