

Wissenschaftliche Expertise

zum Unfall in der „Wetten, dass..?“- Sendung am 4.12.2010

Prof. Dr. G.-P. Brüggemann
unter Mitarbeit von K. Heinrich, S. Willwacher und R. Müller

Institut für Biomechanik und Orthopädie, Deutsche Sporthochschule Köln

Köln, Januar 2011

Abstract

Im März 2010 werden der Redaktion „Wetten, dass..?“ fünf verschiedene „Power-Jump“ Wettideen des Wettkandidaten Samuel Koch für die Sommer-Wetten der Sendung „Wetten, dass..?“ angeboten. Am 27.7.2010 erhält die Redaktion ein erstes Kandidaten-Video der „Auto-Sprung-Wette“, welches den Übersprung eines fahrenden Autos durch den Kandidaten Samuel Koch mit „Powerisern“ zeigt. Der Wett-Test wird vom Sicherheitsingenieur geprüft und nach Bewertung der Physik der Sprungtechnik und Berücksichtigung der körperlichen Leistungsfähigkeit des Kandidaten zugelassen.

Am 1.10.2010 zeigt S. Koch in der Olympiahalle in München zahlreiche erfolgreiche Sprünge. Am 25. Oktober 2010 wird vom Wett-Team ein weiteres Probenvideo zur Verfügung gestellt, welches zeigt, wie der Kandidat drei auf ihn zufahrende Autos mit einem Salto überspringt.

In der Sendung am 4.12.2010 kommt es um 20:40 Uhr beim Versuch, das Fahrzeug Nr. 4 (Audi A8) zu überspringen, zum tragischen Unfall.

Im Dezember 2010 beauftragt das ZDF das Institut für Biomechanik und Orthopädie der Deutschen Sporthochschule Köln mit einer wissenschaftlichen Expertise, die den Unfall des Wettkandidaten Samuel Koch in der Sendung „Wetten, dass..?“ am 4.12.2010 zum Gegenstand haben soll.

Auf der Grundlage von Videomaterial des Unfallsprungs sowie erfolgreicher Versuche gelingt unter Verwendung der Computersimulation eine Rekonstruktion des Unfallversuchs und erfolgreicher Sprünge über ein fahrendes Auto.

Die biomechanischen Ursachen, die zum Unfall geführt haben, konnten als nachhaltige Bewegungsfehler in der späten Phase des Anlaufs und im Absprung mit den Sprungstelzen identifiziert werden. Die aufgetretenen Verletzungen sind unmittelbar mit dem Hergang des Sprungs und den Kollisionen mit Fahrzeug und Boden in Verbindung zu bringen. Technische Fehler oder technisches Versagen der Sprungstützen konnten nicht nachgewiesen werden.

Damit ergibt sich der Unfall aus einer unglücklichen Verkettung von Bewegungsfehlern des Wettkandidaten, die ursächlich den zum Unfall führenden Bewegungsablauf beim Versuch, das Fahrzeug Nr. 4 zu überspringen, bedingten.

1. Vorbemerkung, Chronologie und Problemstellung

Die Chronologie des Ereignisses beginnt im März 2010 mit einem Schreiben der Agentur Joe Alexander Entertainment Group, in dem der Redaktion Wetten, dass..? fünf verschiedene „Power-Jump“ Wettideen des Wettkandidaten Samuel Koch für die Sommer-Wetten der Sendung Wetten, dass..? angeboten werden. In allen Wettvorschlägen sollen sogenannte Sprungstelzen („Poweriser“) Verwendung finden, die sich der Kandidat an den Beinen befestigt und die mit Federn versehen sind. Diese Federn, die einen ähnlichen Wirkmechanismus wie ein Trampolin aufweisen, verschaffen dem Nutzer die Möglichkeit, größere Sprunghöhen und damit längere Flüge nach Absprüngen zu erreichen, als ohne solche technischen Hilfsmittel.

Der biomechanische Wirkmechanismus solcher Hilfsmittel (Trampolin oder „Poweriser“) kann vereinfacht folgendermaßen erklärt werden: Die Sprungfedern der „Poweriser“ oder des Trampolins können durch Spannarbeit verformt werden und die applizierte Arbeit wird als elastische Energie in den Federn gespeichert. Die Größe der gespeicherten elastischen Energie hängt von der kinetischen Energie ab, mit der der Springer auf das Trampolin oder bei Verwendung der Sprungstelzen mit den „Powerisern“ auf den Boden auftrifft. Mit Verformung der Federn nach dem Auftreffen auf Trampolin oder Boden wird die kinetische Energie von den Federn absorbiert, zum Teil vernichtet oder in andere Energieformen umgewandelt und später bei Wiederausdehnung der Federn als Bewegungsenergie dem Springer zurückgegeben. Durch die Energieabsorption in der Phase der Federverformung wird die kinetische Energie des Springers reduziert, was zur Folge hat, dass die Bewegungsgeschwindigkeit und damit auch die Kontraktionsgeschwindigkeit der die Gelenke streckenden Muskeln reduziert wird. Eine Reduktion der Kontraktionsgeschwindigkeit erhöht das Kraftpotential der Muskeln, was zur Folge hat, dass der Springer durch nun effiziente Nutzung des Kraftpotentials dem System Springen und Federn durch Muskelarbeit Energie zuführen kann, was bei hohen Kontraktionsgeschwindigkeiten (etwa beim Springen ohne Federn) nicht oder nur geringfügig möglich ist. Damit ist es möglich, beim Springen auf einem Trampolin oder mit den genannten „Powerisern“ die Anfangsenergie (kinetische Energie des Körpers beim Auftreffen auf den Boden) trotz Energieverluste beim Verformen der Federn zu vergrößern und infolgedessen mit hohen Geschwindigkeiten abzufliegen.

Der dominante Anteil der Energie des Springers am Ende des Stützes oder des Kontaktes mit dem Trampolin ist jedoch auf die Anfangsenergie des Springers zurückzuführen, also der kinetischen Energie über die der Springer nach dem Anlauf oder dem Anhüpfen verfügt.

Die zunächst vorgeschlagenen Wettideen bezogen sich durchgängig auf Bewegungen, die mit einem beidbeinigen Absprung und damit gleichzeitiger Nutzung beider Sprungfedern („Poweriser“) realisiert werden. Infolgedessen muss der Anlauf mit einbeinigem Stütz mit einer Übergangsbewegung im beidbeinigen Absprung enden. Dazu erfolgt der letzte einbeinige Abdruck hoch dynamisch und in der Regel hoch und weit, um die kinetische Energie für die beidbeinige Landung zu maximieren. Die mechanischen Bedingungen für den beidbeinigen Absprung werden folglich vor der beidbeinigen Landung zum Absprung im letzten einbeinigen Abdruck und dem davor gestalteten Anlauf geschaffen. Die biomechanischen Bedingungen für den Sprung nach dem beidbeinigen Abdruck werden damit deutlich früher und zwar während des letzten einbeinigen Kontaktes geschaffen. Folglich ist ein „Abbrechen“ eines Versuchs auch nur während des Anlaufs und in der Regel nur bis zum zweitletzten einbeinigen Bodenkontakt möglich.

