



SANTA

Untersuchung und Simulation von
Skifahrerzusammenstößen zur
Verbesserung der Unfallprävention und
Verletzungsvermeidung auf Skipisten

Wien, 24.01.2025

SANTA

Untersuchung und Simulation von Skifahrerzusammenstößen zur Verbesserung der Unfallprävention und Verletzungsvermeidung auf Skipisten

Verfasst von

Christoph Leo (TU Graz, Institut für Fahrzeugsicherheit)

Nico Erlinger (TU Graz, Institut für Fahrzeugsicherheit)

Johanna Trauner-Karner (KFV)

Tabea Fian (KFV)

Im Auftrag von

Johanna Trauner-Karner (KFV)

Titelfoto

KI-generiertes Bild, erstellt mit ChatGPT am 24.01.2025

Inhaltsverzeichnis

1. Hintergrund und Ausgangslage	4
2. Methode	5
2.1. Kollisionen zwischen Skifahrern	6
2.2. Kollisionen mit festen Hindernissen	7
2.3. Bewertung der Verletzungsrisiken	8
3. Ergebnisse	9
3.1. Einfluss der Geschwindigkeit	9
3.2. Bedeutung von Anprallmatten	10
3.3. Risikounterschiede bei Kindern und Erwachsenen	11
3.4. Weitere Verletzungsrisiken	12
4. Empfehlungen zur Unfallprävention	14

1. Hintergrund und Ausgangslage

Skifahren zählt in Österreich zu den beliebtesten Wintersportarten, birgt jedoch erhebliche Risiken für Verletzungen und Unfälle. Jährlich müssen mehr als 20.000 Personen nach Unfällen auf österreichischen Skipisten im Krankenhaus behandelt werden. Knochenbrüche machen dabei mit 59 Prozent den größten Anteil der Verletzungen aus, gefolgt von Sehnen- und Muskelverletzungen (24 Prozent) sowie Verrenkungen und Prellungen (11 Prozent). Mit 67 Prozent aller Unfälle und 80 Prozent aller Behandlungstage im Wintersport entfällt der Großteil auf den alpinen Skisport, wie aktuelle Daten des KFV zeigen. Trotz moderner Sicherheitsausrüstung und besserer Pistenpräparierung bleibt Skifahren die mit Abstand risikoreichste Wintersportart. Insbesondere Kollisionen zwischen Skifahrern oder Zusammenstöße mit festen Hindernissen wie Bäumen und Seilbahnstützen stellen einen Unfallhergang dar, dessen Tendenz steigt. Der Anteil an Kollisionen beim Skifahren an allen Skiunfällen ist in den vergangenen 15 Jahren von 8 auf 15 Prozent angestiegen.

Das vom KFV und der TU Graz (Institut für Fahrzeugsicherheit, VSI) durchgeführte Projekt SANTA („Simulation und Analyse von Skifahrerzusammenstößen zur Verbesserung der Unfallprävention“) hat das Ziel, die Risiken bei Kollisionen auf Skipisten mittels Finite-Elemente-Menschmodellsimulationen systematisch zu untersuchen. Die Ergebnisse des Projektes SANTA unterstreichen die Bedeutung von Helmen, Anprallmatten und Geschwindigkeitsreduktionen. Durch die gewonnenen Erkenntnisse können neue Ansätze zur Unfallprävention und Verletzungsvermeidung abgeleitet werden.

