

VSI



© TU Graz

Evaluation of the Impact of C2X Systems to the Accident Severity in Motorcycle Accidents

Masterarbeit zur Erlangung des akademischen Grades
Diplom-Ingenieur

Masterstudium Wirtschaftsingenieurwesen-Maschinenbau
Eingereicht an der

Technischen Universität Graz

Betreuer: Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Hermann Steffan
Institut für Fahrzeugsicherheit

Graz, November 2015

EVALUATION OF THE IMPACT OF C2X SYSTEMS TO THE ACCIDENT SEVERITY IN MOTORCYCLE ACCIDENTS

Bitte beachten: In Kopfzeile Felder aktualisieren! Geht am schnellsten, wenn man in Druckvorschau wechselt – durch Strg+A+F9 werden Kopfzeilen nicht aktualisiert:

Billicsich, Sophie Dorothea

| | | |
|-------------------|---------------------------------|---------------|
| Acronym: | C2X in Motorcycle Accidents | |
| Project Ref: | [Project]. | |
| Client: | Client | |
| Project Partners: | FTG – TU Graz | |
| Date: | 24.11.2015 | |
| Pages: | 57 | |
| Confidentiality: | External | |
| Version: | Final | |
| Keywords: | V2V; C2X; Motorcycle; Accidents | |
| Abstract: | [Kurzfassung] | |
| Approvals: | Project Manager: | Ernst Tomasch |
| | Reviewer: | Ernst Tomasch |

The information contained herein is the property of the Vehicle Safety Institute – Graz University of Technology and does not necessarily reflect the views or policies of the [Client] for whom this report was prepared. Whilst every effort has been made to ensure that the matter presented in this report is relevant, accurate and up-to-date, Vehicle Safety Institute at Graz University of Technology cannot accept any liability for any error or omission, or reliance on part or all of the content in another context.

AFFIDAVIT

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources/resources, and that I have explicitly indicated all material which has been quoted either literally or by content from the sources used. The text document uploaded to TUGRAZonline is identical to the present diploma thesis.

Date

Signature

ACKNOWLEDGEMENT

Ich bedanke mich bei meinen Eltern, die diesem Ende mit übermenschlicher Geduld entgegen gewartet haben.

Ich bedanke mich bei meinem langjährigen Freund Meinhart, nicht nur dafür, dass er immer hinter mir steht, sondern vielmehr dafür, dass er mir immer zur Seite steht, als Partner auf gleicher Augenhöhe, wir unterstützen uns gegenseitig und bringen das Beste im Anderen zum Vorschein.

Außerdem bedanke ich mich bei meinem Bruder Thomas, dafür dass er mir ein Vorbild war und ich mich zu Höchstleistungen getrieben habe im Bestreben ein bisschen zu sein wie er.

Weiter bedanke ich mich bei Ernst Tomasch für die Betreuung bei der Arbeit und beim VSI, sowie dem Kurienrat des Zweiges Maschinenbau/Wirtschaft für die Ermöglichung dieser Arbeit, die durch die Feldversuche sehr spannend und abwechslungsreich war.

ABSTRACT

The possibility to implement Advanced Driving Assistance Systems (ADAS) into motorcycle, referred to ARAS (Advanced Rider Assistance Systems), compared to passenger cars might be more difficult. On behalf of ARAS, the On-Bike Information Systems (OBIS) respectively C2X systems offer potential to reduce the amount of motorcycle casualties.

Within this study the effectiveness of C2X systems in terms of motorcycle accident prevention is analyzed.

The method was divided into two steps. At first the operating range of a C2X system was tested physically at different sites e.g. urban, rural areas and on motorways. The focus was set to the range of an unbroken continuous communication between two passenger cars. Based on the obtained results, for the different terrains, the so called virtual pre-crash simulation was performed. Thus fully reconstructed accident cases with motorcycle participant were analyzed in a case by case study with the assumption that the participating vehicles are equipped with a C2X system. Different intervention strategies by the driver according to a warning signal due to the C2X system were evaluated.

Based on the field tests it was found that the operation distance with a continuous communication between the vehicles is influenced significantly from the investigation site. In urban areas the communication distance was up to 369 m at maximum whereas in rural areas 479 m and on motorways a communication distance of 1,118 m were feasible. For the further analysis of motorcycle accidents the 25th percentile operation distance was used to guarantee an uninterrupted signal between the vehicles.

Within the analyzed accidents the conflict point was identified at a maximum distance of up to 230 m. That indicates that the conflict starts within the C2X system communication range. The drivers can be alerted to take care of the situation. In total approximately 80 % of the accidents could have been prevented if the participants would take an appropriate action i.e. braking.

KURZFASSUNG

Fahrassistenzsysteme für Motorräder sind nicht so verbreitet wie es vielleicht im Automobil der Fall ist. Neben ARAS (Advanced Rider Assistance Systems) wird den sogenannten OBIS (On-Bike Information Systems) bzw. C2X ein hohes Potential zur Unfallreduktion unterstellt, da Motorräder in vielen Fällen leicht übersehen werden. In welchem Ausmaß ein Potential zur Unfallvermeidung durch C2X besteht, wird in dieser Studie untersucht.

Zur Bewertung des Potentials von C2X Systemen für Motorräder wurde in einem ersten Schritt durch Fahrversuche mit zwei PKW die Übertragungreichweite eines C2X Systems evaluiert. Die Versuche wurden im Ortsgebiet, im Freiland und auf Autobahnabschnitten durchgeführt. Insbesondere lag hierbei der Fokus, ab welchem Zeitpunkt ein kontinuierliches Signal übertragen werden konnte. Im zweiten Schritt erfolgte mit der Methode der virtuellen Simulation der Pre-Crash Phase, die Evaluierung des möglichen Einflusses zur Vermeidung von Realunfällen. Bestehende Realunfälle mit Motorrädern wurden erneut simuliert, unter der Voraussetzung, dass ein C2X System in den beteiligten Fahrzeugen eingebaut war und ein Signalaustausch zwischen den Fahrzeugen stattgefunden hatte. Übertragen werden hierbei die Position und Geschwindigkeit der Fahrzeuge.

Die Reichweite des übertragenden Signals ist im hohen Ausmaß vom Testgebiet abhängig. Im Siedlungs- bzw. Stadtgebiet war die Reichweite des C2X Systems bis zu 369 m, im Freiland bis zu 479 m und auf Autobahnen wurde das Signal bis zu 1.118 m übertragen. Für die Analyse der Motorradunfälle wurde die 25. Perzentile der Reichweite verwendet, um ein ununterbrochenes Signal zwischen den Fahrzeugen zu gewährleisten. Bei den untersuchten Motorradunfällen war die größte Entfernung des Konfliktpunktes etwa 120 m.

Unter der Annahme unterschiedlicher Reaktionsmanöver würden sich beispielsweise im Ortsgebiet bis zu 51 % der Motorradunfälle vermeiden lassen, wenn auf den Konfliktpunkt entsprechend reagiert wird. Wird die Reichweite des C2X mitberücksichtigt, so wäre das Potential zur Unfallvermeidung bei etwa 80 %.

TABLE OF CONTENTS

| | | |
|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| 1 | INTRODUCTION | 1 |
| 2 | MOTIVATION | 2 |
| 3 | METHOD | 5 |
| <hr/> | | |
| 3.1 | Field Tests | 5 |
| 3.2 | Virtual simulation of the pre-crash phase | 6 |
| 4 | MATERIAL | 9 |
| 5 | RESULT | 10 |
| <hr/> | | |
| 5.1 | Field tests | 10 |
| 5.2 | Effectivity assessment | 11 |
| 6 | LIMITATIONS | 13 |
| 7 | SUMMARY | 14 |
| 8 | REFERENCES | 15 |
| A | APPENDIX | A-1 |
| <hr/> | | |
| A.1 | Potentieller Einfluss von C2X auf die Vermeidung von Motorradunfällen bzw. Reduktion der Verletzungsschwere | A-2 |
| A.2 | Analysis of Motorcycle Accidents using data of „Statistics Austria“ | A-11 |
| A.3 | Field Tests | A-18 |
| A.4 | Simulation | A-2 |

LIST OF FIGURES

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure 2-1 Evolution of Fatal / Severe Injured from 2002 – 2011 | 2 |
| Figure 2-2 Distribution of Fatal Injured Participants According to the Accident Type | 3 |
| Figure 2-3 Collision types at Junctions | 3 |
| Figure 3-1 Timeline of an Accident with C2X | 7 |
| Figure 3-2 Different Situations with C2X a) at a Junction b) Head on c) Following traffic | 7 |
| Figure 5-1 Measured Distances and Range of C2X | 11 |
| Figure 5-2 Frequency of analyzed Accident Types and possible Effectiveness of C2X | 12 |

LIST OF TABLES

| | |
|------------------------------------------------------------------------|----|
| Table 3-1 Scenarios for Field Tests | 6 |
| Table 5-1 Evaluation of the communication range of the used C2X system | 10 |

1 INTRODUCTION

This work is written as a full paper to be presented on the Transport Research Arena in April 2016. In appendix A1 a german version is documented which is going to be published in the conference proceeding of the VDI conference “10. VDI-Tagung "Fahrzeugsicherheit" 2015?” on 25. and 26. November 2015.

Further in appendix A2 an analysis of motorcycle accidents using data of “Statistics Austria” is shown. Afterwards more results can be found in appendix A3-A4.

2 MOTIVATION

The goal of the European Commission is to halve the number of fatalities on European roads by 2020 [1]. In the White Paper of the decade 2000 to 2010 the same goal was stated [2]. Between the time frame from 2000 to 2010 the number of road fatalities was reduced from 57,000 to around 31,500 [3]. In 2014, almost 25,700 road deaths were reported in the European Union. This number is slightly lower than planned [4]. Beside of the goals of the European Commission some member states e.g. Austria have developed their own road safety programs with similar targets [5]. About 23 % of the fatally or severely injured persons are motorcycle riders or pillion passengers (Statistics Austria, 2015). In Austria the number of fatally and severely injured persons in road accidents is reduced over the past years (Figure 2-1). It seems that measures implemented to increase the road safety were more beneficial for passenger cars. Between 2001 and 2011 the number of fatalities on Austrian roads were nearly halved whereby the number of fatal PTW riders and pillion passenger remains quite constant. The most hazardous situations for motorcyclists are single vehicle accidents followed by intersections accidents and head-on collisions (Figure 2-2). At intersections the main risk for powered two-wheelers (PTW) is to be overseen by the car driver [6]. Especially when the participating vehicle is turning to left (Figure 2-3). Further junction accidents are identified when the vehicles are approaching without turning.