Noch im März 2010 wird von der Redaktion „Wetten, dass..?“ der Agentur das Interesse an dem Wettvorschlag „Auto-Sprung“ mitgeteilt.

Am 27.7.2010 erhält die Redaktion ein erstes Kandidaten-Video der „Auto-Sprung-Wette“, welches am 19.7.2010 aufgenommen wurde. Dieses Video enthält unter anderem den Übersprung eines fahrenden Autos durch den Kandidaten Samuel Koch mit „Powerisern“. Dieses Video wird später für die Bewegungsanalyse und die Simulation sowie die Bestimmung der für erfolgreiche Sprünge notwendigen Anfangsbedingungen Verwendung finden (vergleiche Kapitel 3).

Im Rahmen der Klausurtagung der für die Wetten, dass..? – Sendungen zuständigen Redaktionen vom 2.-4. August 2010 wird festgelegt, dass die „Auto-Sprung-Wette“ in einer der Sendungen der Staffel 2010/2011 ausgespielt wird, wobei der Termin und die Wettparameter von den Trainingsergebnissen des Wett-Kandidaten abhängig gemacht werden. Die Agentur Joe Alexander Entertainment Group wird gebeten, einen Testtermin während der Produktionswoche der Sendung vom 2.10.2010 in München zu ermöglichen. Es soll geprüft werden, ob die Wette im Studio und auf dem Originalboden der Show erfolgen kann. Der Wett-Test wird vom Sicherheitsingenieur geprüft und nach „eingehender Bewertung der Physik der

Sprungtechnik und Betrachtung der Athletik des Kandidaten“ (Task Force Wetten, dass..?: Dokumentation der Wette „Power-Jump“; Stand 20.12.2010, 3) zugelassen. Der erste Test findet am 1.10.2010 in München in der Olympiahalle statt. Es wird festgestellt, dass die Platten des Showbodens verrutschen und für die Sprungstelzen insgesamt zu glatt sind. Der Test wird in eine Nebenhalle verlegt. Hier führt S. Koch „zahlreiche erfolgreiche Sprünge“ (Task Force Wetten, dass..?: Dokumentation der Wette „Power-Jump“; Stand 20.12.2010, 4) aus.

Am 25. Oktober 2010 wird vom Wett-Team ein weiteres Probenvideo (aufgenommen am 23.10.2010) zur Verfügung gestellt, welches zeigt, wie der Kandidat drei auf ihn zufahrende Autos mit einem Salto überspringt. Diese Aufnahmen sind wegen der extrem schiefwinkligen Kameraposition und fehlender Kalibrationsobjekte für eine Rekonstruktion der Bewegungsabläufe nicht zu verwenden.

Am 10.11.2010 benennt der Kandidat S. Koch per E-Mail an die Redaktion einen von ihm getesteten Sportbodenbelag (Regupol Typ 713/65) nebst Bezugsquellen. Dieser Boden wird vom ZDF bestellt und in der Sendung am 4.12.2010 eingesetzt.

Am 12.11.2010 werden von der Redaktion die zu überspringenden Fahrzeuge auf der Basis des Vorschlags des Wettkandidaten ausgewählt: (1) Smart, (2) Alfa Romeo (Alfa Giulietta), (3) Minicooper Kombi (Mini Clubman), (4) Audi A8, (5) BMW X3. Am 18.11.2010 wird dem Wettkandidaten mitgeteilt, dass das Fahrzeugmodell Alfa Romeo aus organisatorischen Gründen gegen einen Ford Focus ausgetauscht werden muss. Ab dem 25./26.11.2010 stehen die Wettfahrzeuge dem Wett-Team für Proben und Training zur Verfügung.

Am 2.12.2010 finden die ersten Proben der Wette in der Messehalle in Düsseldorf statt. Bilddokumente dieser Proben liegen nicht vor. Bei der Erprobung einzelner Fahrzeuge soll es zu keinen besonderen Vorfällen gekommen sein. „Die Einschätzung aller Beteiligten (Redaktion, Regie, Sicherheitsingenieur) war, dass Samuel Koch die Sprünge jederzeit im Griff hatte und aufgrund seiner körperlichen Fitness auch missglückte Anläufe/Sprünge jederzeit abbrechen bzw. sich abrollen konnte“ (Task Force Wetten, dass..?: Dokumentation der Wette „Power-Jump“; Stand 20.12.2010, 9).

Die Generalprobe findet am 3.12.2010 statt. Es kann zusammenfassend folgender Ablauf rekonstruiert werden: (a) Das Fahrzeug Nr. 1 (Smart) wird übersprungen, wobei der Kandidat sehr nah hinter dem Fahrzeug landet und stürzt; (b) Der Versuch, über Fahrzeug Nr. 2 (Mini Clubman) zu springen, wird bereits beim dritt-letzten

einbeinigen Bodenkontakt beim Anlauf abgebrochen und der Kandidat verlässt seitlich die Laufmatte; (c) Der Abbruch des Versuchs, das Fahrzeug Nr. 3 (Ford Focus) zu überspringen, erfolgt ebenfalls früh nach Start des Anlaufs des Kandidaten; (d) Das Fahrzeug Nr. 4 (Audi A8) wird ohne Problem und sicher mit einem gehockten Salto vorwärts übersprungen; (e) Das Fahrzeug Nr. 5 (BMW X3, gepolstert an Kühler, Dach und Heck) wird ebenfalls fehlerfrei mit einem Salto übersprungen.

In der Sendung am 4.12.2010 kommt es um 20:40 Uhr beim Versuch das Fahrzeug Nr. 4 (Audi A8) zu überspringen zum tragischen Unfall.

Am 9.12.2010 beauftragt das ZDF das Institut für Biomechanik und Orthopädie der Deutschen Sporthochschule Köln und dessen Leiter Prof. Dr. G.-P. Brüggemann mit einer wissenschaftlichen Expertise, die den Unfall des Wettkandidaten Samuel Koch in der Sendung „Wetten, dass..?“ am 4.12.2010 zum Gegenstand haben soll.

Im Einzelnen sollen dabei folgende Fragestellungen bearbeitet werden:

- (1) Rekonstruktion des Unfallhergangs und Ableitung der möglichen Ursachen für das Ereignis und der damit in Verbindung stehenden Verletzungen.
- (2) Prüfung der Funktionsfähigkeit des verwendeten Sportgerätes in Hinblick auf technische Eignung und Fehlerfreiheit.
- (3) Abschätzung des Unfall- und Verletzungsrisikos von Sportausübung unter Zuhilfenahme von Federstelzen („Poweriser“).
- (4) Abschätzung der Güte und Angepasstheit der Risikoeinschätzung der Wette durch das ZDF.

Das ZDF stellt zur Bearbeitung der Fragestellungen umfangreiche Dokumente, Videomaterial der Proben und der Sendung sowie eine Dokumentationen der Task Force Wetten, dass..? und des Arbeitsschutzmanagements zur Verfügung. Weiterhin werden die verwendeten Sprungstelzen („Poweriser“, Modell 7090), neue und noch nicht benutzte Sprungstelzen, Teile des ausgelegten Bodens (Regupol Typ 713/65), sowie die verwendete Sicherheitsausrüstung des Wettkandidaten (Helm) für die Untersuchungen bereitgestellt.