2. Methode

Das Projekt SANTA untersucht Kollisionen beim Skifahren mithilfe von Finite-Elemente-Menschenmodellsimulationen und legt dabei den Fokus auf unterschiedliche Personengruppen. Dank dieser computergestützten Modelle können komplexe Unfallszenarien auf Skipisten äußerst realitätsnah abgebildet und zentrale Einflussfaktoren wie Geschwindigkeit, biomechanische Belastungen und Schutzmaßnahmen präzise analysiert werden. Die Verwendung von Finite-Elemente-Menschenmodellen ermöglicht es, anatomische und physische Unterschiede zu berücksichtigen. So kommen im Projekt SANTA neben einem Erwachsenenmodell (männlich und weiblich) auch Modelle für ein sechsjähriges Kind zum Einsatz. Jedes Modell wird in einer für die jeweilige Personengruppe typischen, vereinfachten Skiausrüstung und Körperpositionierung getestet. Diese Simulationen erlauben es unter anderem, die Wirkungsweise von Helmen oder Polsterungen (z.B. Schaumstoffmatten an Seilbahnstützen) in realistischen Kollisionssituationen zu erfassen und zu bewerten. Abbildung 1 zeigt, wie die Menschmodelle für Kinder und Erwachsene ausgerüstet und positioniert werden, um verschiedene Szenarien nachzustellen – beispielsweise eine Kollision zwischen zwei Skifahrern oder einen Sturz gegen ein festes Hindernis. Besonders interessant für die Forschung ist hierbei, wie sich die auf den Körper wirkenden Kräfte verteilen, ob und wo es zu kritischen Belastungsspitzen kommt und in welchem Ausmaß diese Belastungen durch geeignete Maßnahmen abgemildert werden können. Mithilfe dieser Erkenntnisse lassen sich spezifische Optimierungsansätze für Sicherheitsausrüstung, Pisteninfrastruktur und Verhaltensregeln entwickeln. Dadurch trägt das Projekt SANTA maßgeblich dazu bei, das Unfallrisiko beim Skifahren besser zu verstehen, präventive Maßnahmen abzuleiten und letztendlich die Zahl schwerer Verletzungen auf den Skipisten langfristig zu reduzieren.

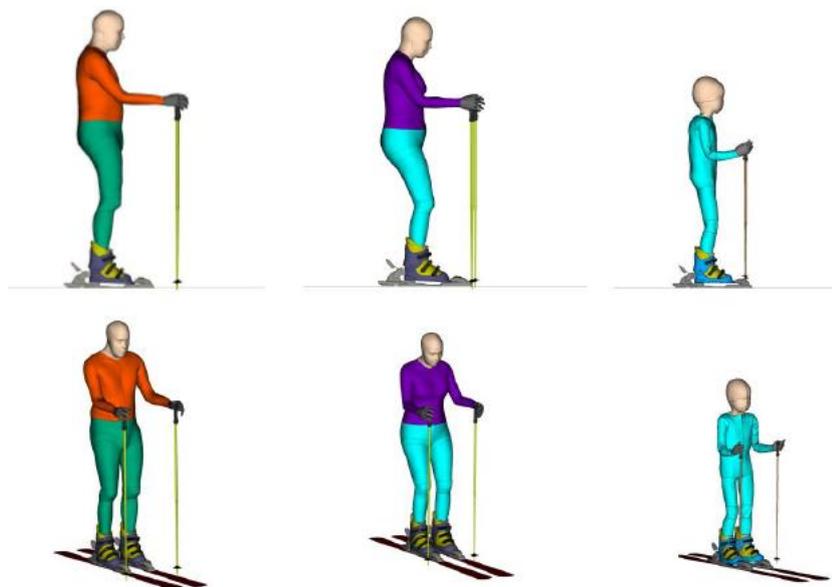


Abbildung 1: Positionierte Menschmodelle inkl. Skiequipment (links: Skifahrer, mitte: Skifahrerin, rechts: Kind). Quelle: TU Graz, Institut für Fahrzeugsicherheit (VSI).

Insgesamt werden 62 Unfallszenarien simuliert, die sich in vier Kategorien unterteilen lassen:

- Zusammenstoß zweier männlicher Skifahrer
- Zusammenstoß Skifahrer mit Skifahrerin
- Zusammenstoß Skifahrer mit 6-jährigem Kind
- Zusammenstoß 6-jähriges Kind mit Skifahrer

2.1. Kollisionen zwischen Skifahrern

Es werden 26 Simulationen zu Kollisionen zwischen Skifahrern durchgeführt. Diese beinhalten Kollisionen zwischen zwei erwachsenen Skifahrern bei Geschwindigkeiten von 30 und 40 km/h, Interaktionen zwischen einem fahrenden Skifahrer und einer stehenden Skifahrerin sowie Kollisionen zwischen einem Erwachsenen und einem Kind. Abbildung 2 illustriert ausgewählte Szenarien.