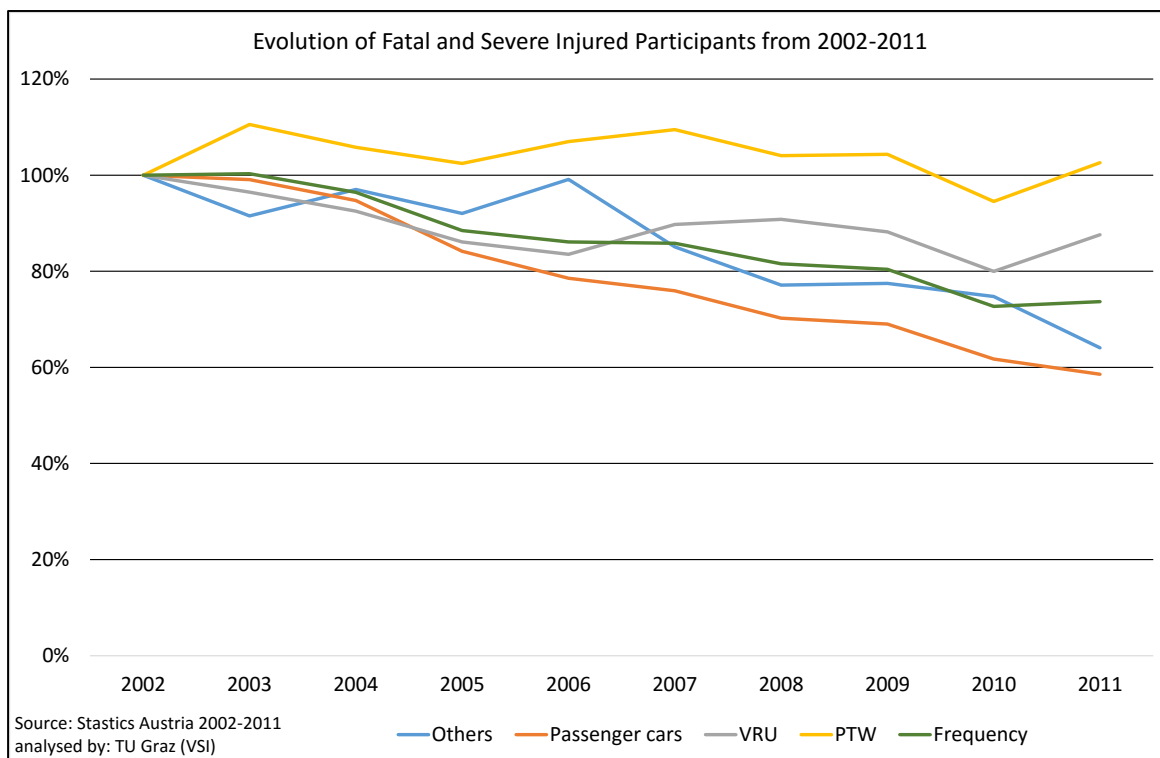


Figure 2-1 Evolution of Fatal / Severe Injured from 2002 – 2011

Motivation

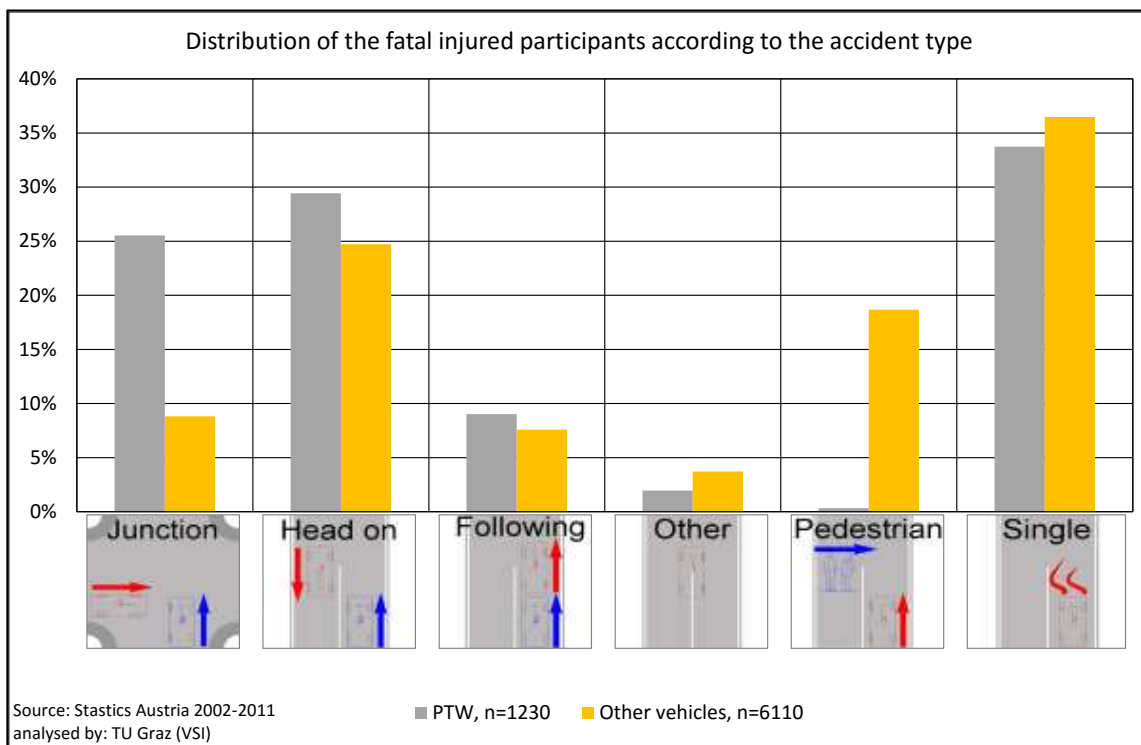


Figure 2-2 Distribution of Fatal Injured Participants According to the Accident Type

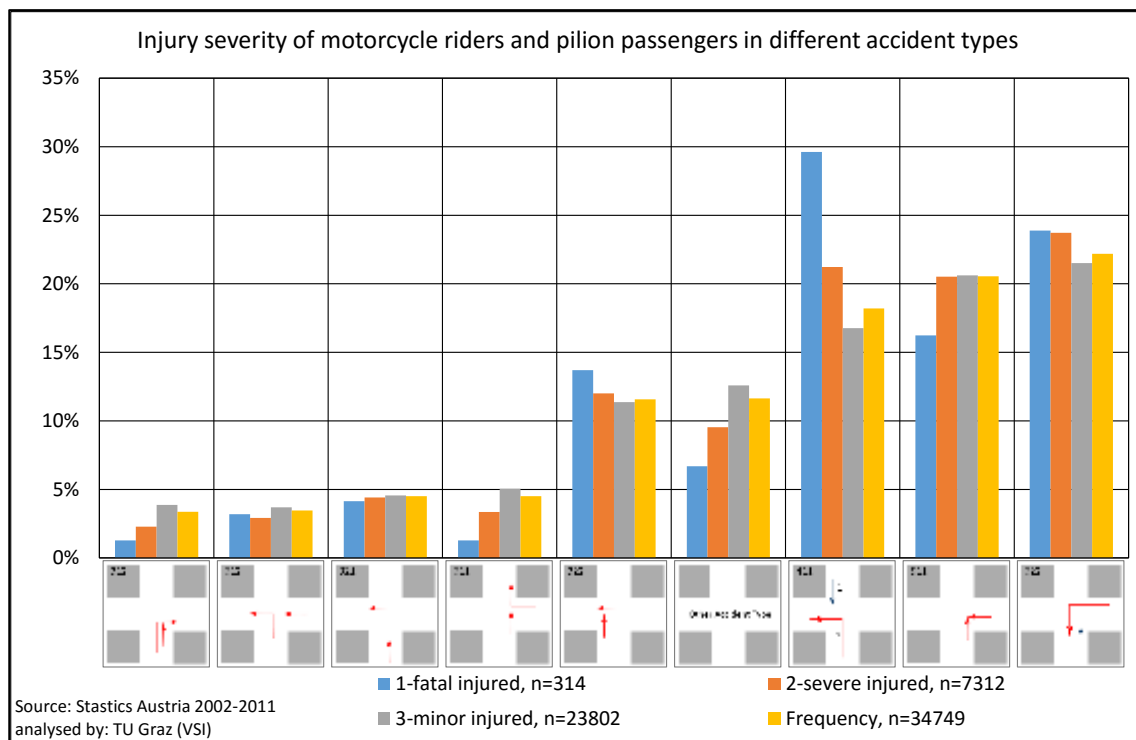


Figure 2-3 Collision types at Junctions

One measure to avoid accidents or mitigate the injury severity are ADAS for passenger cars or ARAS for motorcycles. ADAS for example use a combination of cameras, sensors and radar units to achieve a 360° view of its surroundings (ACC; Blind-Spot-Detector and others), but only C2X has the ability to observe hazards out of range of view [7]. Specifically there, C2X has potential, that other system lack of, since most state-of-art safety systems can also see obstacles out of viewing range. [8]

3 METHOD




The method was split in two steps. At first, field tests were performed to quantify the range and reliability of the C2X system. Furthermore within reconstructed motorcycle accident cases the pre-crash phase was used to evaluate the possible effectiveness of C2X systems to prevent motorcycle accidents or mitigate the consequences of a crash.

3.1 Field Tests

In the field tests, two passenger cars were equipped with a C2X system consisting of software and hardware from the companies DEWEtron, CohdaWireless and DEWEsoft. For the data transmission the ITS-G5 (Intelligent Transport Systems) standard was used. The measurement system consists of an inertial measurement unit, a GNSS (Global Navigation Satellite System) positioning system with a Forsberg GPS (Global Positioning System) receiver and a position correcting method using online correction data, transmitted by GSM (Global System for Mobile Communications) communication [9]. Passenger cars were used because the C2X systems could not be fitted on a motorcycle. It was assumed that the results would be similar if the system is equipped in a motorcycle.

The first passenger car was called EGO and was able to receive and send messages. The second passenger car was called TARGET and was only capable of transmitting messages. The EGO vehicle was stationary or moving and the TARGET vehicle was always moving in different scenarios (Table 3-1). These scenarios included traffic in the same direction, traffic with cars proceeding in the opposite direction and junction situations, with variation of speed and test site. The field tests were performed at urban or rural sites and on motorways. The objective of the field tests was to evaluate the range of the system at different sites. Mainly it should be evaluated at which time or distance a continuously signal was transmitted between the EGO and TARGET car. The messages transmitted, include the position of the vehicle and the velocity.

Table 3-1 Scenarios for Field Tests

| | Rural | Urban | Motorway |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|----------|
|  | x | | x |
|  | x | | x |
|  | | x | |

3.2 Virtual simulation of the pre-crash phase

For the impact assessment of C2X systems a virtual simulation method called “pre-crash-simulation” was used. In this method real accident scenarios are rerun within a virtual forward simulation. Each scenario is simulated at least twice. The first simulation is based on accident data such as vehicle damage, rest position of the participants, trajectories, photogrammetric pictures, etc. The accidents were reconstructed using reconstruction standards [10] and the software PC Crash. This basic simulation is called “Baseline Simulation”. From this simulations, parameters like pre collision velocity, TTC (Time To Collision) and DTC (Distance To Collision) from the point of conflict or from the point of reaction, trajectory, etc. were calculated.

In a second step a C2X system were equipped to the vehicles (passenger car, motorcycle) of the baseline simulation. The baseline was simulated again and called the “System Simulation”.

In a single case-by-case study the virtual pre-crash simulation method was applied (Figure 3-1). If now a vehicle would be in the range (shown as a circle or arch in Figure 3-2) of the C2X system an appropriate information is provided to the other vehicle. In the system simulation it was assumed that the driver or rider will react with different strategies. Subsequent driver/rider reaction were considered:

- Emergency brake

It was assumed that after a reaction time of 0.8 s from the point of the warning signal an emergency brake until was applied

- Keep stationary

In junction situation, the driver of the passenger car stopped, but then pulls out to soon, because the oncoming motorcycle with right of the way was overseen [11]. For this event it was assumed that the non-priority vehicle would have received an information and keeps stationary until the motorcycle has passed.

Method

- Reduce Speed w/o any following action

This reaction is mostly appropriate in accidents in lateral direction, e.g. when overtaking while being overtaken, it is advised to reduce the speed equal to the speed of the vehicle moving ahead and change lane when the situation is clear.

- Change lane respectively not change lane

The most common situation for this reaction is without enough visibility, which takes place very often. In situations without enough visibility the participants should be provided with the information that on-coming traffic is present and the overtaking event is prevented.

Subsequently the potential of the C2X to avoid or at least mitigate the injury severity of accidents can be identified. In total 103 accidents were analyzed. The assessment of the potential of a C2X system was done by a pre- and post-evaluation of the baseline and system simulation results. For the mitigation assessment the collision speed was used.

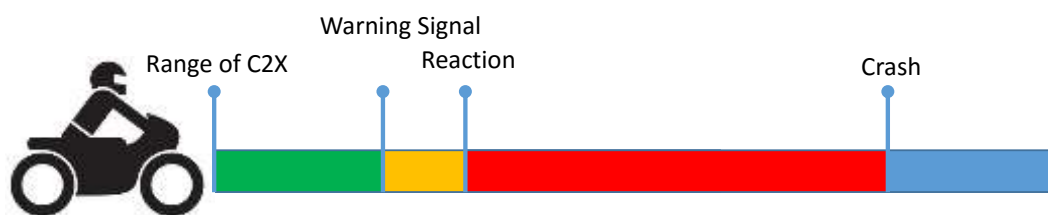


Figure 3-1 Timeline of an Accident with C2X

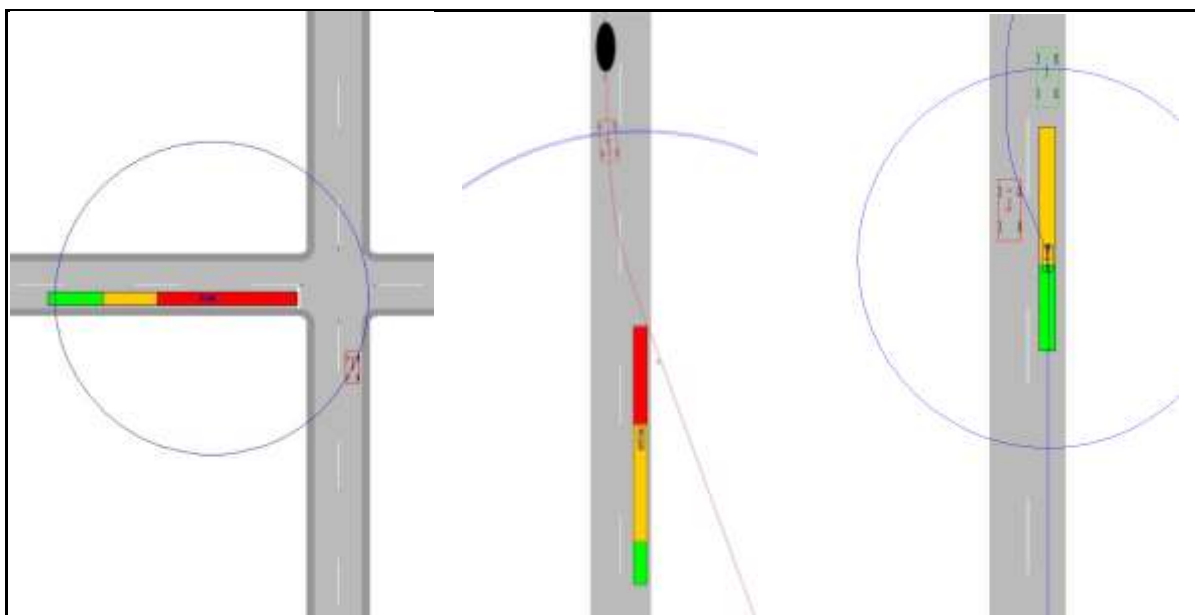


Figure 3-2 Different Situations with C2X a) at a Junction b) Head on c) Following traffic

Figure 3-2 a) to c) show three different traffic situations with the range of the C2X, the reaction time and the braking maneuver according to Figure 3-1. In Figure 3-2 a) is a junction scenario given. In this example the motorcycle was on the priority road and therefore not slowing down when approaching the junction. The passenger car was accelerating and would cross the junction. Within this situation the C2X could provide a warning signal to the motorcyclist. The motorcycle rider fulfills an emergency brake assuming an appropriate reaction according to the signal. Figure 3-2 b) shows a head-on situation. The car driver loses control of his vehicle due to an oil spilt on the road. The C2X system provide a warning signal to following traffic. In Figure 3-2 c) an overtaking situation is shown. The objective in this situation is to prevent the motorcycle to overtake.

4 MATERIAL

The in-depth database CEDATU (Central Database for In-Depth Accident Study) was the source for the basic data on real accidents which were then analyzed. [12,13] Each individual traffic accident was reconstructed using the traffic accident reconstruction program PC Crash and saved on CEDATU with all accident related data. Information on initial speed, collision speed, reaction times, travel times and vehicle trajectories etc. were calculated on the basis of accident reports which consist of reports such as police reports and medical reports, attached photos and photogrammetric analyses of the accident site.