2. Beschreibung des Unfallhergangs

Die Wette „Power Jump“ der Sendung „Wetten, dass..?“ beginnt am 4.12.2010 um 20:38 Uhr. Der Boden, auf dem der Wettkandidat anläuft, abspringt und auch landet, ist gemäß Vorbereitungen und Proben ausgelegt.

Fahrzeug Nr. 1 (Smart) wird von Herrn Koch fehlerfrei übersprungen. Die Videoaufzeichnungen dieses Sprungs sind verwertbar und dienen später als Referenz. Der Versuch über das Fahrzeug Nr. 2 (Mini Clubman) wird früh während des Anlaufs abgebrochen. Fahrzeug Nr. 3 (Ford Focus) kann fehlerfrei und ohne Auffälligkeit übersprungen werden.

Beim Versuch, das Fahrzeug Nr. 4 (Audi A8) zu überspringen, kommt es zum tragischen Unfall. Herr Koch läuft wie geplant an und zeigt einen sehr betonten Einsprung (letzter einbeiniger Bodenkontakt bis erster beidbeiniger Kontakt) zum beidbeinigen Absprung. Auffällig ist seine gegenüber Vorversuchen und Trainingssprüngen veränderte vorbereitende Armbewegung gegen Ende des Einsprungs in den eigentlichen Absprung (Bildserie 1 im Anhang). Die beidbeinige Landung vor dem Fahrzeug erscheint bereits bei der subjektiven Betrachtung als sehr nah am Fahrzeug. Herr Koch springt nun mit beiden Beinen und den daran befestigten Federstelzen ab und beginnt die Saltodrehung. Nach ca. 90° Saltodrehung prallt er zunächst mit den Händen dann unmittelbar mit dem Kopf gegen die Windschutzscheibe und den vorderen Rahmen des Dachs des Fahrzeugs. Bei dieser Kollision wird die Halswirbelsäule extrem flektiert. Es folgt der Weiterflug über das Fahrzeug, wobei durch die Kollision die Flugbahn des Springers deutlich überhöht wird. Der Flug erscheint wenig kontrolliert und es erfolgt der Aufprall im Bereich des Vorderhauptes bei nahezu gestrecktem Körper auf dem schwarzen Regupol-Boden. Der frontal aufgenommenen Videosequenz ist zu entnehmen, dass die Augen des Springers nach der Kollision mit dem Fahrzeug und während des weiteren Fluges geschlossen zu sein scheinen.

3. Rekonstruktion des Unfallhergangs und Ableitung möglicher Ursachen

Unfallsprung: Auf der Grundlage der Videoaufnahmen durch das ZDF und einer Amateuraufnahme aus dem Zuschauerbereich wurde der Unfallsprung rekonstruiert und in seinem gesamten Ablauf mathematisch simuliert. Damit gelang es, die physikalischen und die biomechanischen Bedingungen und Variablen des Unfallsprungs zu bestimmen sowie die wirkenden Kräfte und Momente an den Gelenken abzuschätzen.

Die Berechnungen gehen von einer Masse des Herrn Koch von 70 kg und einer Körperhöhe von 1,70 m aus. Die verwendeten Federstelzen wurden vermessen und haben eine Masse von 9,2 kg (beide Stelzen).

Abbildung 1 verdeutlicht die Sprungrekonstruktion durch Computersimulation und zeigt die Güte der Übereinstimmung der Simulation mit dem realen Unfallgeschehen.

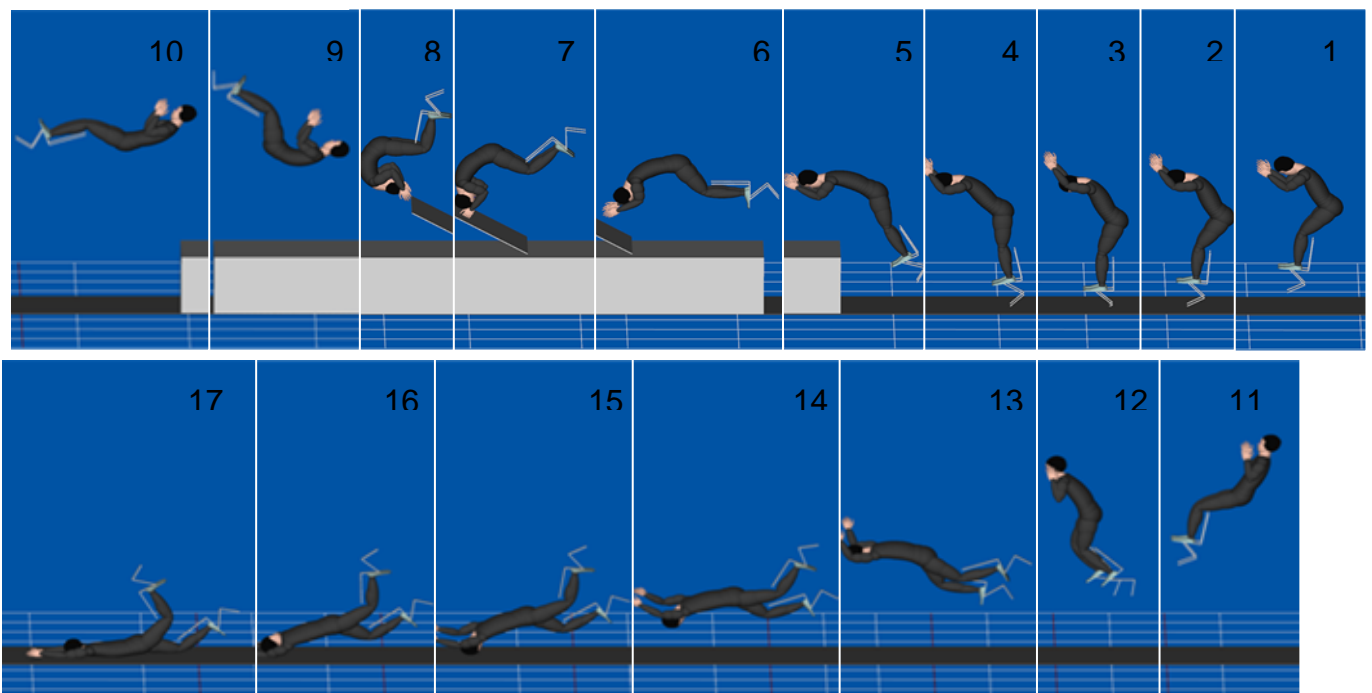


Abbildung 1: Simulation des Unfallsprungs über einen Audi A8 am 4.12.2010.
Die Abbildung zeigt den Ablauf in diskreten Bildern. Der zeitliche Abstand der Bilder ist nicht konstant.