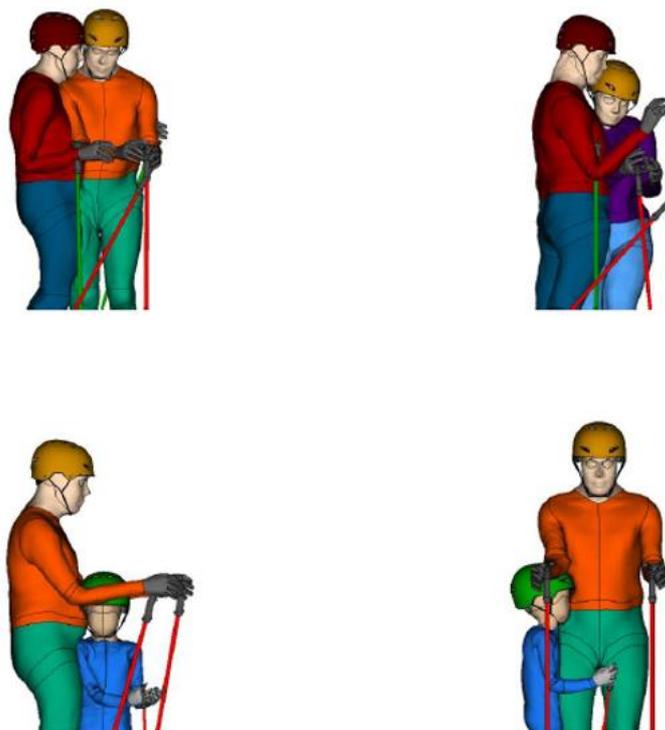


Abbildung 2: Auszugsweise Darstellung der Kollisions-Szenarien zwischen Skifahrern.

Quelle: TU Graz, Institut für Fahrzeugsicherheit (VSI).

Eine detaillierte Übersicht der untersuchten Szenarien ist in der Simulationsmatrix in Abbildung 3 dargestellt (insgesamt 26 Simulationen).

Partner 1	Partner 2	Winkel [°]	Geschwindigkeit [km/h]	Helm 1	Helm 2
50M	50M	90	30/40	nein	nein
50M	50M	90	30/40	ja	ja
50M	50M	90	30/40	ja	nein
50M	50M	90	30/40	nein	ja
50M	50F	90	30/40/50	nein	nein
50M	50F	90	30/40/50	ja	ja
50M	6yo	90	30/40/50	nein	nein
50M	6yo	90	30/40/50	ja	ja
6yo	50M	90	30/40/50	nein	nein
6yo	50M	90	30/40/50	ja	ja

Abbildung 3: Simulationsmatrix für Kollisionen zwischen Skifahrern.
Quelle: TU Graz, Institut für Fahrzeugsicherheit (VSI).

2.2. Kollisionen mit festen Hindernissen

Für diese Kategorie werden 36 Simulationen durchgeführt, die den Anprall an Bäume und Seilbahnstützen bei Geschwindigkeiten zwischen 10 und 40 km/h untersuchen. Dabei wird auch die Schutzwirkung von Helmen und Anprallmatten mit Dicken von 10 cm und 20 cm analysiert. Abbildung 4 zeigt exemplarische Simulationsergebnisse für Skifahrer und Kinder beim Kontakt mit einem festen Hindernis.

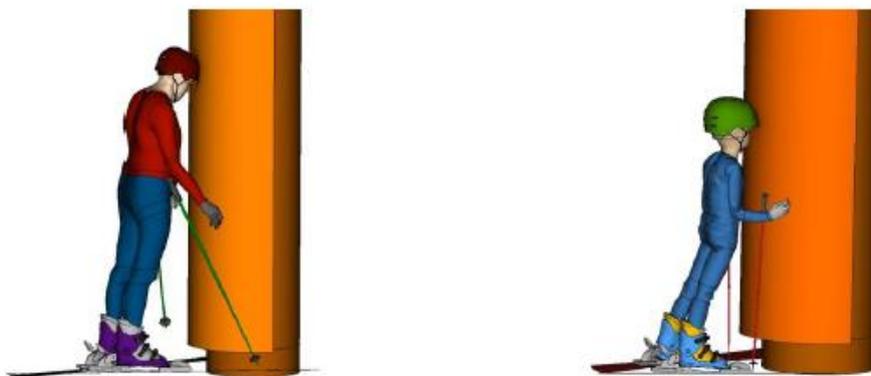


Abbildung 4: Darstellung des Anpralls des Skifahrers und des Kindes mit einem festen Hindernis (wie etwa einem Baum oder einer Seilbahnstütze). Quelle: TU Graz, Institut für Fahrzeugsicherheit (VSI).