The data field basis of CEDATU is the STAIRS protocol (Standardisation of Accident and Injury Registration System) [14] which was developed over the course of an EU project with the same name. Building on the STAIRS protocol, data fields were developed using information from the EU projects PENDANT (Pan-European Coordinated Accident and Injury Databases) [15], RISER (Roadside Infrastructure for Safer European Roads) [16] and ROLLOVER (Improvement of rollover safety for passenger vehicles). [17] Furthermore, the data fields from national statistics were integrated to enable a direct connection to the latter. [18]

5 RESULT

5.1 Field tests

In total 35 measurements in the field test were performed. In general it can be stated that the range apparently depends on the test site. At urban areas the signal range was up to 369 m, at rural areas 479 m and on motorways up to 1,118 m (Table 5-1).

At rural areas, low signal interferences could be observed which is attributed the low-rise buildings and the wide agriculture areas. On the motorway the signal is reflected by noise barriers which leads to an increase of the signal range. This effect can also be observed for urban terrains, were the signal is reflected by houses when the vehicles are in the same street, or shield when driving around one or even two corners. For the analysis of the potential of a C2X system to avoid an accident or at least mitigate the injury severity the range of the system was evaluated at the 25th percentile to guarantee a continuous communication.

Table 5-1 Evaluation of the communication range of the used C2X system

| | 25th Percentile | Median | Longest evaluated range |
|----------|-----------------|--------|-------------------------|
| Urban | 82.5 m | 105 m | 369 m |
| Rural | 225 m | 268 m | 479 m |
| Motorway | 516 m | 633 m | 1,118 m |

According to Figure 5-1 the DTC from the conflict point is in almost all cases lower than the range of the C2X in rural areas. In urban areas only two values are beyond the range of the C2X. Hence in most accidents the range of the C2X exceeds the distance between the vehicles at the conflict point. Subsequently the C2X is able to provide warnings right in time to prevent crashes. It was not taken into account that the range even extends if other vehicles with C2X are present, which can process the signal further.

Result

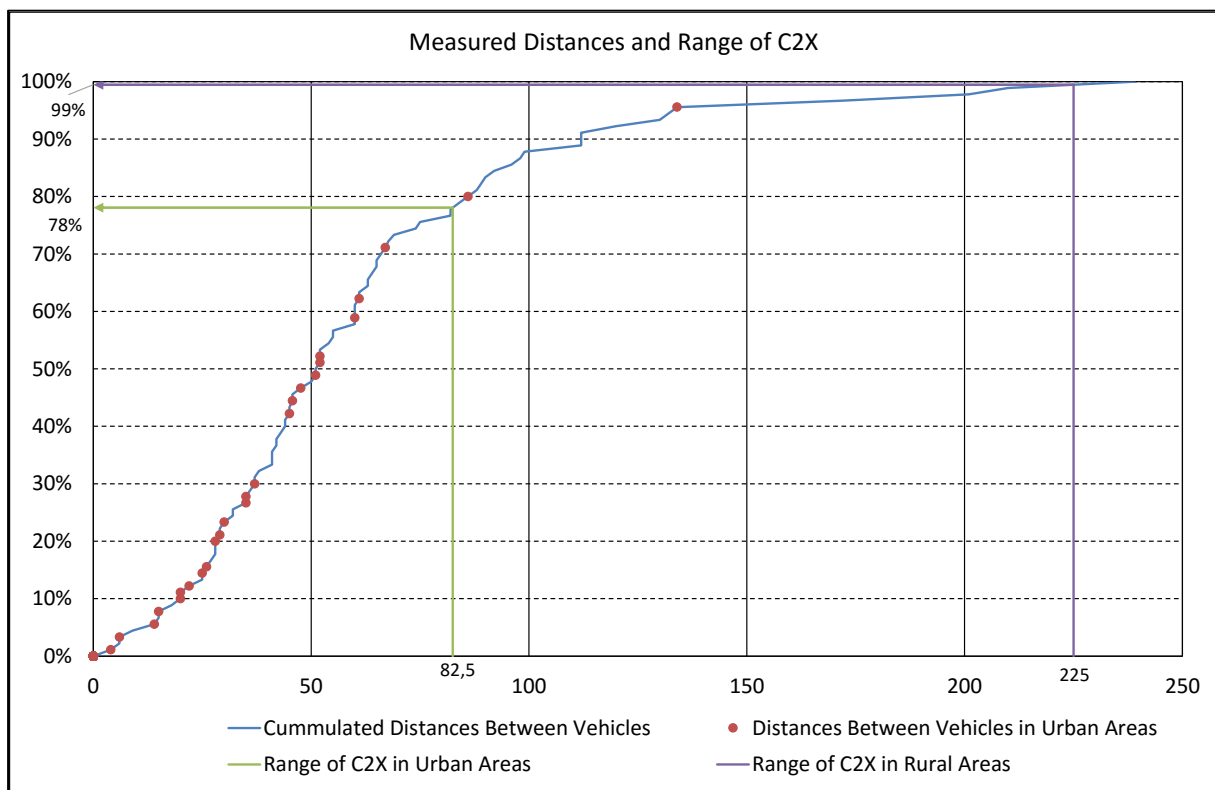


Figure 5-1 Measured Distances and Range of C2X

5.2 Effectivity assessment

The share of prevented accidents could be calculated of approximately 80%. Figure 5-2 shows the prevention rate compared to the different accident situations. Hence nearly all accidents at junctions, the most common accident type after single vehicle accidents, could have been prevented it almost all cases. Only vehicles were analyzed therefore no effectivity in pedestrian accidents was observed.

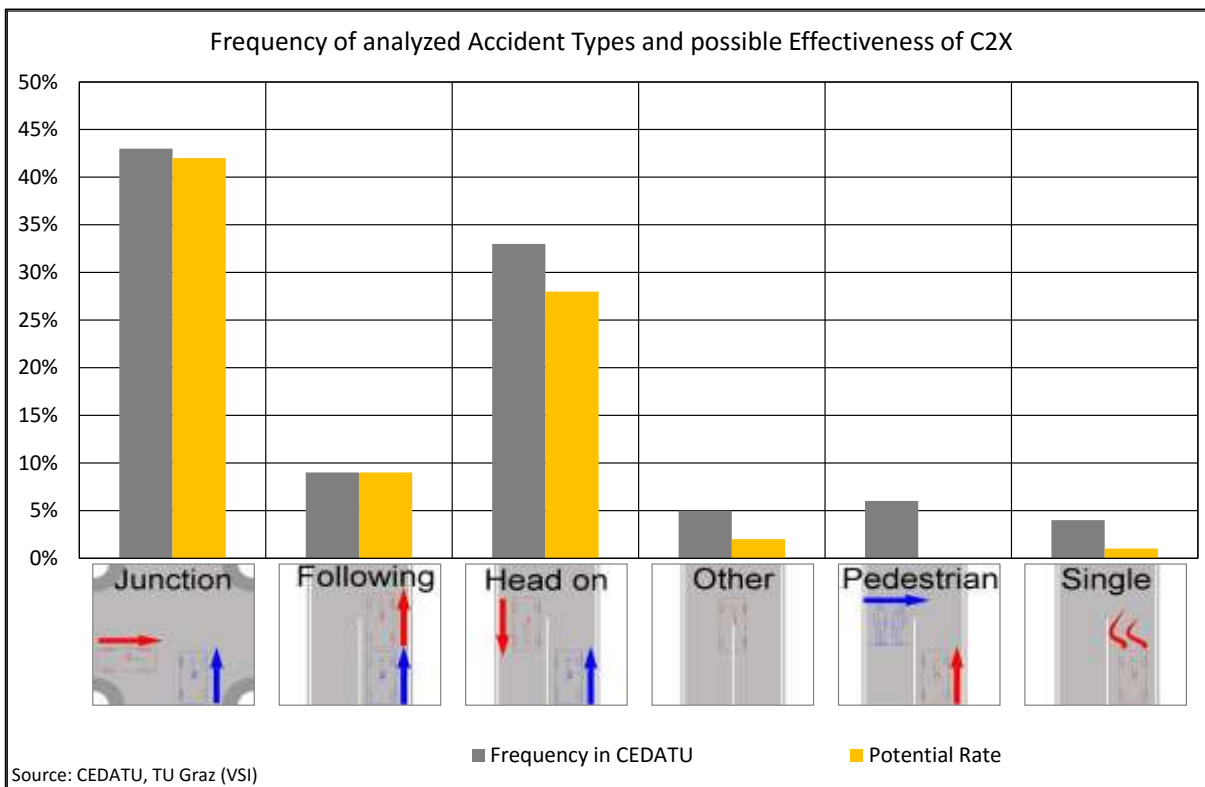


Figure 5-2 Frequency of analyzed Accident Types and possible Effectiveness of C2X

6 LIMITATIONS

In the field tests passenger cars were used only. However, equivalent results for motorcycles are assumed.

It was assumed that the accident participants would react according to a warning signal of the C2X system. There is no evidence that the driver will do so.

No communication algorithm of the C2X system was considered in the accident simulation.

In the assessment of the effectivity of C2X systems only a braking reaction were considered. Steering maneuver were not taken into account.

It was assumed that only the participating vehicles in the accident communicate with each other. Other vehicles which could transfer the information further are not considered.

7 SUMMARY

The virtual pre-crash simulation method showed a huge possible impact on preventing motorcycle accidents or mitigate the injury severity. Nearly 80% of the investigated accidents could have been prevented.

An appropriate effectivity of C2X systems can only be realized with an adequate number of system participants, comprehensive measures are essentials to introduce this system to the market.[19,20]

8 REFERENCES

- [1] European Commission, Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions: Towards a European road safety area: policy orientations on road safety 2011-2020, COM(2010) 389 final, Brussels, 2010.
- [2] Commission of the European Communities, European transport policy for 2010: time to decide: COM(2001) 370 final, Brussels.
- [3] European Commission, Road fatalities in the EU since 2001, 2015.
- [4] European Commission, Road Safety Evolution in EU, 2015.
- [5] BMVIT, Austrian Road Safety Programme 2011-2020: 1st Edition, 2011, Vienna.
- [6] Statistics Austria: Energy, Environment, Innovation, Mobility / Transport / Road, [September 09, 2015],
http://www.statistik.at/web_en/statistics/EnergyEnvironmentInnovationMobility/transport/road/index.html.
- [7] T. Classen, U. Wilhelm, R. Kornhaas, M. Klar, B. Lucas, Systemarchitektur für eine 360 Grad Fahrerassistenzsensorik, in: K. Dietmayer (Ed.), 8. Workshop Fahrerassistenzsysteme: FAS 2012; Walting im Altmühltal, 26. - 28. Sept. 2012, Uni-Das, Darmstadt, 2012, pp. 129–135.
- [8] F. Naujoks, H. Grattenthaler, A. Neukum, G. Weidl, D. Petrich, Effectiveness of advisory warnings based on cooperative perception, IET Intelligent Transport Systems 9 (2015) 606–617.
- [9] G. Markovic, Measurement of Reliability and Range of Car2X Sensors and Development of a Car2X Sensor Model, Master's Thesis, Graz, 2015.
- [10] W. Wach, E. Han-Wiercińska, Simulation of vehicle accidents using PC-Crash, Institute of Forensic Research Publishers, Kraków, 2011.
- [11] J. Werneke, M. Vollrath, What does the driver look at? The influence of intersection characteristics on attention allocation and driving behavior, Accident; analysis and prevention 45 (2012) 610–619.
- [12] E. Tomasch, H. Steffan, ZEDATU (Zentrale Datenbank tödlicher Unfälle in Österreich) A Central Database of Fatalities in Austria, in: 2nd International Conference on ESAR "Expert Symposium on Accident Research": Reports on the ESAR-Conference on 1st/2nd September 2006 at Hannover Medical School, Wirtschaftsverl. NW, Verl. für Neue Wissenschaft, Bremerhaven, 2007, pp. 183–185.
- [13] E. Tomasch, H. Steffan, M. Darok, Retrospective accident investigation using information from court, Proceedings of Transport Research Arena, Ljubljana (2008).

- [14] G. Vallet, B. Laumon, J.L. Martin, P. Lejeune, P. Thomas, R. Ross et al., STAIRS - Standardization of Accident and Injury Registration Systems: Final Report, 1999.
- [15] P. Thomas, A. Morris, E. Tomasch, G. Vallet, PENDANT - Pan-European Co-ordinated Accident and Injury Databases, Final Report (2006).
- [16] RISER, Roadside Infrastructure for Safer European Roads: Final Report, 2005.
- [17] J. Gugler, H. Steffan, Improvement of Rollover Safety for Passenger Vehicles: Final Public Report July 2002 – December 2005, 2005.
- [18] Statistic Austria.
- [19] J. Gwehenberger, Wirksamkeit von Fahrerassistenzsystemen aus Sicht der Unfallforschung, in: 13. Schriftenreihe Verkehrssicherheit: Fahrerassistenzsysteme - Innovation im Dienste der Sicherheit, 2006.
- [20] K. Kompaß, Thesen zu Fahrerassistenzsystemen, in: 13. Schriftenreihe Verkehrssicherheit: Fahrerassistenzsysteme - Innovation im Dienste der Sicherheit, 2006.
- [21] Google Earth.