Der Einsprung (einbeiniger Abdruck – beidbeinige Landung) erfolgt mit einer Landegeschwindigkeit des Körperschwerpunktes von Herrn Koch von $5,2 \text{ ms}^{-1}$ (vertikale Landegeschwindigkeit: $3,0 \text{ ms}^{-1}$; horizontale Landegeschwindigkeit: $4,2 \text{ ms}^{-1}$). Die Länge des Einsprungs (zurückgelegte Distanz des Körperschwerpunktes) wird mit $2,52 \text{ m}$ bestimmt. Die Bodenkontaktdauer des Absprungs wird mit 160 ms berechnet. Im Moment des Absprungs (Abflug) beträgt die Geschwindigkeit des entgegenkommenden Fahrzeugs $6,52 \text{ ms}^{-1}$. Zu Beginn des Absprungs oder bei der Landung nach dem Einsprung ist die Distanz zum Fahrzeug $2,2 \text{ m}$. Am Ende des Absprungs wird der Abstand zum Audi A8 mit $0,77 \text{ m}$ gemessen. Herr Koch verlässt den Boden nach dem beidbeinigen Absprung mit einer horizontalen Körperschwerpunktgeschwindigkeit von $2,8 \text{ ms}^{-1}$. Die vertikale Geschwindigkeit des Körperschwerpunktes beträgt $3,0 \text{ ms}^{-1}$. Diese vertikale Abfluggeschwindigkeit erlaubt eine Schwerpunktüberhöhung oder eine Schwerpunkttreibhöhe von $0,46 \text{ m}$, was bei Berücksichtigung der Abflughöhe des Körperschwerpunktes von $1,2 \text{ m}$ zu einer maximalen Schwerpunkthöhe von $1,66 \text{ m}$ führt. Herr Koch führt einen Salto vorwärts aus und muss bei Berücksichtigung der Kopf-nach-unten-Lage über dem Fahrzeug und einem Sicherheitsabstand von $0,3 \text{ m}$ eine minimale Schwerpunkthöhe im Flug von $2,27 \text{ m}$ aufweisen, um gefahrlos das Fahrzeug zu überspringen. Aufgrund der zu geringen vertikalen Abfluggeschwindigkeit muss er mit dem Fahrzeug kollidieren. Der Drehimpuls um die Körperbreitenachse wird nach dem Absprung mit $90 \text{ kgm}^2\text{s}^{-1}$ bestimmt. Damit weist der Springer nach Verlassen des Bodens eine extrem hohe Rotationskomponente auf.

Die Bestimmung der Energie des Gesamtkörpers am Ende des Einsprungs und damit bei der beidbeinigen Landung zum Absprung ergibt 1690 Joule , die verbleibende translatorische Energie beim Verlassen des Bodens ist mit 1400 Joule um 18% niedriger. Der Springer verliert also beim Unfallversuch beim Absprung deutlich an translatorischer Energie.

Bei der Kollision mit dem Fahrzeug, die eine Stoßdauer von ca. 60 ms hat, können die mittleren Reaktionskräfte mit 490 N in horizontaler und 2990 N in vertikaler Richtung abgeschätzt werden. Die Halswirbelsäule des Springers erfährt um das 7. Halswirbelgelenk (C7) ein externes Drehmoment von $>450 \text{ Nm}$. Die maximale Beschleunigung des Kopfes wird mit $>350 \text{ g}$ bestimmt.

Durch die Kollision wird die vertikale Geschwindigkeit des Körperschwerpunktes um $2,3 \text{ ms}^{-1}$ erhöht, was zu einer Vertikalgeschwindigkeit von $2,8 \text{ ms}^{-1}$ und zu einer

deutlichen Überhöhung der Flugbahn führt. Der Drehimpuls erfährt nur eine geringe Veränderung durch die Kollision des Springers mit dem Fahrzeug.

Bei dem Aufprall auf dem Boden verfügt der Körperschwerpunkt über eine Geschwindigkeit von $6,2\text{ms}^{-1}$ (vertikal: $5,7\text{ms}^{-1}$; horizontal: $2,5\text{ms}^{-1}$) und damit eine kinetische Energie von >1500 Joule.

Aufgrund des hohen Reibwertes von Matte und Helm ($\mu=0,95$) kann beim Auftreffen des Helms auf den Boden nahezu kein Rutschen beobachtet werden. Folglich sind die Horizontalkräfte hoch und erzeugen in Verbindung mit den Vertikalkräften eine extrem hohe Axialkraft auf die Halswirbelsäule.

Gelungene Sprünge: Für den Vergleich mit dem Unfallsprung und der Erstellung einer Datengrundlage für erfolgreiche Übersprünge mit Sprungstelzen über ein entgegenkommendes Fahrzeug standen Videoaufnahmen vom 19.7.2010 (Wettvideo Samuel Koch, Sprung über Ford Puma) sowie dem Sprung über Fahrzeug Nr. 1 (Smart) in der Sendung am 4.12.2010 zur Verfügung.

Damit gelingt es, die physikalischen und die biomechanischen Bedingungen und Variablen erfolgreicher Versuche zu bestimmen und diese Ergebnisse mit denen des Unfallsprungs zu vergleichen.

Abbildung 2 zeigt die Rekonstruktion und Simulation des Sprungs über einen Ford Puma am 19.7.2010.

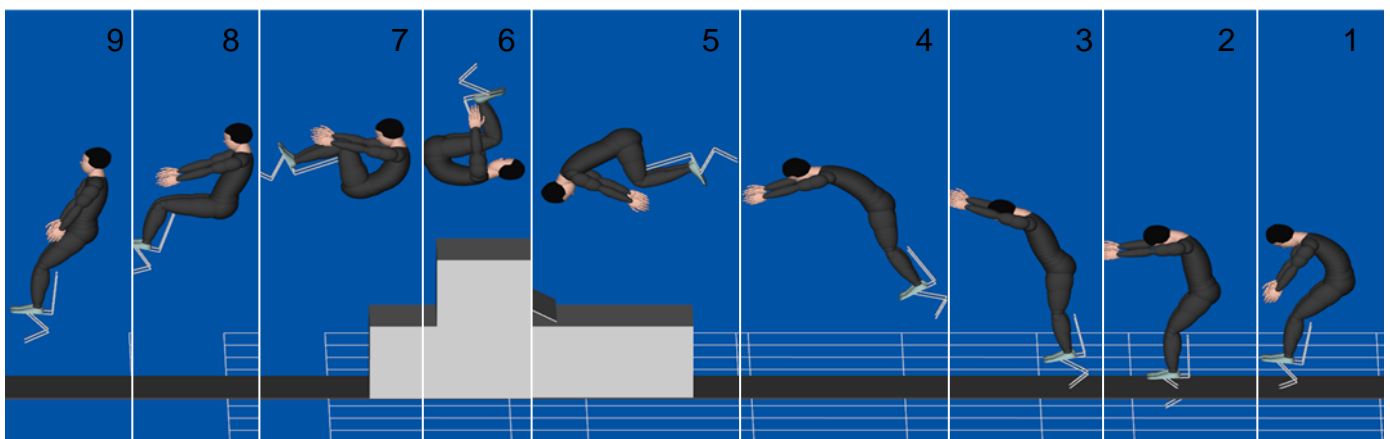


Abbildung 2: Simulation des gelungenen Sprungs über einen Ford Puma am 19.7.2010.
Die Abbildung zeigt den Ablauf in Einzelbildern, wobei der zeitliche Abstand der Bilder nicht konstant ist.