In Abbildung 5 ist die Simulationsmatrix für Kollisionen zwischen Skifahrern und festen Hindernissen dargestellt (insgesamt 36 Simulationen).

Partner 1	Partner 2	Winkel [°]	Geschwindigkeit [km/h]	Helm	Anprallmatte
50M	Baum	90	10/20/30/40	nein	nein
50M	Baum	90	10/20/30/40	ja	nein
50M	Baum	90	10/20/30/40	nein	10 cm
50M	Baum	90	10/20/30/40	ja	10cm
6yo	Baum	90	10/20/30/40	nein	nein
6yo	Baum	90	10/20/30/40	ja	nein
6yo	Baum	90	10/20/30/40	nein	10 cm
6yo	Baum	90	10/20/30/40	ja	10 cm
6yo	Baum	90	10/20/30/40	ja	20 cm

Abbildung 5: Simulationsmatrix für Kollisionen zwischen Skifahrern und festen Hindernissen.
Quelle: TU Graz, Institut für Fahrzeugsicherheit (VSI).

2.3. Bewertung der Verletzungsrisiken

Die Analyse der Verletzungsrisiken erfolgt anhand spezifischer Kriterien. Es werden das Risiko von Schädel- und Gehirnverletzungen, das Risiko für mehr als drei Rippenbrüche sowie das Risiko für proximale Femurfrakturen (Oberschenkelbrüche) untersucht, siehe Abbildung 6.

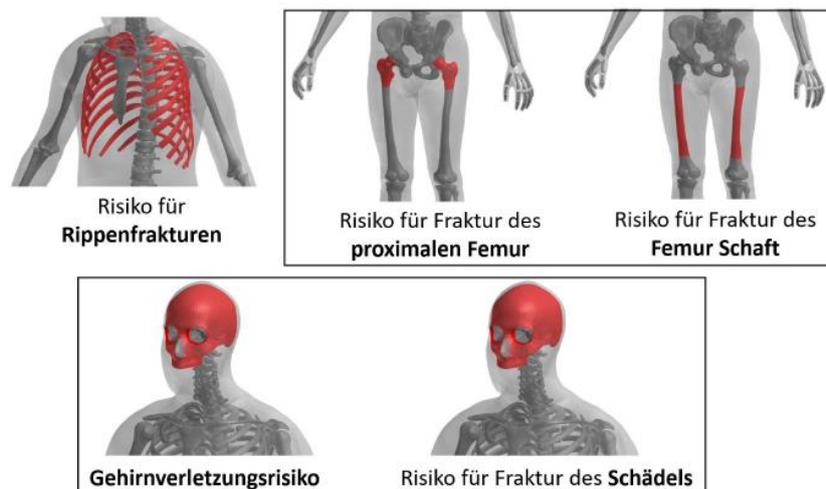


Abbildung 6: Verletzungsrisiken. Quelle: TU Graz, Institut für Fahrzeugsicherheit (VSI).

3. Ergebnisse

Die Ergebnisse der Menschmodellsimulationen zeigen, dass das Verletzungsrisiko bei Skifahrerkollisionen als auch bei Kollisionen mit starren Hindernissen mit steigender Geschwindigkeit zunimmt, wobei insbesondere Kopfverletzungen durch den Einsatz von Helmen signifikant reduziert werden können. Zudem bieten Anprallmatten zusätzlichen Schutz, insbesondere bei höheren Geschwindigkeiten. Die Geschwindigkeit beeinflusst auch das Verletzungsrisiko für andere Körperregionen (Rippen und Oberschenkel) in bestimmten Unfallszenarien.