A APPENDIX

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Figure Appendix A.1-1 Relativer Anteil der Getöteten/schwer Verletzten und leicht Verletzten nach Art der Beteiligung | A-2 |
| Figure Appendix A.1-2 Anteil von Motorradunfällen nach Unfalltypen | A-3 |
| Figure Appendix A.1-3 Übertragungsreichweite des C2X Signals bei unterschiedlichen Örtlichkeiten | A-7 |
| Figure Appendix A.1-4 Kumulierte DTC Freiland und Ortsgebiet | A-8 |
| Figure Appendix A.2-1 Injured PTW drivers in different Accident Types | A-11 |
| Figure Appendix A.2-2 Collisions at Junctions | A-12 |
| Figure Appendix A.2-3 Accident Types in Head-On-Collisions | A-13 |
| Figure Appendix A.2-4 Collision Types in Single Vehicle Accidents | A-13 |
| Figure Appendix A.2-5 Lightning Conditions in Junction Accidents | A-14 |
| Figure Appendix A.2-6 Lightning Conditions in Head-On Collisions | A-15 |
| Figure Appendix A.2-7 Lightning Conditions in Single Vehicle Accidents | A-15 |
| Figure Appendix A.2-8 Road Conditions in Junctions Accidents | A-16 |
| Figure Appendix A.2-9 Road Conditions in Head-On Collisions | A-17 |
| Figure Appendix A.2-10 Road Conditions in Single Vehicle Accidents | A-17 |
| Figure Appendix A.3-1 Scenario Protocol Monday 04.08.2014 | A-1 |
| Figure Appendix A.3-2 Scenario Protocol Tuesday 05.08.2014 | A-2 |
| Figure Appendix A.3-3 Scenario Protocol Wednesday 06.08.2014 | A-3 |
| Figure Appendix A.4-1 Frequency of analyzed Accident Types in CEDATU and in Statistics Austria | A-2 |
| Figure Appendix A.4-2 Participants of Motorcycle Accidents at different Areas (StatAut) | A-3 |
| Figure Appendix A.4-3 Participants of Motorcycle Accidents in different Areas (CEDATU) | A-3 |
| Figure Appendix A.4-4 Frequency of Urban / Rural Areas and possible Effectiveness of C2X | A-4 |
| Figure Appendix A.4-5 Frequency of Initial Velocities and possible Effectiveness of C2X | A-4 |
| Figure Appendix A.4-6 Frequency of Reaction Maneuvers and possible Effectiveness of C2X | A-5 |

A.1 Potentieller Einfluss von C2X auf die Vermeidung von Motorradunfällen bzw. Reduktion der Verletzungsschwere

A.1.1 Einleitung

Rund 23 % der Getöteten oder schwer verletzten Straßenverkehrsteilnehmer sind Lenker oder Aufsäßen von einspurigen Fahrzeugen (Figure Appendix A.1-1). Dieser Anteil ist gleich hoch wie jener von ungeschützten Verkehrsteilnehmern (Fußgänger und Radfahrer). Am häufigsten sind Unfälle mit einspurigen Fahrzeugen an Kreuzungen (etwa 40 %), gefolgt von Fahrnfällen (30 %) (Figure Appendix A.1-2). Gerade an Kreuzungen werden einspurige Fahrzeuge oft von anderen Verkehrsteilnehmern übersehen, insbesondere wenn die Einspurigen von der linken Seite kommen und die mehrspurigen Fahrzeuge nach links abbiegen. Hierbei könnte jedoch ein Car-To-X (C2X) System eine Warnung an die Verkehrsbeteiligten übermitteln und ein frühzeitiges Einfahren in eine Kreuzung unter Umständen vermeiden.

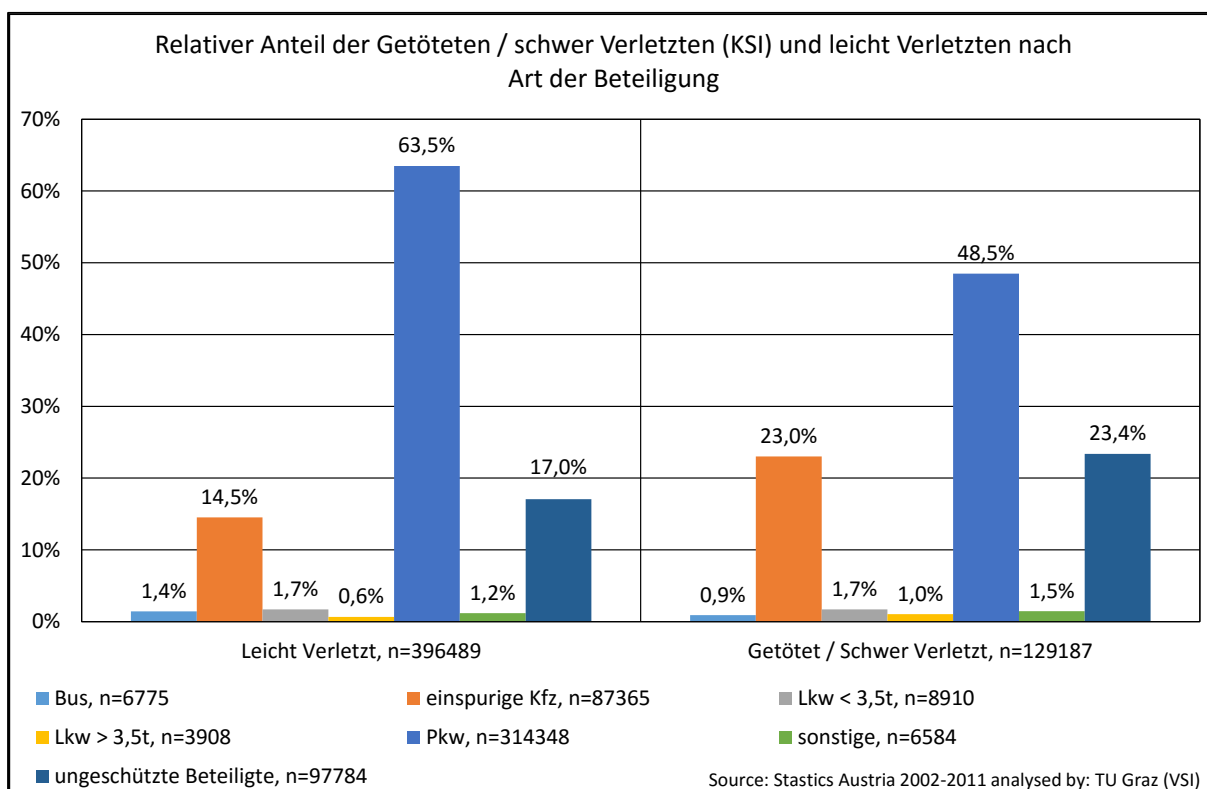


Figure Appendix A.1-1 Relativer Anteil der Getöteten/schwer Verletzten und leicht Verletzten nach Art der Beteiligung

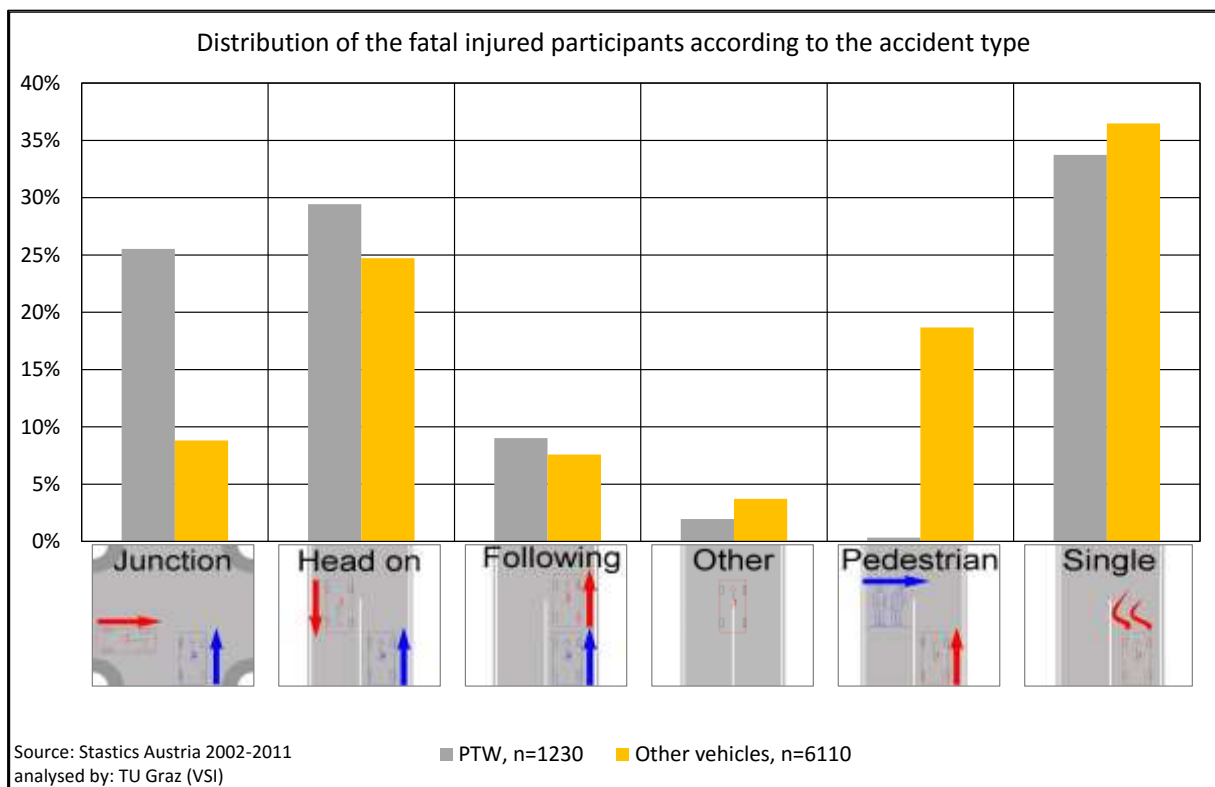


Figure Appendix A.1-2 Anteil von Motorradunfällen nach Unfalltypen

Das Ziel der Europäischen Kommission ist die Halbierung von Verkehrstoten bis 2020. Die dazu ausgegebenen Vorschläge enthalten Sicherheitsmaßnahmen im Bereich der Infrastruktur, der Verkehrsteilnehmer und der Fahrzeuge [1]. Aktuelle Fahrzeuge der Premiumklasse besitzen bereits eine Kombination aus Sensoren, Kameras und Radar-Einheiten, um 360° der Fahrzeugumgebung zu erfassen (ACC, Blind-Spot-Detector, etc.) [2].

Das hervorstechende Merkmal von C2X-Systemen ist aber die Möglichkeit, potentielle Gefahren auch außerhalb dieses Sichtbereichs zu erfassen. Insbesondere in Kreuzungs- oder Überholunfällen soll das einen großen Vorteil schaffen und somit Unfälle verhindern [3], [5].

In dieser Arbeit soll nun eruiert werden, wieviel Potential zur Unfallvermeidung bzw. Unfallfolgenmilderung derartige Systeme bei Motorradunfällen enthalten würden.

A.1.2 Methode

In einem ersten Schritt wurden Feldversuche durchgeführt, um die Reichweite und Stabilität des C2X-Systems zu evaluieren. In einer anschließenden Simulation von Verkehrsunfällen, der sogenannten Methode der virtuellen Simulation der Pre-Crash Phase, wurde angenommen, dass die beteiligten Fahrzeuge ein stabiles Signal ab einer bestimmten Time-To-Collision (TTC) erhalten. Äquivalent dazu

auch die Distance-To-Collision (DTC). Auf Grund dieses Signals die Annäherung von Fahrzeugen kennen, in die Situation frühzeitig eingreifen und den Unfall möglicherweise vermeiden können.

A.1.2.1 Versuchsdurchführung

Auf Grund der Größe des verwendeten C2X Systems wurde für die Feldversuche zwei PKW mit C2X-Systemen ausgerüstet (DEWEtron, CohdaWireless und DEWEsoft), die über den europäischen IST-G5 Standard verfügt, um Daten von einem Automobil zum anderen zu senden. Zur Positionsbestimmung wurde eine GSM-Kommunikation verwendet. Zur Verbesserung der Positionsgenauigkeit, wurde eine Messeinheit mit einem Forsberg GPS-Receiver und einer Onlinekorrektur der Position, eingesetzt. Um die Zeit- und Positionsgenauigkeit zwischen den beiden Fahrzeugen zu gewährleisten mussten sie synchronisiert werden. Die Synchronisation erfolgte über WLAN. Bei Tests auf der Autobahn oder Freilandstraße sollte ein drittes Fahrzeug mit WLAN-Repeater die Synchronisation verbessern, dies hatte aber keine Auswirkung auf die Reichweite oder Stabilität des C2X-systems. Bei entsprechender Systemgröße wird vermutet, dass auch für Motorräder gleiche Ergebnisse erzielt werden können.

Das erste Fahrzeug (Ego) erhielt sowohl eine Sende- als auch eine Empfangseinrichtung. Hingegen war das zweite Fahrzeug (Target) lediglich in der Lage Daten zu übermitteln. Um einen strukturierten Ablauf zu gewährleisten, wurde eine Testmatrix verfasst. Diese umfasste primär Kreuzungssituationen und das Fahren im Konvoi, ferner auch die Abschirmung des Signals durch Häuser. Die Versuche erfolgten im Ortsgebiet, Freiland und vereinzelt auch auf der Autobahn. Genauer wurden für das Ortsgebiet Messungen in städtischen und auch in wenig besiedelten Gebieten durchgeführt. Das Ziel der Versuche war die Ermittlung der Reichweite und die Stabilität des Systemsignals.

A.1.2.2 Virtuelle Simulation der Pre Crash Phase

In einem zweiten Schritt wurde die Methode der virtuellen Simulation der Pre-Crash Phase gewählt. Realunfallszenarien mit Motorradbeteiligung der CEDATU (Central Database for In-Depth Accident Study) wurden hierbei unfalltechnisch rekonstruiert und als sogenannte „Baseline“ bezeichnet. Aus der Unfallrekonstruktion sind Unfallparameter wie die Vorkollisionsgeschwindigkeiten, Konflikt- und Reaktionspunkte (Zeit und Weg), etc. vorliegend. In einer weiteren Simulation wurden nun die Unfallszenarien mit einem C2X System ausgestattet. Es wurde angenommen, dass die Fahrzeuge miteinander kommunizieren und das C2X Signal ab einer bestimmten Entfernung der Fahrzeuge zueinander ein kontinuierliches Signal senden würde. Diese Simulation wurde als „Systemsimulation“ bezeichnet. Unter Berücksichtigung der Reichweite von C2X Systemen, wo ein kontinuierliches Signal zwischen den Fahrzeugen übertragen werden kann und der Annahme einer entsprechenden Reaktion der Beteiligten auf dieses Signal, wurde das Potential zur Unfallvermeidbarkeit bzw. Unfallfolgenmilderung bewertet.

