

Hochgeschwindigkeits-Cinephotogrammetrie zur Vermessung simulierter Fahrzeug-Fußgänger-Kollisionen

Niederer, P. (Zürich), Schlumpf, M., Mesqui, F., Kaeser, F.

Institut für Biomedizinische Technik der Universität und ETH Zürich,
Moussonstr. 18, CH-8044 Zürich

Bei realen Fahrzeug-Fußgänger-Kollisionen entstehen im allgemeinen komplizierte räumliche Bewegungen des angefahrenen Fussgängers, deren Analyse und Klassierung ein wichtiges Problem der biomechanischen Traumaforschung darstellen. Häufig sind die Bewegungen zudem sensitiv in bezug auf die Anfangsbedingungen, indem bereits eine kleine Aenderung in den Anstossbedingungen eine wesentliche Aenderung der Bewegungsmuster bewirken kann. In diesen Fällen ist auch eine experimentelle oder theoretische Simulation der zu untersuchenden Kollisionstypen auf der Basis einer ebenen Approximation der Trajektorien nicht möglich; die Bewegungen müssen vielmehr in ihrem räumlichen Verlauf erfasst und klassiert werden.

Die Vermessung rascher räumlicher Bewegungen gelingt mit Hilfe der Hochgeschwindigkeits-Cinephotogrammetrie. Zu diesem Zweck wird der simulierte Anprall von vier 16 mm Filmkameras aus verschiedenen Richtungen mit 500 Bildern/sec. aufgenommen. Die hier angewandte photogrammetrische Methode beruht auf der "Direkten Linearen Transformation", wobei die zentralperspektivischen Abbildungseigenschaften der Kameras anhand eines vor dem Experiment aufgenommenen Präzisionsgitters bestimmt werden (sog. "on-the-job-calibration"). Die Rekonstruktion der räumlichen Position einer zu vermessenden Markierung auf dem angefahrenen Fussgängersurrogat erfordert dann, dass diese in jedem Zeitpunkt von mindestens zwei Kameras gleichzeitig sichtbar ist. Da sich das Surrogat bewegt, muss zusätzlich die Synchronität der Aufnahme sequenzen gewährleistet sein, da zur photogrammetrischen Auswertung nur gleichzeitig aufgenommene Bilder verwendet werden dürfen.

Bei einem typischen Test werden pro Film ca. 300 Bilder, welche je ca. 10 Marken enthalten, ausgewertet. Die dazu notwendigen Vermessungen, die Eichverfahren, sowie die photogrammetrischen Rechnungen sind derart zeitaufwendig, dass dazu ein automatisiertes System entwickelt wurde. Dieses besteht aus einem TI 990/4 Mikrocomputersystem, einem steuerbaren Einzelbildprojektor, einem Videodissektor mit einer Auflösung von

4096 x 4096 Punkten zur Bilddigitalisierung, und einem Bildspeicher mit Darstellungseinheit (Figur 1). Bei bekannten Trajektorien einer genügenden Anzahl von Marken auf der Oberfläche eines Körperteils, beispielsweise des Kopfes, kann die Trajektorie des zugehörigen Schwerpunktes, sowie die räumliche Orientierung des Teilkörpers berechnet werden (Figur 2).

Die gesuchten Trajektorien werden im allgemeinen mit einer Genauigkeit von 5 mm in jeder Raumkoordinate rekonstruiert, wobei die aufgenommene Szene einen Durchmesser von ca. 8 m hat. Durch Vergleich mit linearen Beschleunigungsmessungen kann die Genauigkeit der photogrammetrischen Methode zusätzlich nachgewiesen werden. Die Bewegung des Kopfes und insbesondere der Kopfanprall auf der Motorhaube können damit mit genügender Auflösung analysiert werden.

Als Ergänzung und zur Erweiterung der Kollisionsexperimente wird die mathematische Modellierung von Körperbewegungen eingesetzt. Diese beruht auf der Annahme, dass der menschliche Körper für die Bewegungsanalyse als System starrer, in viskoelastischen Gelenken miteinander verbundener Teilmglieder dargestellt werden kann. Die Bewegung folgt durch Integration von Impuls- und Drallsatz unter Berücksichtigung der Nebenbedingungen. Die Kollisionskräfte werden aufgrund relativ einfacher empirischer Kraft-Deformationsmodelle aus der gegenseitigen Durchdringung von Körper- und Fahrzeugteilen simuliert.

Die Bedingungen für eine vom Standpunkt der Traumabiomechanik optimalen Fahrzeugfront wurden aufgrund von etwa 100 experimentellen Kollisionsversuchen bis zu einer Anprallgeschwindigkeit von 40 km/h und umfangreichen theoretischen Simulationsstudien untersucht. Die Wirkungsweise einer experimentellen, nach den dabei gefundenen Kriterien entwickelten Front zeigte schliesslich die Gültigkeit der Resultate.

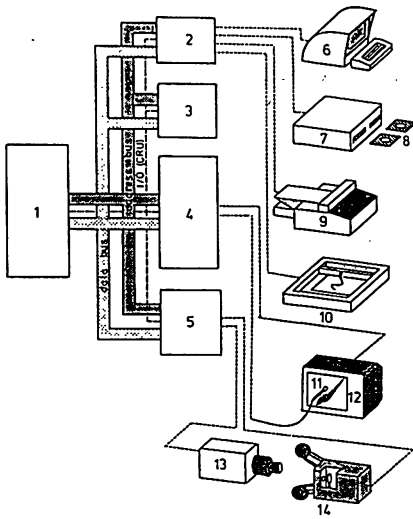


Fig. 1: Rechnerunterstütztes Filmauswertesystem:

- | | |
|----------------------|---------------|
| 1: TMS 990 / 4 | 8: Disketten |
| 2: I/O | 9: Drucker |
| 3: RAM | 10: Plotter |
| 4: Bildspeicher | 11: Lightpen |
| 5: Kamerasteuerung | 12: Monitor |
| 6: VDT | 13: Dissektor |
| 7: Diskettenlaufwerk | 14: Projektor |

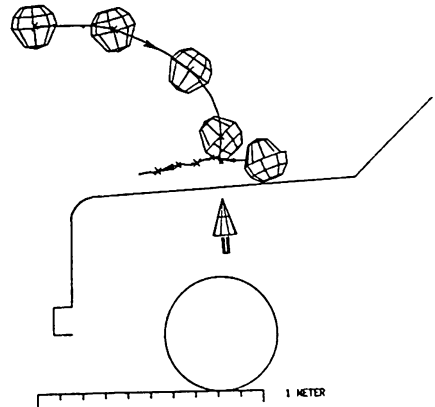
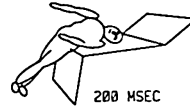
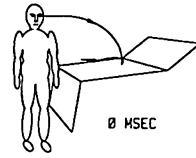


Fig. 2: Typischer Anprall mit 25 km/h

- a) Phasen des Bewegungsablaufes in Intervallen von 100 msec. nach Beginn des Anpralles
- b) Schematische Darstellung des Kopfes sowie der Trajektorie seines Schwerpunktes.