Die wichtigsten Merkmale sind in Tabelle 1 zusammengefasst und mit den Daten des Unfallsprungs verglichen.

Tabelle 1: Geschwindigkeiten des Körperschwerpunktes, Drehimpulse um die Breitenachse, translatorische Energie des Springers und Fahrzeuggeschwindigkeit im Moment des Absprungs. Der Einsprung (letzter einbeiniger – erster beidbeiniger Bodenkontakt) endet mit Absprungbeginn (erster beidbeiniger Bodenkontakt). Der Absprung endet mit Absprungende. Die physikalischen Größen bei Absprungende definieren die Bedingungen für den folgenden Flug (Flughöhe, Flugdauer, Drehimpuls).
Anmerkung: * Daten konnten nicht mit hinreichender Genauigkeit ermittelt werden.

Variable	Zeitpunkt	Ford Puma	Smart	Audi A8
Horizontale Geschwindigkeit des Körperschwerpunktes	Absprungbeginn	4,3 ms ⁻¹	4,2 ms ⁻¹	4,2 ms ⁻¹
	Absprungende	2,4 ms ⁻¹	2,4 ms ⁻¹	2,9 ms ⁻¹
Vertikale Geschwindigkeit des Körperschwerpunktes	Absprungbeginn	-2,5 ms ⁻¹	-2,7 ms ⁻¹	-3,0 ms ⁻¹
	Absprungende	4,4 ms ⁻¹	4,1 ms ⁻¹	3,0 ms ⁻¹
Drehimpuls	Absprungende	45 kgm ² s ⁻¹	*	90 kgm ² s ⁻¹
Energieverlust (Translation)	Absprung	*	-3,4 %	-18 %
Fahrzeuggeschwindigkeit	Absprung	6,5 ms ⁻¹	5,9 ms ⁻¹	6,6 ms ⁻¹

Der Vergleich der Daten aus Tabelle 1 findet beim Unfallsprung eine vergrößerte vertikale Auftreffgeschwindigkeit nach dem Einsprung im Vergleich zu den gelungenen Versuchen, eine deutlich geringere vertikale Abfluggeschwindigkeit am Ende des beidbeinigen Absprungs und einen doppelt großen Drehimpuls. Der Verlust an translatorischer Energie ist ca. 5-mal größer beim Unfallsprung als beim gelungenen Sprung über den Smart. Bemerkenswert ist die große Variation der Fahrzeuggeschwindigkeit von 5,9 bis 6,6 ms⁻¹.

Ableitung der Ursachen: Die Ursache für den misslungenen Sprung ist damit eindeutig im beidbeinigen Absprung anzusiedeln, in dem 18 % Energie verloren geht und der Springer nicht die notwendige vertikale Abfluggeschwindigkeit zu generieren in der Lage ist. Die Beobachtung einer veränderten Armbewegung vor der Landung zum beidbeinigen Absprung (beim Unfallversuch hebt der Springer die Arme während des Einsprungs und orientiert damit seinen Körper um, erzeugt eine geringere Rücklage und kann die Stelzen weiter vom heranfahrenden Fahrzeug entfernt aufsetzen; bei gelungenen Versuchen erfolgte das Heben der Arme erst während des beidbeinigen Stützes, möglicherweise um während des Absprungs

zusätzliche mechanische Arbeit zu verrichten) lässt darauf schließen, dass der Springer möglicherweise beim letzten einbeinigen Abdruck bemerkte, dass er sich zu nah am heranfahrenden Fahrzeug befand oder dass das Fahrzeug zu schnell war. Zu diesem Zeitpunkt konnte er den Versuch nicht mehr gefahrlos abbrechen (siehe Überlegungen oben). Das Heben der Arme im Flug des Einsprungs führte zu einer Umorientierung des Körpers und damit zu einer verringerten „Rücklage“ (Körperschwerpunkt befindet sich bei Beginn des Bodenkontaktes hinter dem Aufsatzpunkt der Federstelzen), infolgedessen zu einer schnelleren Drehung des Körpers um den Auflagepunkt der Stelzen und damit zu einer intensiven Vorlage in der zweiten Hälfte des Bodenkontaktes. Die Folge war die extreme Vergrößerung des Drehimpulses, eine erhöhte Horizontalgeschwindigkeit und eine signifikante Reduktion der für das Gelingen des Sprungs notwendigen vertikalen Geschwindigkeit. Die Wirkung der Umorientierung des Körpers bei der beidbeinigen Landung nach dem Einsprung wurde unter Verwendung der gemessenen Materialeigenschaften der Federn der „Poweriser“ simuliert und sind in Abbildung 3 vergleichend für den gelungenen Versuch über den Ford Puma und den Unfallsprung dargestellt.

Damit ist die Ursache des Unfalls ein fehlerhaftes Bewegungsverhalten des Verunfallten zu einem Zeitpunkt, in dem die Bewegung nicht mehr gefahrlos abgebrochen werden konnte. Die Ursache für die Veränderung des Bewegungsverhaltens gegenüber gelungenen Versuchen kann möglicherweise im Versuch der Korrektur der Einsprunglänge gefunden werden, nachdem eine zu geringe Distanz zum entgegenkommenden Fahrzeug oder eine zu hohe Geschwindigkeit dieses Fahrzeug vom Verunfallten bemerkt wurde.

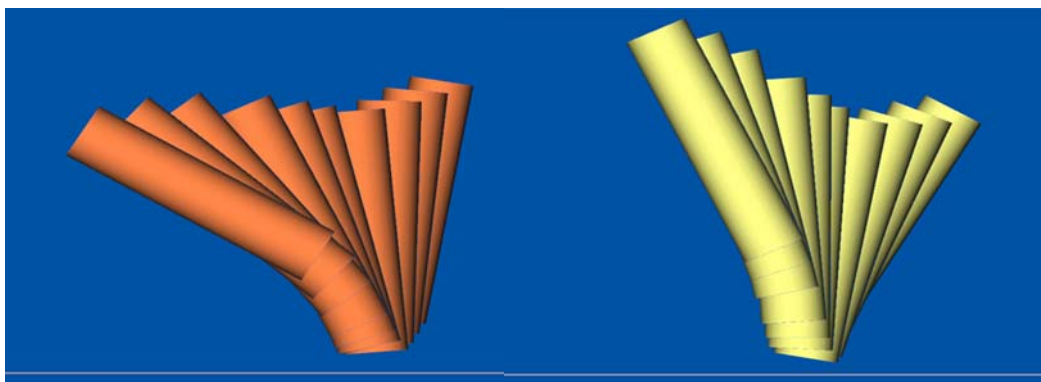


Abbildung 3: Simulation der Absprünge des gelungenen Sprungs über einen Ford Puma am 19.7.2010 (rechts) und des Unfallsprungs (links). Bemerkenswert ist die unterschiedliche Lage des Körpers zu Beginn des Absprungstützes.