Als Reaktionsverhalten wurden folgende Strategien angewandt:

1. Unmittelbares Bremsmanöver zum Konfliktzeitpunkt (Fahrzeuge kommunizieren bereits über C2X) – das Fahrzeug reagiert autonom
2. Reaktion zum Konfliktzeitpunkt mit einer Reaktionszeit von 0,8 s (Fahrzeuge kommunizieren bereits über C2X)
3. Bremsmanöver zum Zeitpunkt der Signalübertragung am 25. Perzentilen Wert vor dem eigentlichen Konfliktzeitpunkt – das Fahrzeug reagiert autonom
4. Bremsmanöver zum Zeitpunkt der Signalübertragung am 25. Perzentilen Wert mit einer Reaktionszeit von 0,8 s

A.1.3 Ergebnisse

Insgesamt wurden 35 Versuche durchgeführt, wobei jeder Versuch den Verbindungsaufbau, sowie den Verbindungsverlust enthält. Eine der Versuchsfahrten ist in Abbildung Appendix A.1-1 dargestellt. Das Ego Fahrzeug (S3) fährt entlang einer Autobahn, während sich das Target (A4) stationär hinter einer kleinen geographischen Erhebung befindet. Die hellen Felder zeigen den Erhalt eines übertragenen Datenpakets durch eine aufrechte Verbindung der Fahrzeuge zu jedem Zeitschritt. Für jeden Zeitschritt kann nun ein einzelnes Datenpaket angewählt werden und so Informationen zu Fahrzeuggeschwindigkeit, Distanz der Fahrzeuge zueinander, GPS-Daten, etc. abgelesen werden. Diese Auswahl ist für beide Fahrzeuge separat möglich.

Die dunklen weisen auf Stellen, an denen ein Datenpaket hätte übermittelt werden sollen. Für das Ego Fahrzeug können die entsprechenden Informationen ausgelesen werden, jedoch ist dies dem Target Fahrzeug auf Grund der fehlenden Datenübertragung nicht bekannt.



Abbildung Appendix A.1-1 Visuelle Darstellung der Versuchsfahrt [21]

Zunächst wurde die Reichweite der Übertragung des C2X Systems der beiden Fahrzeuge zueinander analysiert. Es wurde festgestellt, dass die Reichweite des übertragenden Signals im hohen Ausmaß vom Testgebiet abhängig war. Die Tests zeigten einen kontinuierlichen Signalaustausch des C2X Systems zwischen den Fahrzeugen von bis zu 369 m im Siedlungs- bzw. Stadtgebiet, bis zu 479 m im Freiland und bis zu 1.118 m auf Autobahnen (Table Appendix A.1-1, Figure Appendix A.1-3). Aufgrund der eher geringen Haushöhen (z.B. Einfamilienhäuser, etc.) und großen unbebauten Flächen bleibt die C2X Verbindung auf Freilandstraßen lange aufrecht. Auf Autobahnen kann eine sehr große Reichweite erzielt werden, wenn das Signal beispielsweise an Lärmschutzwänden reflektiert wird. Für die anschließende Beurteilung des Potentials bei Realunfällen wird das 25. Perzentil gewählt. Damit soll gewährleistet sein, dass eine stabile konstante Verbindung zwischen den Fahrzeugen besteht.

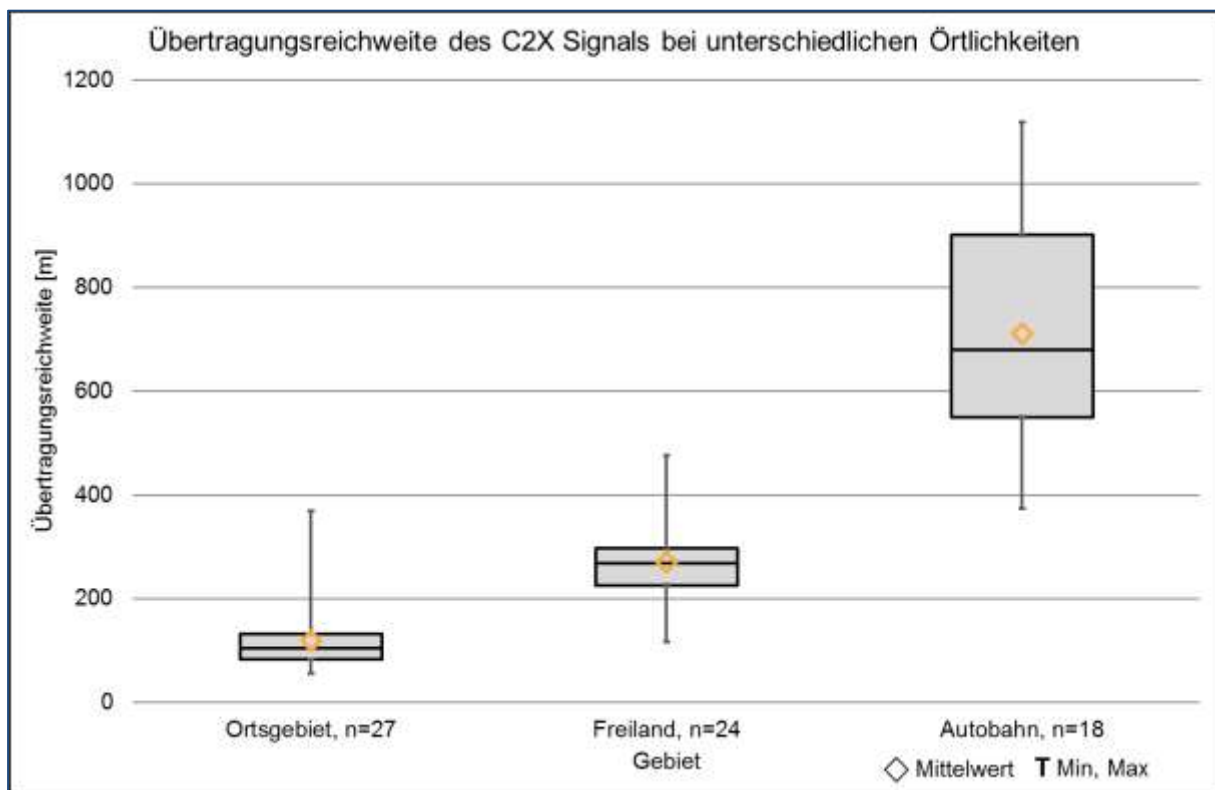


Figure Appendix A.1-3 Übertragungsreichweite des C2X Signals bei unterschiedlichen Örtlichkeiten

Table Appendix A.1-1 Gemessene Übertragungsreichweite des C2X Signals zwischen den Fahrzeugen

| Gebiet | 25. Perzentil | Mittelwert | Standard- abweichung | Median | Längste Übertragungs- reichweite |
|------------|---------------|------------|-------------------------|--------|----------------------------------------|
| Ortsgebiet | 82,5 m | 118 m | 60 m | 105 m | 369 m |
| Freiland | 225 m | 271 m | 84 m | 268 m | 479 m |
| Autobahn | 516 m | 711 m | 200 m | 633 m | 1.118 m |

In Figure Appendix A.1-4 lässt sich erkennen, dass in 95 % der Unfälle die DTC (Distance To Collision) vom Konfliktpunkt vor dem Zeitpunkt des möglichen Datenaustausches im Ortsgebiet durch C2X liegt. Der größte Abstand vom Konfliktpunkt zum Unfall liegt bei 118 m. Die Werte für Freilandstraßen mit 225 m und Autobahnen mit 516 m liegen weit über dem Konfliktpunkt und sind nicht in der Abbildung eingezeichnet.

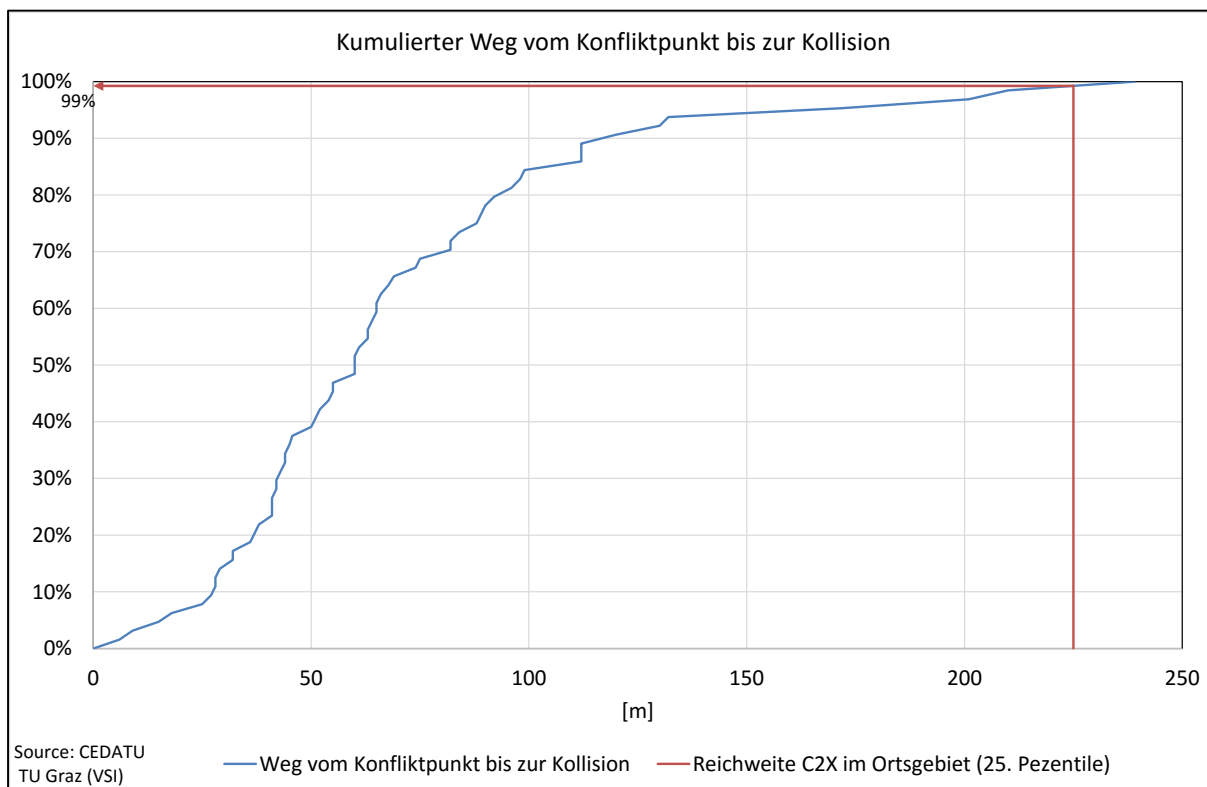


Figure Appendix A.1-4 Kumulierte DTC Freiland und Ortsgebiet

Werden nun die Erkenntnisse aus den Feldversuchen mit den entsprechenden Reichweiten des C2X Systems in den Unfallsimulationen berücksichtigt, so würde eine unmittelbare Verzögerung am Konfliktpunkt im Freiland etwa 30 % der Motorradunfälle verhindern. Im Ortsgebiet wären dies rund 52 % (Table Appendix A.1-2). Gesteht man den Fahrzeuglenkern eine Reaktionszeit von 0,8 s zu, so wäre das Vermeidungspotential im Freiland bei 25 %. Im Ortsgebiet würde der Anteil gleich bleiben. Würde hingegen eine unmittelbare Verzögerung des Fahrzeugs erfolgen, sobald die Fahrzeuge über das C2X System Informationen austauschen, wäre ein Unfallvermeidbarkeitspotential von rund 77 % möglich.

Table Appendix A.1-2 Potential eines C2X Systems zur Vermeidung von Motorradunfällen

| Reaktionsmanöver | Potential | Potential |
|--------------------------------------------------------|-----------|-----------|
| | Freiland | Ortgebiet |
| Bremsen ab Konfliktpunkt | 29,7 % | 51,5 % |
| Konfliktpunkt, 0,8 s Reaktionszeit, 0,2 s Schwellzeit | 25,0 % | 51,5 % |
| Bremsen ab Reichweite des Car2X | 77,1 % | 62,5 % |
| Reichweite C2X, 0,8 s Reaktionszeit, 0,2 s Schwellzeit | 77,1 % | 62,5 % |

A.1.4 Einschränkungen

Für die Feldversuche wurden zwei PKWs genützt. Das verwendete C2X System war für eine Montage auf einem Motorrad nicht geeignet. Es wird aber angenommen, dass ein entsprechendes System auch bei einem Motorrad die entsprechenden Informationen an andere Verkehrsteilnehmer weiter gibt.

Die einspurigen Fahrzeuge der verschiedenen Motorklassen wurden zusammengefasst. Hier wäre eine Unterscheidung in Motorräder über und unter 50 ccm sinnvoll.

Es wurde den Unfallbeteiligten unterstellt, dass diese durch ein C2X System eine Reaktion in Form eines Bremsmanövers vollführen. Ob dies in einer realen Situation tatsächlich so erfolgt kann nicht gesagt werden.