3.1. Einfluss der Geschwindigkeit

Die durchgeführten Menschmodellsimulationen verdeutlichen in erster Linie den starken Einfluss der Kollisionsgeschwindigkeit auf das Verletzungsrisiko – insbesondere für Kopfverletzungen. Sowohl bei Zusammenstößen zwischen Skifahrern als auch bei Anprallen an starre Hindernisse steigt das Kopfverletzungsrisiko mit zunehmender Geschwindigkeit teils drastisch an. Dies zeigt sich zum Beispiel daran, dass bei einer Kollision ohne Helm mit 40 km/h das Kopfverletzungsrisiko deutlich höher ist als bei 20 km/h – und dass sich eine weitere Steigerung der Geschwindigkeit auf 50 km/h noch gravierender auswirken kann. Eine Verringerung der Geschwindigkeit wirkt folglich unmittelbar risikomindernd und senkt sowohl das Risiko für Schädelbrüche als auch für Gehirnverletzungen erheblich. Neben der Geschwindigkeit hat das Tragen eines Helms einen entscheidenden Einfluss auf die Wahrscheinlichkeit von Kopfverletzungen. In allen untersuchten Szenarien konnte durch den Helmeinsatz das Risiko signifikant reduziert werden. Allerdings ist zu beachten, dass bei Kollisionen zwischen unterschiedlich großen Personen – beispielsweise einem erwachsenen Skifahrer und einem Kind – die Körperregionen unterschiedlich belastet werden. Kinder weisen vor allem bei Frontalkollisionen mit höheren Geschwindigkeiten ohne Helm ein sehr hohes Kopfverletzungsrisiko auf, während bei Erwachsenen das Risiko teils geringer bleibt oder andere Verletzungsregionen (z. B. Rippen oder Oberschenkel) relevanter werden können. Umgekehrt wurde in einigen Fällen für stehende Erwachsene auch bei relativ geringer Geschwindigkeit ein nennenswertes Risiko für Kopfverletzungen festgestellt, wenn sie ohne Helm getroffen wurden und die Kollision ungünstig verlief.

Prallt ein Erwachsener Skifahrer mit über 30 km/h auf ein Kind liegt das Risiko einer Schädelfraktur beim Kind trotz Helm immer noch zwischen 20 und 25 Prozent. Bei unter 30km/h ist das Risiko deutlicher geringer (unter 5 Prozent), siehe Abbildung 7.

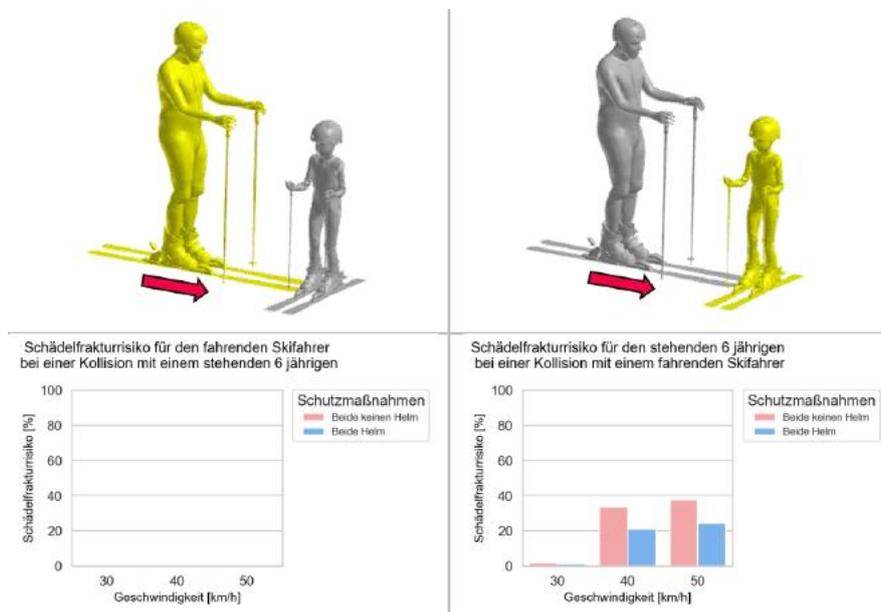


Abbildung 7: Ergebnisse für einen Zusammenstoß zwischen einem Skifahrer und einem Kind (links Verletzungsrisiko für den fahrenden Skifahrer und recht Verletzungsrisiko für das stehende Kind). Quelle: TU Graz, Institut für Fahrzeugsicherheit (VSI).