Verletzungsmechanismen und -ursachen: Während der Kollision des Kopfes mit dem Fahrzeug berechnet sich ein extrem großes Drehmoment am 7. Halswirbel. Es ist anzunehmen, dass es bereits bei der Kollision mit dem Fahrzeug zu der beschriebenen C7 Verletzung gekommen ist. Mit dem extremen Drehmoment geht eine schnelle und intensive Elongation der Extensionsmuskulatur einher, was – möglicherweise in Verbindung mit der Verletzung der Arteria Vertebralis – zu einem propriozeptiven und neuromuskulären Ausfall geführt hat. Die extreme Beschleunigung des Kopfs gibt dazu einen weiteren Hinweis. Auch die Beobachtung der geschlossenen Augen des Verunfallten im weiteren Flug stützt diese Argumentationskette.

Damit ist zu erklären, dass der weitere Flug weitestgehend ohne muskuläre Kontrolle erfolgte und der koordinativ ausgewiesene Springer keine Bewegungen zur Abwendung des Sturzes auf den Kopf vornahm. Die Simulation zeigt sehr wirklichkeitsnahe Resultate, wenn die Antriebe für die Gelenkbewegungen auf die Wirkung der Gravitation und Trägheitsbeschleunigungen reduziert werden.

Die Verletzungen von C1 und C2 sind eindeutig auf die extremen Axialkräfte bei dem Aufprall auf den Boden zurückzuführen.

4. Prüfung der technischen Funktionsfähigkeit des Sportgerätes „Poweriser“ und des Schutzhelms

Sprungfeder: Die beim Unfallsprung verwendeten Sprungstelzen „Poweriser“ (Modell 7090) sowie ein Paar nicht gebrauchte Sprungstelzen „Poweriser“ standen für die Prüfung zur Verfügung. Bei den in den Sprungstelzen verwendeten Federn handelt es sich um einfache Glasfaserstäbe ohne Karbonfaserverstärkung. Die Federn sind mit einem mechanischen Anschlag konstruiert und weisen damit eine mechanische Verformungsgrenze auf. Die Verformungsgrenze (Bogensehne) konnte mit 289 mm gemessen werden. Die mechanischen Eigenschaften wurden mit einer Materialprüfmaschine (Zwick) durch die Untersuchung von zehn Verformungszyklen und Verformung bis Anschlag geprüft. Das Kraft-Verformungsdiagramm für „Poweriser 7090“ findet sich in Abbildung 4. Die Steifigkeit der Feder ist nicht linear und zeigt die Feder progressiv bei zunehmender Verformung weicher werden.

Während die mittlere Steifigkeit mit $12,9 \text{ Nmm}^{-1}$ beschrieben werden kann, sind die Steifigkeiten im Bereich von 1000 N mit $16,4 \text{ Nmm}^{-1}$ und im Bereich von 2000 N mit $10,6 \text{ Nmm}^{-1}$ anzugeben. Die Hysterese (Energieverlust) wurde mit 11 % bestimmt. Die maximale Kraft zum Erreichen des mechanischen Anschlags wurde mit 3600 N gemessen. Zur Verformung der Feder bis zum mechanischen Anschlag muss eine Spannarbeit von 610 Nm verrichtet werden. Daraus folgt, dass bei Nutzung etwa für einen Sprung mit beiden Beinen und damit zwei Sprungstelzen maximal 1220 Nm von den Federn aufgenommen und gespeichert werden können.

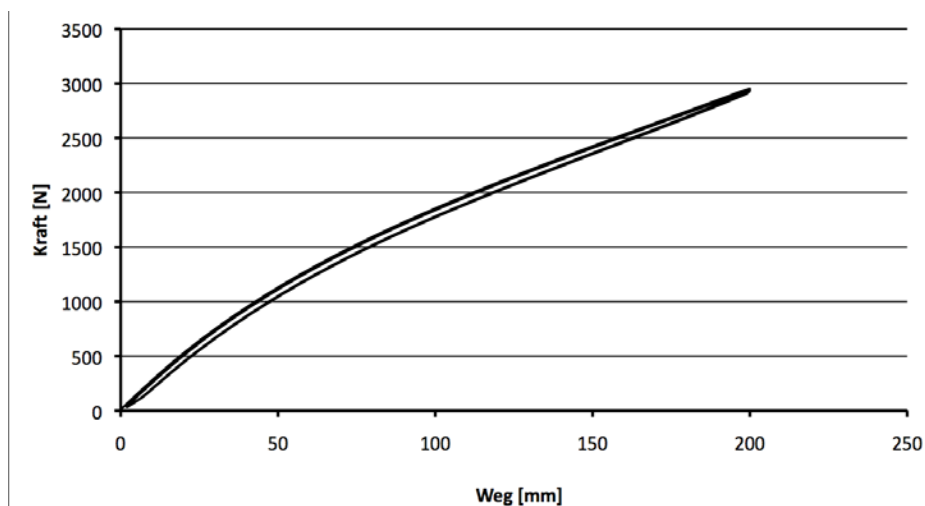


Abbildung 4: Kraft-Deformations-Verlauf der verwendeten Glasfaserfeder des „Poweriser“. Dargestellt sind 10 Verformungszyklen.

Die beim Unfallsprung verwendete und geprüfte Feder ist vom Hersteller für Springer mit Körpermassen von 70 bis 90 kg empfohlen. Die Rekonstruktion des Unfallsprungs und der gelungenen Übungssprünge zeigte, dass die Federn bis zur Verformungsgrenze und möglicherweise darüber hinaus beansprucht wurden. Es ist anzunehmen, dass in Einzelfällen der Anschlag erreicht wird bzw. erreicht wurde.

Der Vergleich der beim Unfallsprung verwendeten Federn und der nicht gebrauchten neuen Sprungstelzen konnte keinen signifikanten Unterschied der Materialeigenschaften identifizieren. Damit kann im Vergleich mit neuen Stelzen den am 4.12.2010 verwendeten Sprungfedern kein funktioneller Defekt zugeschrieben werden.

Die Inspektion und Sichtprüfung der beim Unfall verwendeten Sprungstelzen wird folgendermaßen zusammengefasst und lässt ebenfalls keine Monita ableiten:

- Alle Teile sind vorhanden und im Originalzustand.
- Die Federn aus Glasfiber sind unbeschädigt.
- Die Konstruktionsteile aus Aluminium weisen Gebrauchsspuren, aber keine strukturellen Beschädigungen auf.
- Die aus Gewindestangen hergestellten und mit Schutzschlauch überzogenen Diagonalstreben sind unbeschädigt.
- Alle Gelenkverbindungen sind in Bezug auf Lagerspiel und Leichtgängigkeit in Ordnung.
- Alle Verschraubungen sind fest angezogen.
- Die Knieverbindung ist stabil eingestellt. Die Klettbefestigung ist in Ordnung. Der innere Bügel der Kniebefestigung ist mit leicht geöffnetem Winkel fixiert.
- Die Fußplatte und die Fuß-Klettbefestigungen sind in Ordnung.
- Der Gummifuß ist unbeschädigt, zeigt aber deutliche Abnutzung an der Oberfläche.