A.1.5 Diskussion

Die ersten Ergebnisse zeigen ein großes Potential im Bereich der Sicherheit bei Motorradunfällen. Barbaresso [5] schätzt die Relevanz für C2C zur Steigerung der Verkehrssicherheit in Unfällen mit etwa 80 %. Da ein vollständiges C2X-System entsprechende Mehrkosten beim Kauf verursacht [6], könnte durch finanzielle Anreize, wie beispielsweise bei den Versicherungsprämien, die Akzeptanz verbessert werden [7]. Insbesondere bei einspurigen Fahrzeugen unter 50 ccm würden diese Mehrkosten einen großen Teil der Anschaffungskosten ausmachen und somit die Akzeptanz senken.

A.1.6 Referenzen

- [1] EUROPÄISCHE KOMMISSION. Mitteilung der Kommission an den Rat, das Europäische Parlament, den europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen: Ein europäischer Raum der Straßenverkehrssicherheit: Leitlinien für die Politik im Bereich der Straßenverkehrssicherheit 2011-2020. Brüssel; 2010.
- [2] Classen T, Wilhelm U, Kornhaas R, Klar M, Lucas B. Systemarchitektur für eine 360 Grad Fahrerassistenzsensorik. In: Dietmayer K, editor. 8. Workshop Fahrerassistenzsysteme: FAS 2012; Walting im Altmühltal, 26. - 28. Sept. 2012. Darmstadt: Uni-Das; 2012.
- [3] Klanner F, Raßhofer R, Liebner M. Eine neue Dimension der Fahrzeugsicherheit. [September 04, 2015]; Available from: <http://www.elektroniknet.de/automotive/assistenzsysteme/artikel/94595/>.
- [4] Google Earth.
- [5] Barbaresso J. Connected Vehicle Infrastructure Deployment Considerations.
- [6] Kompaß K. Thesen zu Fahrerassistenzsystemen. In: 13. Schriftenreihe Verkehrssicherheit: Fahrerassistenzsysteme - Innovation im Dienste der Sicherheit; 2006.

- [7] Gwehenberger J. Wirksamkeit von Fahrerassistenzsystemen aus Sicht der Unfallforschung. In: 13. Schriftenreihe Verkehrssicherheit: Fahrerassistenzsysteme - Innovation im Dienste der Sicherheit; 2006.

A.2 Analysis of Motorcycle Accidents using data of „Statistics Austria“

Figure Appendix A.2-1 to Figure Appendix A.2-4 analyze the Accident type in detail, while in Figure Appendix A.2-5 to Figure Appendix A.2-7 the lightning conditions are examined and in Figure Appendix A.2-8 to Figure Appendix A.2-10 the road condition is investigated.

Figure Appendix A.2-1 show the most critical accidents are single vehicle or junction collisions. At junctions, most accidents happen because one vehicle is overseen by the other (Figure Appendix A.2-2).

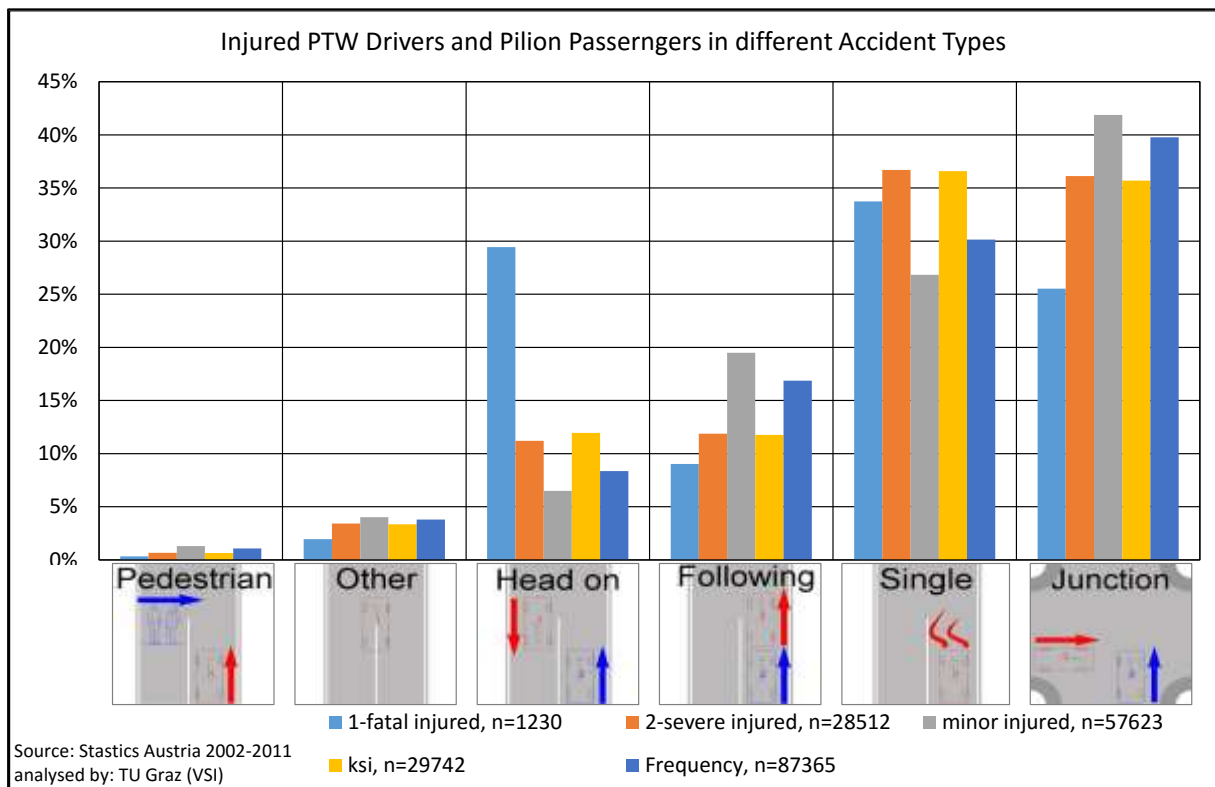


Figure Appendix A.2-1 Injured PTW drivers in different Accident Types

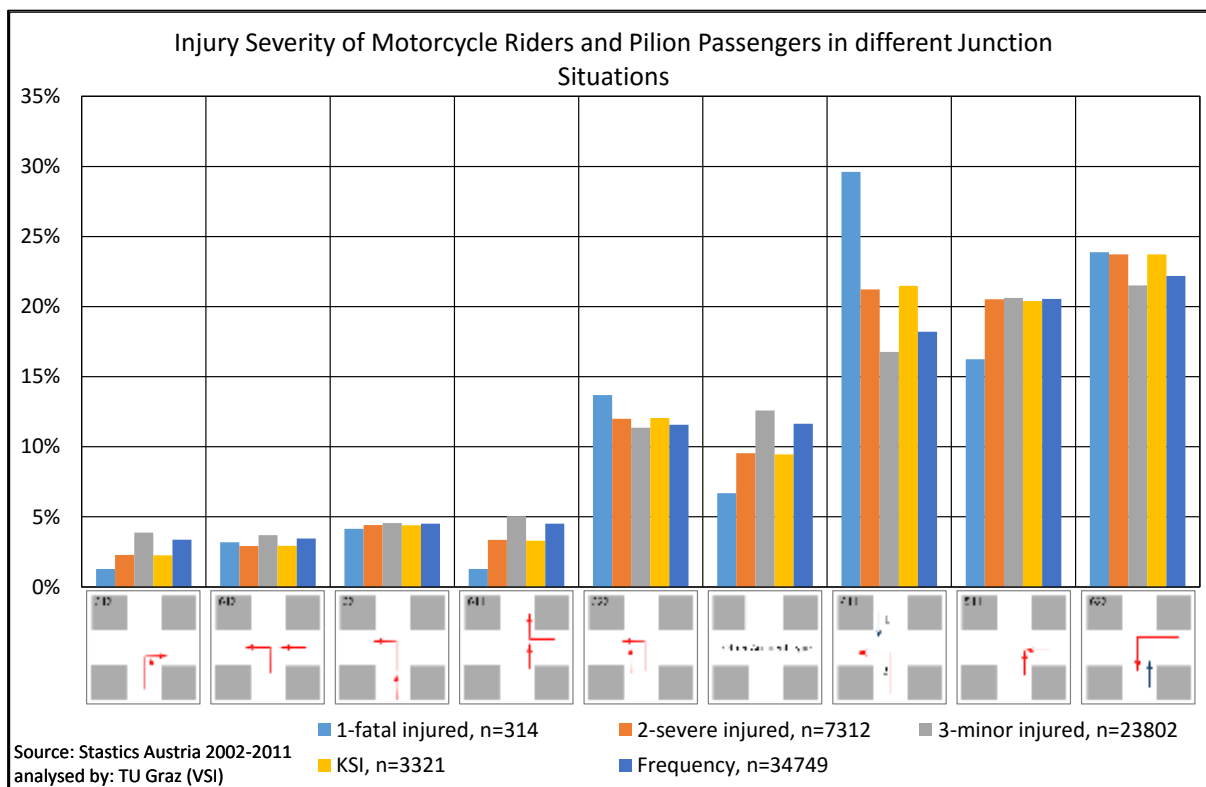


Figure Appendix A.2-2 Collisions at Junctions

In Head-On Collisions the main accident cause is driving on the wrong side of the road when the driver lost control over his vehicle. A smaller percentage can be traced back to overtaking into oncoming traffic (Figure Appendix A.2-3). When looking at single vehicle accidents, it can be found, that obstacles on the road are often lethal to motorcyclists and also coming off the road in curves is a problem (Figure Appendix A.2-4).