3.2. Bedeutung von Anprallmatten

Eine wichtige zusätzliche Schutzmaßnahme stellt die Verwendung von Anprallmatten an starren Hindernissen wie Bäumen oder Seilbahnstützen dar. Ohne jede Dämpfung wurden in den Simulationen bei höheren Geschwindigkeiten (30–40 km/h) für Erwachsene wie auch für Kinder Kopfverletzungsrisiken von nahezu 100 Prozent ermittelt, sofern kein Helm getragen wurde. Selbst ein Helm allein kann diese Risiken nur bedingt abfangen, während eine ausreichend dicke Anprallmatte – insbesondere in Kombination mit einem Helm – die Aufprallkräfte stark reduziert und somit das Kopfverletzungsrisiko auf unter 30 Prozent senken kann. Bei Kindern macht sich dieser Effekt besonders bemerkbar, da ihr Risiko ohne Schutzmaßnahmen sehr hoch ist: Für sie kann die Verdopplung der Mattenstärke (z. B. von 10 cm auf 20 cm) in Verbindung mit einem Helm den Unterschied zwischen einem kritischen und einem wesentlich sichereren Aufprall bedeuten. Abbildung 8 zeigt die Kollisionen mit festen Hindernissen und das resultierende Schädelfrakturrisiko für den Skifahrer und das Kind.

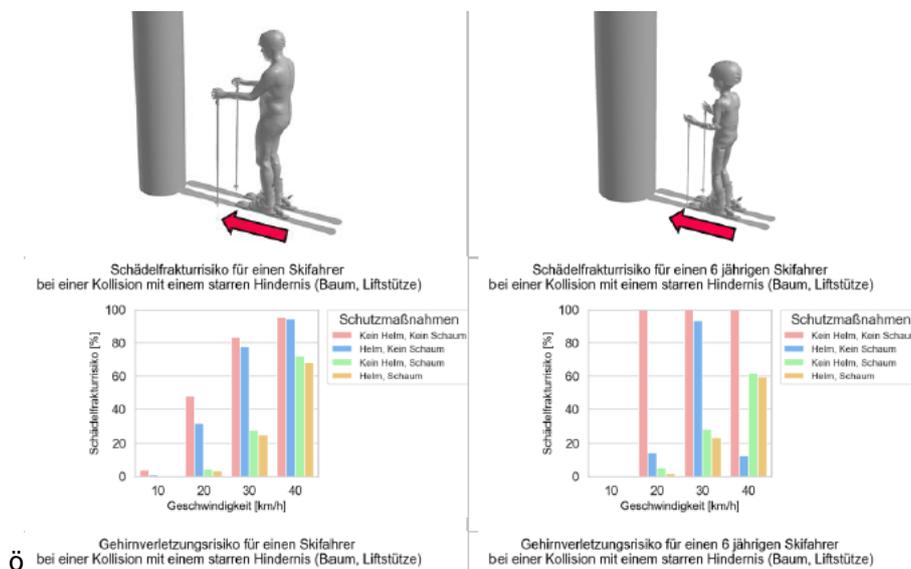


Abbildung 8: Ergebnisse für einen Zusammenstoß mit einem festen Hindernis (links Verletzungsrisiko für den Skifahrer und recht Verletzungsrisiko für das Kind). Quelle: TU Graz, Institut für Fahrzeugsicherheit (VSI).

3.3. Risikounterschiede bei Kindern und Erwachsenen

Kinder sind aufgrund ihrer geringeren Körpermasse besonders verletzungsgefährdet. Ohne Helm liegt das Kopfverletzungsrisiko bei Zusammenstößen mit Erwachsenen bei bis zu 100 Prozent, siehe Abbildung 9.