Helm: Der beim Unfallsprung verwendete Schutzhelm entspricht der DIN EN 1078 und ist damit als Kopfschutz für das Radfahren, Rollschuh- oder Inliner-Fahren oder Skateboarding ausgelegt. Einen Sturz mit einer Kollisionsenergie von >1500 Joule oder einer Kopfbeschleunigung von >300 g kann er nicht genügen. Dennoch hat der Helm eine Schädelfraktur verhindert.

Für die Simulation der Kollision von Kopf und Fahrzeug sowie Kopf und Boden (mit aufliegender Matte) wurde die Modellierung des Kontaktes der kollidierenden Körper notwendig. Aus diesem Grunde war eine Bestimmung der Reibwerte der Paarungen Helm-Aluminium (bzw. Glas der Windschutzscheibe) und Helm-Matte (Regupol Typ 713/65) notwendig. Die Untersuchung wurde mit Hilfe einer Materialprüfmaschine realisiert.

Die Reibwerte bestimmen sich folgendermaßen:

μ (Helm-Glas): 0,2

μ (Helm-Aluminium): 0,3

μ (Helm-Matte): 0,95

Aus dem hohen Reibwert μ (Helm-Matte) resultiert, dass beim Aufprall auf den Boden der Helm und damit der Kopf nicht rutschen konnte. Ein Kraftabbau bzw. eine Energieabsorption konnte somit nicht oder nur äußerst eingeschränkt stattfinden. Es bleibt anzumerken, dass Disziplinen, für die ein Helm der verwendeten Bauart

konzipiert ist, auf Beton oder Asphalt praktiziert werden und nicht auf einer Tartan ähnlichen Matte stattfinden.

Die Inspektion des Helms belegt die erwarteten und aus den Simulationsergebnissen abgeleiteten Beanspruchungen. Der Aufprall im Bereich des vorderen Schädels führte zu einer massiven Kompression des Helms und zu einer Zerstörung der Styroporlage. Weiterhin zeigte die Helmschale einen durchgehenden Riss, der eindeutig auf die applizierte Kraft bei dem Aufprall auf den Boden zurückgeführt werden kann (siehe Fotos im Anhang).

Der Helm wurde beim Aufprall schwer beschädigt, hat jedoch einen Bruch des Schädels verhindert. Für die Abwendung der Verletzungen der Halswirbelsäule war er unter den gegebenen biomechanischen und physikalischen Bedingungen nicht geeignet. Die hohen Reibwerte haben gegebenenfalls zur Risikoerhöhung beigetragen und einen möglichen - zumindest partiellen - Kraftabbau verhindert.

Es bleibt anzumerken, dass ein Helm grundsätzlich nicht in der Lage sein wird, die aufgetretenen Verletzungen bei einer Kollision mit der beim Unfallsprung vorliegenden Kollisionsenergie und der vorliegenden Biomechanik des Zusammenstoßes zu verhindern. Auch muss bezweifelt werden, ob Saltosprünge mit Sprungstelzen mit einem möglicherweise schweren Helm kontrolliert und wiederholbar überhaupt möglich sind.

4. Abschätzung des Unfall- und Verletzungsrisikos von Sportausübungen unter Zuhilfenahme von Federstelzen („Poweriser“)

Mit Federstelzen liegt a priori ein höheres Risiko für Unfälle und Verletzungen als bei Sportausübungen ohne diese Hilfsmittel vor. Zum einen wird durch die Überlegungen im Abschnitt 1 durch Verwendung elastischer Sprunghilfen höhere mechanische Energie generiert. Die Sprünge fallen höher aus und die Landungen erfolgen infolgedessen mit größerer Geschwindigkeit. Durch die Stelzen liegt der Körperschwerpunkt bereits im Stand ca. 30 cm höher als im Normalfall, was im Falle eines Sturzes zu einer größeren Sturzenergie und höheren Aufprallgeschwindigkeiten führt. Das Massenträgheitsmoment wird durch die Stelzen maßgeblich vergrößert, was eine deutliche Erhöhung der Schwierigkeit, etwa von Saltobewegungen, zur Folge hat. Hier kann ein direkter Vergleich mit dem

Trickskispringen gezogen werden, nur das beim Skispringen die Athleten auf einer schrägen Fläche landen und die Normalkräfte damit erheblich geringer ausfallen. Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass harter Boden bei den Aktionen mit den „Powerisern“ Verwendung findet und infolgedessen das Verletzungsrisiko bei möglichen Stürzen nicht durch Matten oder andere dämpfende oder Kraft abbauende Systeme reduziert wird.

Besonders kritisch scheint das Überspringen von bewegten Hindernissen zu sein, da Korrekturen von Distanzen zu Objekten deutlich schwieriger zu kontrollieren sind als bei entsprechenden motorischen Aktionen ohne Federstelzen. Auch sind Veränderungen der horizontalen Geschwindigkeit vom Stelzenspringer schwierig und nur wenig präzise zu bewältigen.

Mit der gegebenen Zurückhaltung ist das Risiko bei Saltosprüngen mit „Powerisern“ auch höher einzuschätzen als das Trampolinturnen.

Eine grobe und erste Abschätzung lässt das Unfall- und Verletzungsrisiko von Sportaktivitäten mit Federstelzen deutlich vor vergleichbaren Aktivitäten ohne solche Hilfsmittel aufscheinen. Insbesondere wenn Flüge mit Salti und vor allem Vorwärtssalti (ohne Blickkontakt zum Boden bei der Landung) gekoppelt werden und möglicherweise über bewegte Objekte erfolgen, erfährt das Unfall- bzw. Versagensrisiko eine weitere Steigerung.

5. Abschätzung der Güte und Anpasstheit der Risikoeinschätzung der Wette durch das ZDF

Die Abschätzung des Risikos der Wette erfolgte durch eine frühe Integration des Arbeitsschutzmanagements in die Gestaltung der Wette und insbesondere in die Gestaltung der physikalischen Randbedingungen (z.B. Bodengestaltung). Der Wett-Test am 1.10.2010 wurde beim Sicherheitsingenieur angemeldet und bereits im Oktober 2010 ausführlich besprochen. Erst „nach eingehender Bewertung der Physik der Sprungtechnik und der Betrachtung der Athletik des Kandidaten wird der Wett-Test zugelassen“ (Task Force Wetten, dass..?: Dokumentation der Wette „Power-Jump“; Stand 20.12.2010, 3).