Appendix

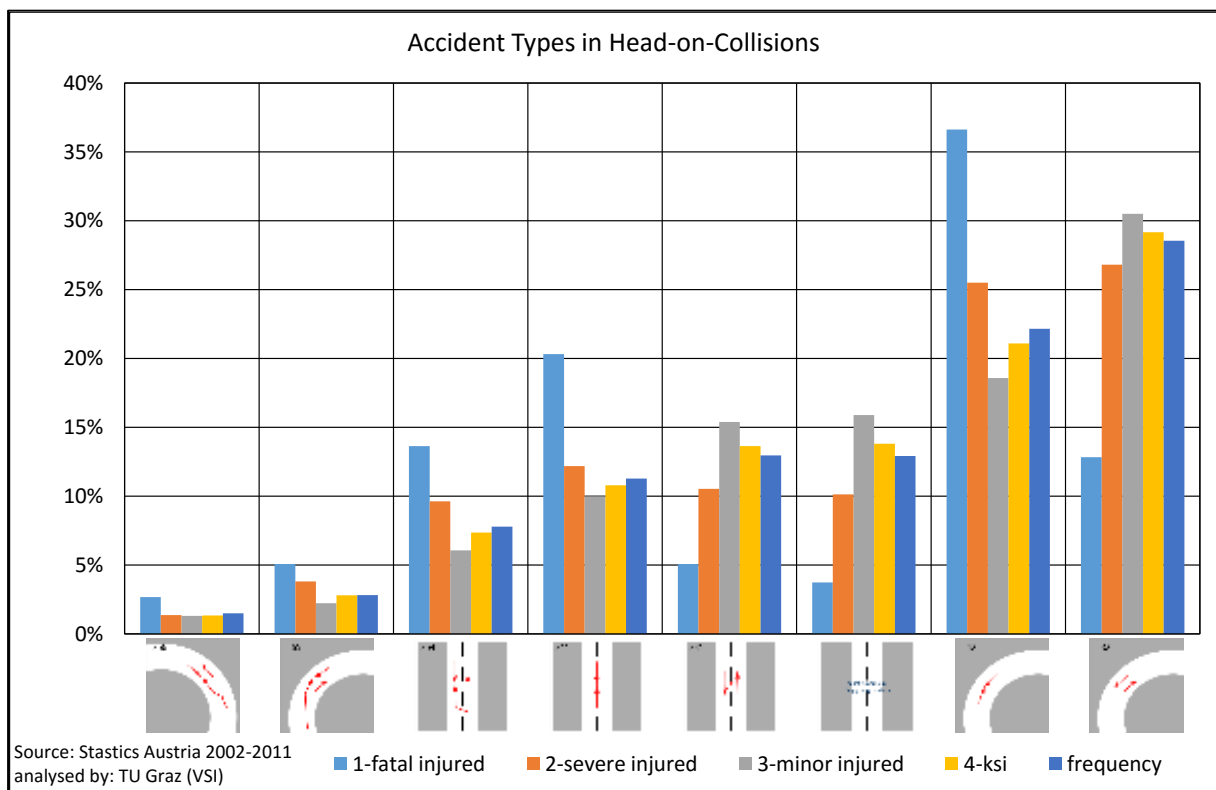


Figure Appendix A.2-3 Accident Types in Head-On-Collisions

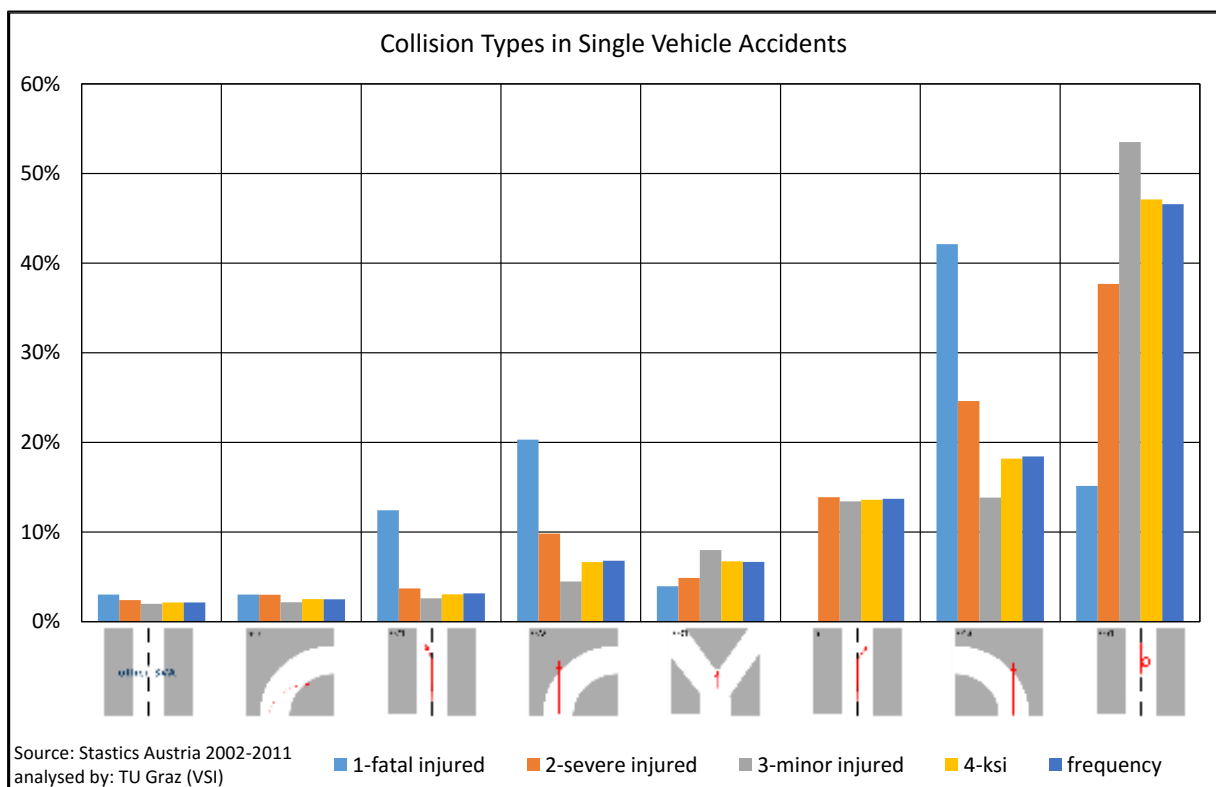


Figure Appendix A.2-4 Collision Types in Single Vehicle Accidents

Thought most accidents occur at daytime, there is also a small increase in accidents with artificial light in junction accidents, but this can also correlate to the frequency of junctions being lit with artificial light (Figure Appendix A.2-5). Lightning conditions in Head-On and Single Vehicle Accidents have a slight raise in darkness, but again this can possibly correlate to the frequency of non-lit streets (Figure Appendix A.2-6, Figure Appendix A.2-7).

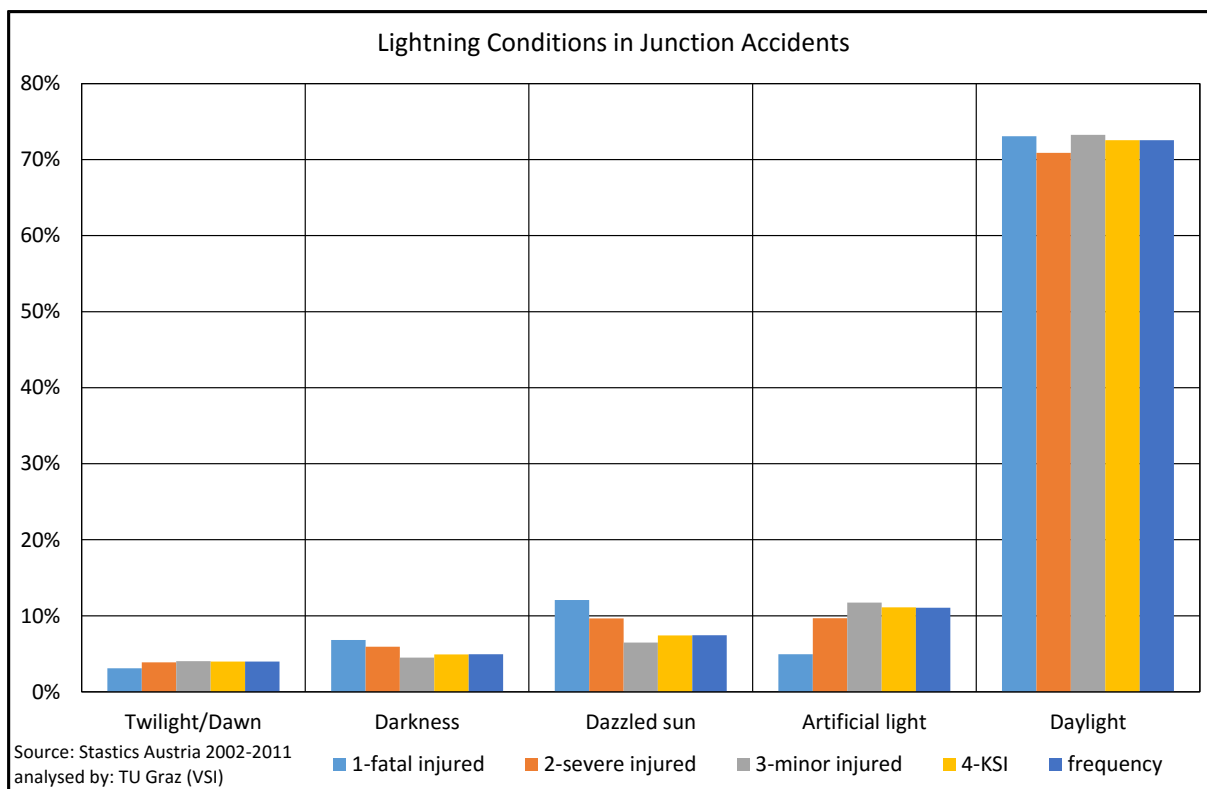


Figure Appendix A.2-5 Lightning Conditions in Junction Accidents

Appendix

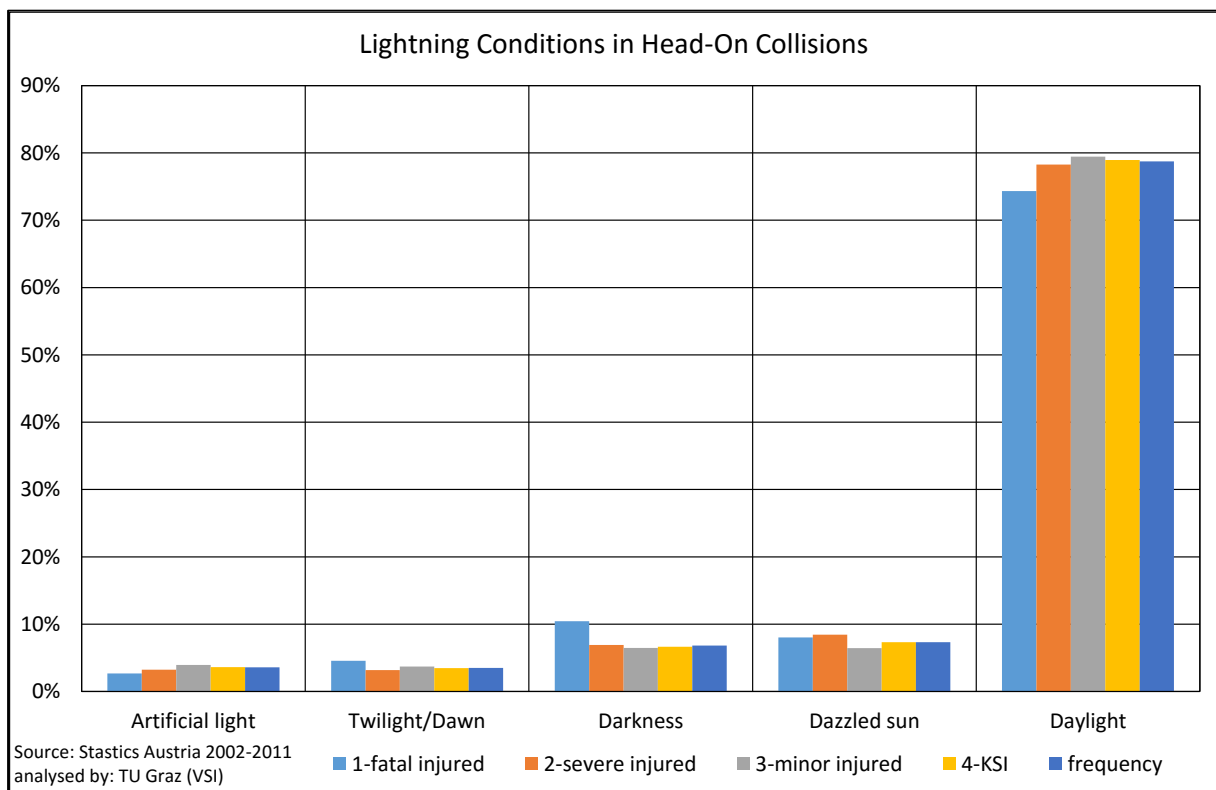


Figure Appendix A.2-6 Lightning Conditions in Head-On Collisions

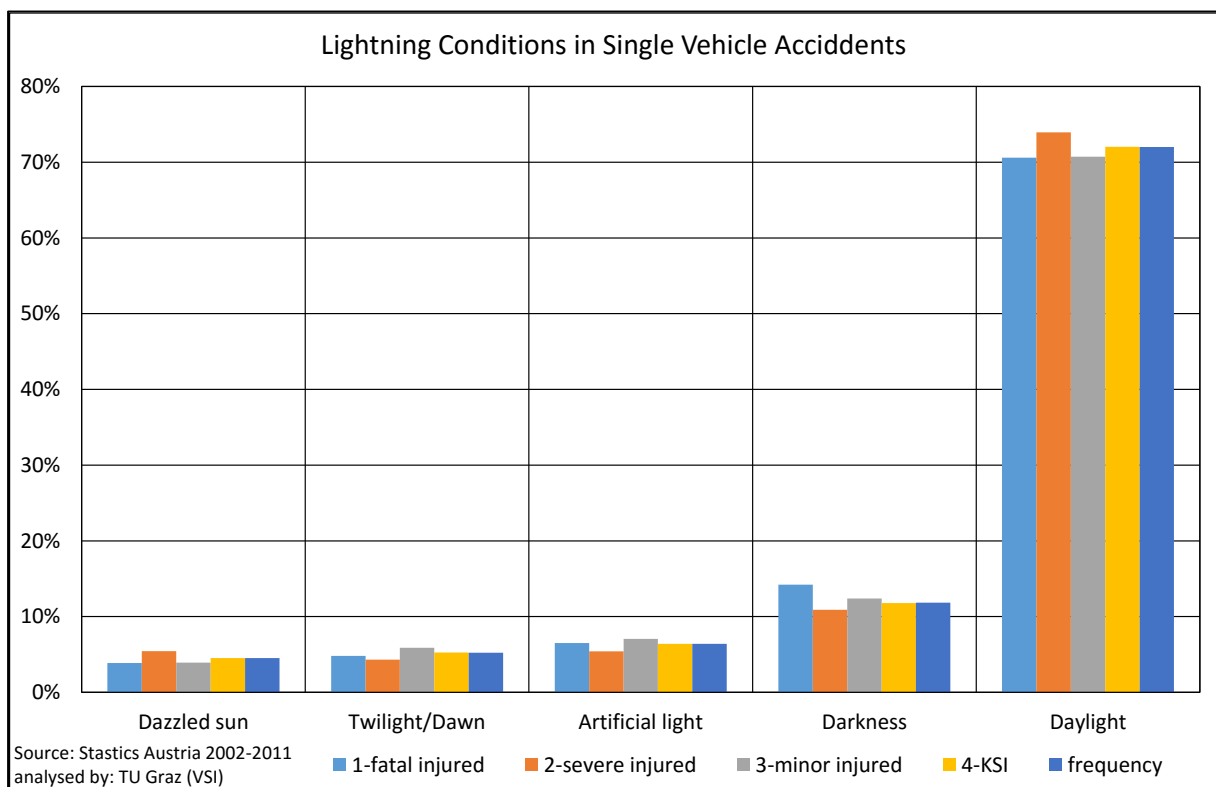


Figure Appendix A.2-7 Lightning Conditions in Single Vehicle Accidents

Nearly 90% of the accidents at junctions and Head-On collisions occur at dry road, but also here, it has to be considered that most driver are on the road when the weather is dry (Figure Appendix A.2-8, Figure Appendix A.2-9). Although in Single Vehicle Accidents, an increase in bad road conditions can be shown (Figure Appendix A.2-10).