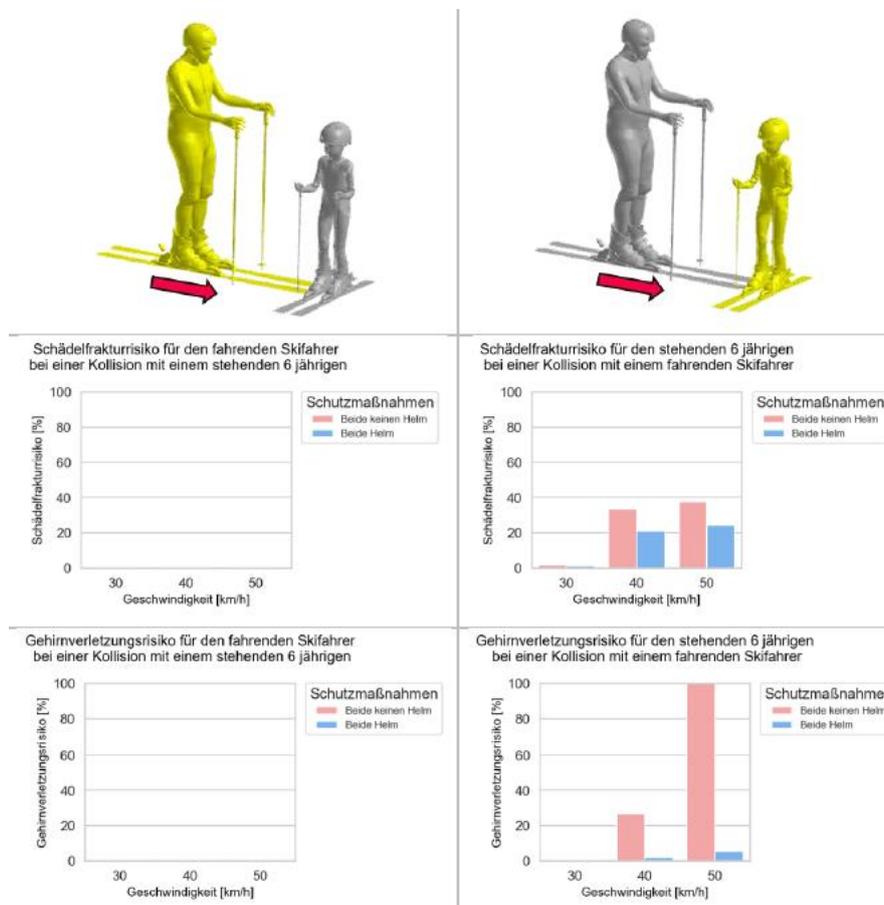


Abbildung 9: Ergebnisse für einen Zusammenstoß zwischen einem Skifahrer und einem Kind (links Verletzungsrisiko für den fahrenden Skifahrer und rechts Verletzungsrisiko für das stehende Kind). Quelle: TU Graz, Institut für Fahrzeugsicherheit (VSI).

3.4. Weitere Verletzungsrisiken

Rippen- und Oberschenkelverletzungen treten häufig bei Zusammenstößen mit stehenden Personen auf. Besonders betroffen sind Frauen, die mit fahrenden Skifahrern kollidieren.

Zusammenfassend zeigen die Ergebnisse, dass das Verletzungsrisiko im alpinen Skisport maßgeblich durch drei Faktoren beeinflusst wird: (1) Geschwindigkeit, (2) das Tragen eines Helms und (3) der Einsatz zusätzlicher Dämpfungseinrichtungen wie Anprallmatten an Hindernissen. Abbildung 11 zeigt einen Auszug des Zusammenstoßes zwischen einem Skifahrer und einem Kind aus den VIVA+ Modellen, die im Projekt zum Einsatz kommen.