Eine Risikoabschätzung in Bezug auf die Präzision des Absprungortes bei zwei sich mit nicht exakt kontrollierter Geschwindigkeit aufeinander zu bewegenden Objekten

(Sprungstelzenspringer und Auto) ist den zur Verfügung gestellten Unterlagen nicht zu entnehmen. Da die Synchronisationsmarke (Ablaufmarke) bei 6,4 m nach Abfahrtort des Autos fixiert wurde, legt das Fahrzeug bei einer mittleren Geschwindigkeit von $6,2 \text{ ms}^{-1}$ bis zum Absprung des Athleten, der mit einer Geschwindigkeit von $4,2 \text{ ms}^{-1}$ anläuft, eine Strecke von 24,8 m zurück. Fährt dagegen das Auto mit $5,7 \text{ ms}^{-1}$ oder mit $6,6 \text{ ms}^{-1}$ (diese Geschwindigkeitsvariationen wurden bei verschiedenen Versuchen gemessen) erreicht es den Absprungort bei 22,8 m bzw. 26,4 m. Nur die Variation der Geschwindigkeit des Autos führt somit zur Spannweite der Fahrzeugposition am Absprungort von 3,6 m. Daraus ist abzuleiten, dass das Erreichen einer hinreichend präzisen Position ohne zusätzliche Anlauf- oder Kontrollmarken des dem Auto entgegenlaufenden Springers in hohem Maße risikobehaftet ist.

Im vorliegenden Fall scheint der Wettkandidat seinen präzisen Anlauf jedoch durch sehr viele Versuchswiederholungen so optimiert zu haben, dass eine Anzahl von gelungenen Versuchen vor der Sendung beobachtet wurden und folglich ein mögliches Risiko in Bezug auf die hinreichende Präzision des Absprungortes nicht hinterfragt wurde.

Die Risikoabschätzung resultierte nachvollziehbar aus der Beobachtung gelungener Sprungversuche und der Beobachtung, dass der Kandidat Anläufe, die offensichtlich nicht hinreichend präzise waren, frühzeitig abgebrochen hat.

Eine zusätzliche Mattenaufgabe auf dem Dach oder dem Heck des Fahrzeugs, wie sie in verschiedenen Tests und Proben verwendet wurde, hätte im vorliegenden Fall nicht zu einer Vermeidung des Unfalls geführt. Die Simulationsergebnisse weisen darauf hin, dass eine Erhöhung des Dachs des Fahrzeugs durch eine Matte die Situation möglicherweise weiter verschärft hätte.

6. Zusammenfassung und Bewertung

Bei dem Unfall handelt es sich um eine Verkettung von unglücklichen Umständen, wobei die Unfallursache eindeutig auf einen Bewegungsfehler des Kandidaten zurückzuführen ist. Ein technischer Fehler oder ein technisches Versagen von Hilfsmitteln konnte nicht festgestellt werden. Der Kandidat war nachweislich in der Lage, die geforderten Sprünge zu realisieren.

Die notwendigen und möglichen Sicherheitsmaßnahmen waren eingehalten. Ein anderer Boden (vergleiche Reibwert mit dem Helm) hätte den Unfall nicht verhindert und auch die Primärverletzung bei der Kollision mit dem Fahrzeug nicht vermeiden können.

Ob die Risikobeurteilung durch das ZDF hinreichend und genügend war, ist schwer zu beurteilen. Zumindest wurden die Wette und der Bewegungsablauf nachweislich auf Machbarkeit geprüft. Die athletische und koordinative Ausbildung des Wettkandidaten war zweifelsfrei gegeben. Ein zusätzlicher Mattenschutz am Fahrzeug hätte den Unfall nicht verhindern können.

Anhang

Bild 1: Vergleich des Absprungs bei dem Unfallsprung und dem gelungenen Sprung über einen Ford Puma

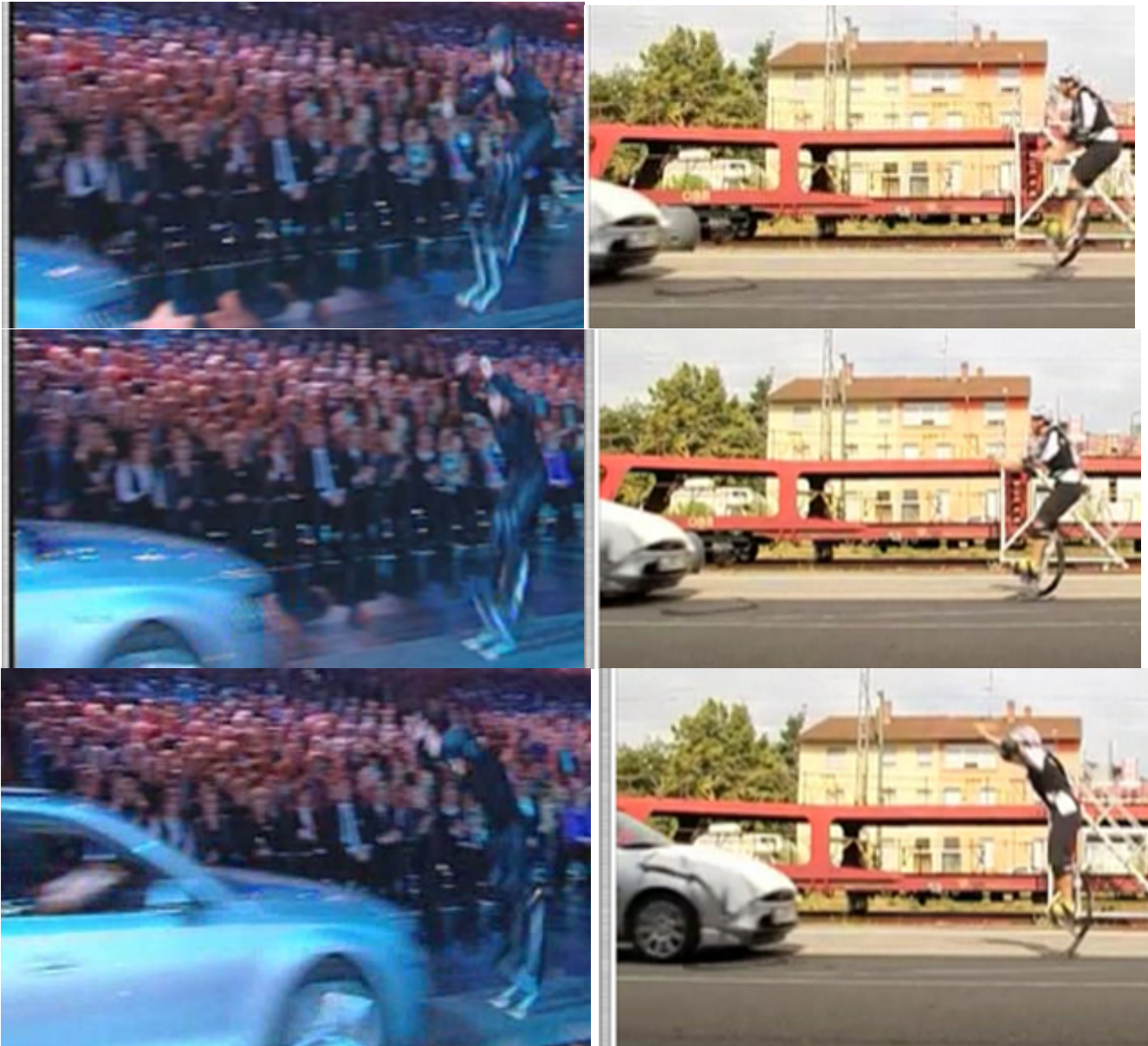


Bild 2: Bruch der Decke des verwendeten Helms