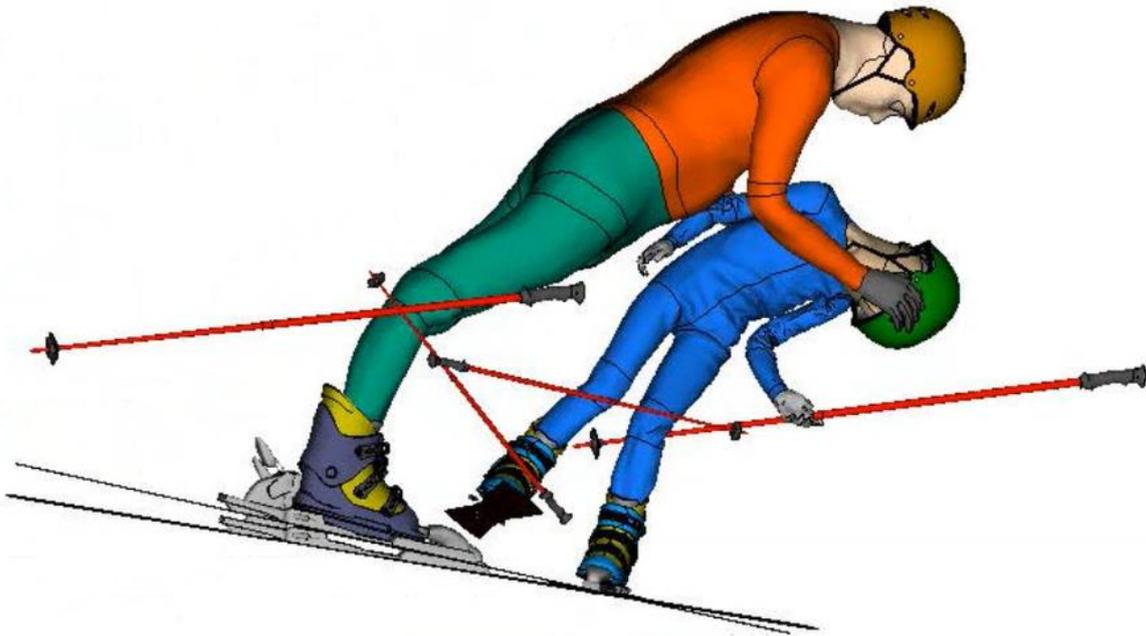


Abbildung 11: Auszug aus den Simulationen.
Quelle: TU Graz, Institut für Fahrzeugsicherheit (VSI).

4. Empfehlungen zur Unfallprävention

Basierend auf den Ergebnissen des SANTA-Projekts lassen sich folgende erste Maßnahmen hinsichtlich Fahrverhalten ableiten:

- Immer einen geprüften Helm tragen. Der Helm muss gut sitzen und darf nicht wackeln. Das KFV empfiehlt, den Helm nach spätestens fünf Jahren zu ersetzen, auch wenn noch keine defekten Stellen feststellbar sind. Grund ist die Alterung der Kunststoffe, deren Eigenschaften sich im Laufe der Zeit verändern.
- Mit Skiern und Snowboards erreicht man Fahrgeschwindigkeiten von 50 km/h und mehr. Ein Aufprall auf ein stehendes Hindernis ist bei diesem Tempo vergleichbar mit einem Sturz aus zehn Metern Höhe. Der Reaktionsweg beträgt bei dieser Geschwindigkeit rund zwölf Meter.
- Zahlreiche Unfälle passieren, weil manche das Tempo beim Ski- oder Snowboardfahren unterschätzen. Eine angepasste Fahrweise ist besonders wichtig.
- Die Einhaltung der Pistenregeln ist essenziell. Zudem sollte man sich mit den Pistenverhältnissen vertraut machen.
- Brems-, Ausweich- und Falltechniken sollten im Vorfeld trainiert werden. Auch Kinder können diese Techniken lernen. Übungen können unkompliziert in den herkömmlichen Tagesablauf beim Skifahren eingebaut werden.



Wussten Sie schon?

Eine Erhöhung der Anprallmattendicke von 10 cm auf 20 cm kann das Kopfverletzungsrisiko bei 40 km/h um bis zu 50 Prozent reduzieren.



KfV (Kuratorium für Verkehrssicherheit)

Schleiergasse 18

1100 Wien

T +43-(0)5 77 0 77-DW oder -0

F +43-(0)5 77 0 77-1186

E-Mail kfv@kfv.at

www.kfv.at

Medieninhaber und Herausgeber: Kuratorium für Verkehrssicherheit

Verlagsort: Wien

Herstellung: Eigendruck

Grafik: TU Graz, Institut für Fahrzeugsicherheit (VSI)

Copyright: © Kuratorium für Verkehrssicherheit, Wien. Alle Rechte vorbehalten.

SAFETY FIRST!