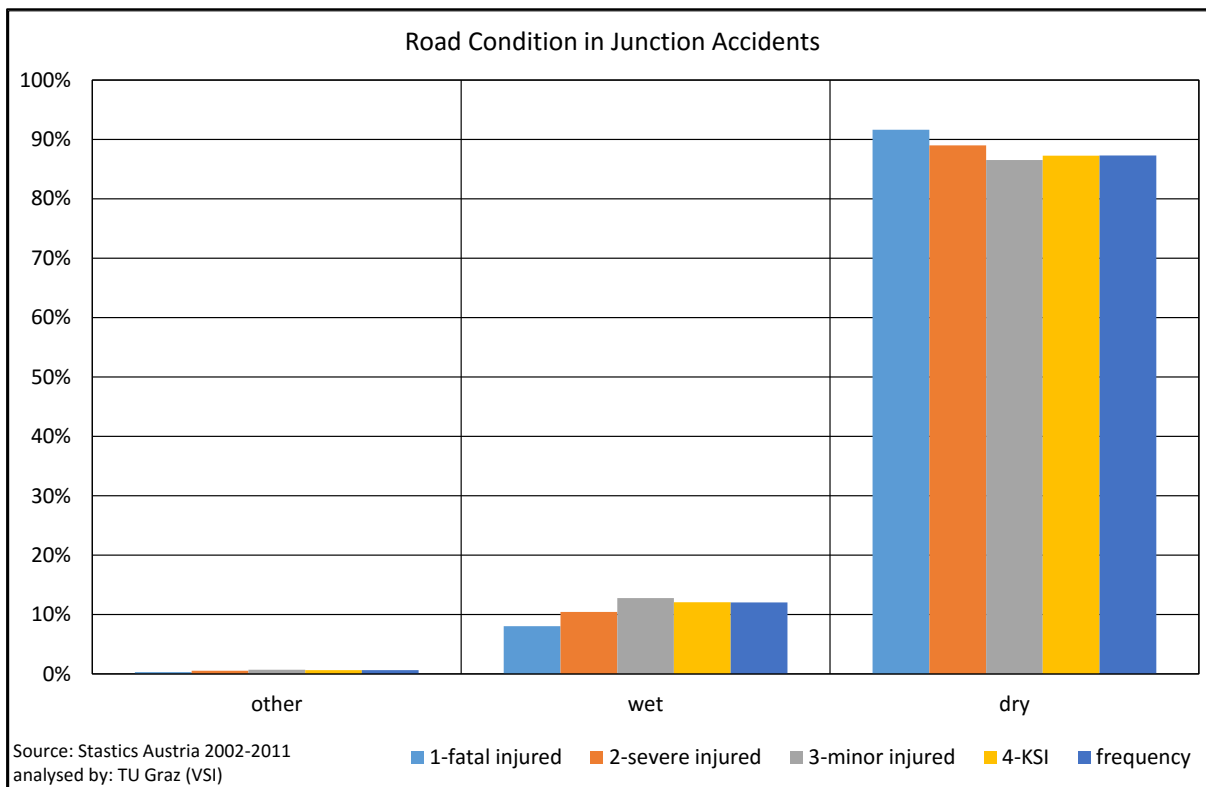


Figure Appendix A.2-8 Road Conditions in Junctions Accidents

Appendix

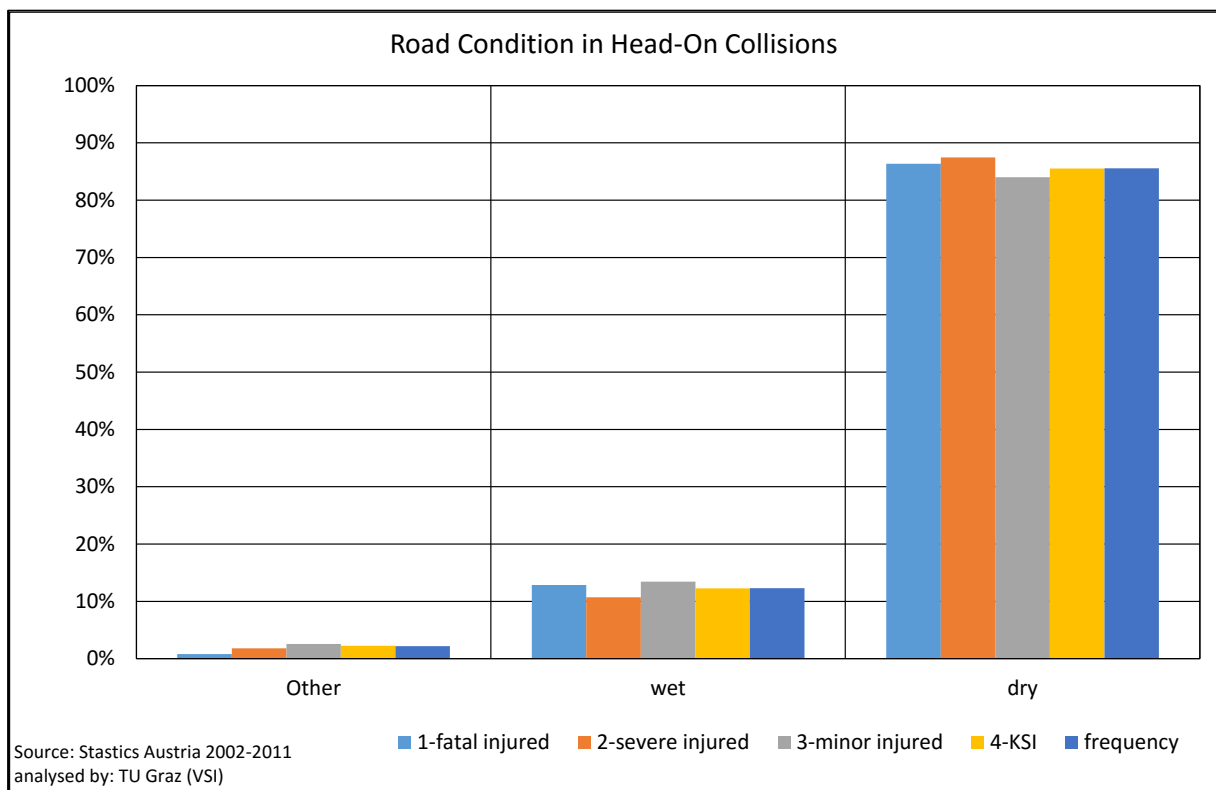


Figure Appendix A.2-9 Road Conditions in Head-On Collisions

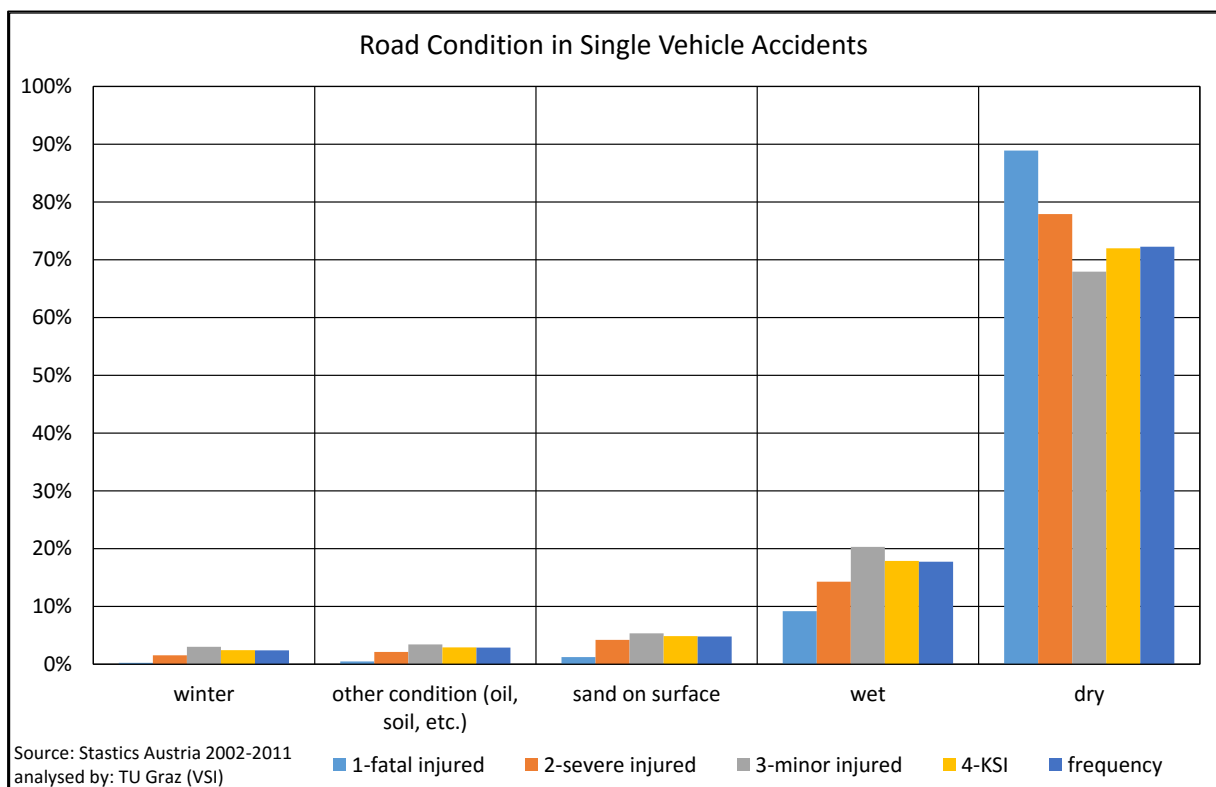


Figure Appendix A.2-10 Road Conditions in Single Vehicle Accidents

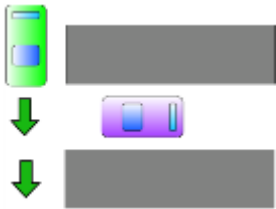


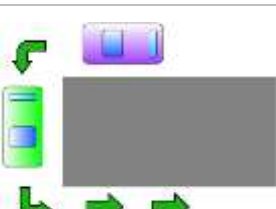
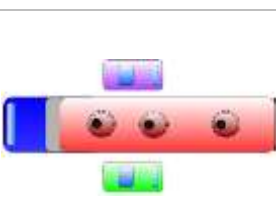
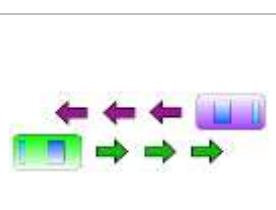
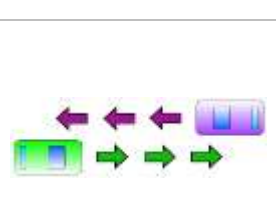
A.3 Field Tests

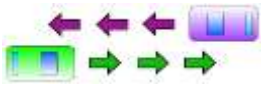
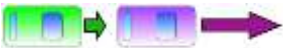

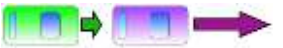
Table Appendix A.3-1 show the scenario plan used in the field tests. It consists of the scenario, the number, a written description and the planned velocity and location.

In Figure Appendix A.3-1 to Figure Appendix A.3-3 the protocols of the field tests are shown. This includes the data from the tests, data referring to the scenario plan and the distances from the post processed data.

In Table Appendix A.3-2 the single results of the field tests can be seen.

Table Appendix A.3-1 Scenario plan for Field Test

| Scenarios for Field Tests | | | | |
|---------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|---------------------|-------------------------------------------------------|
| No. | Piktographie | Description | Velocity | Area |
| 1 a |  | TARGET (lilac) is stationary, EGO (green) moves with constant velocity | 30 km/h or 50km/h | Graz City - Krenngasse (densely populated urban area) |
| 1 b |  | TARGET is stationary, EGO moves with constant velocity | 30 km/h or 50km/h | Fernitz (sparsely populated urban area) |
| 1 c |  | TARGET is stationary, EGO moves with constant velocity | 80 km/h or 100 km/h | rural street - L311 bzw. L325 |
| 5 |  | TARGET is stationary, EGO moves around the corner | 10km/h | Fernitz |
| 6 |  | Both vehicles are stationary, measurements around the truck | 0km/h | Parking space, Kaiserwald |
| 7 a |  | EGO and TARGET driving in opposite directions with constant velocity | 30 km/h | Fernitz |
| 7 b |  | EGO and TARGET driving in opposite directions with constant velocity | 80 km/h 100 km/h | rural street - L311 and L325 |

| | | | | |
|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| <p>7 c</p> |  | <p>EGO and TARGET driving in opposite directions with constant velocity</p> | <p>100 km/h or 130 km/h</p> | <p>Motorway A2</p> |
| <p>8 a</p> |  | <p>EGO and TARGET are moving in the same direction with different distance between</p> | <p>30 km/h or 50km/h</p> | <p>Graz City - Krenngasse (densely populated urban area)</p> |
| <p>8 b</p> |  | <p>EGO and TARGET are moving in the same direction with different distance between</p> | <p>EGO: 50km/h, TARGET: 100km/h</p> | <p>rural street - L311 and L325</p> |
| <p>8 c</p> |  | <p>EGO and TARGET are moving in the same direction with different distance between</p> | <p>TARGET: 130km/h EGO: 80km/h</p> | <p>Motorway A2</p> |

Appendix

Scenario protocoll Monday 04.08.2014

| Data set | No. (Scenario- plan) | Time | Driver S3 | km/h | Driver A4 | km/h | Area | Weather condition | # Sat | GPS | Comment | Tear off [m] | Build up [m] |
|----------|----------------------------|-------|--------------------|------|----------------|------|---------------------------------|----------------------|-------|-----|---------------------------------------------------------------|-----------------|-----------------|
| 0000 | 6 | 11:26 | Gerald Markovic | | Robert Kalcher | | Raststation Kaiserwald | dry | | | | | |
| 0001 | | | | | | | | | | | Error | | |
| 0002 | 6 | 11:29 | Gerald Markovic | | Robert Kalcher | | Raststation Kaiserwald | dry | 12 | 8 | | | |
| 0003 | 6 | 11:31 | Gerald Markovic | | Robert Kalcher | | Raststation Kaiserwald | dry | 13 | 8 | | 351 | |
| 0004 | 6 | 11:35 | Gerald Markovic | | Robert Kalcher | | Raststation Kaiserwald | dry | 14 | 8 | With Repeater | | |
| 0004 | | 11:45 | Gerald Markovic | | Robert Kalcher | | von Kaiserwald auf A2 | | 13 | 8 | | | |
| 0005 | 8 c | 11:55 | Gerald Markovic | 80 | Robert Kalcher | 100 | A2 | | 12 | 8 | 2 Measurements in set | 709 (777) | 916 |
| | 8 c | | | | | | | | | | | 920 | 644 |
| 0005 | 8 c | 11:58 | Gerald Markovic | 130 | Robert Kalcher | 80 | A2 | | 10 | 2 | 2 Measurements in set | 679 | 845 |
| 0006 | 8 c | 12:33 | Gerald Markovic | | Robert Kalcher | | A2 ab Sinabelkirchen | | | | 2 Measurements in set | | |
| 0006 | 8 c | | Gerald Markovic | | Robert Kalcher | | | | | | With Repeater | | |
| 0007 | 8 b | | Gerald Markovic | 80 | Robert Kalcher | 70 | Bundesstr. bis Nestelbach | | | | Rural street, Choda turns off, CAPS not, ca. 11:47, 13:40, | 259 | 232 |
| | | | | 65 | | 60 | | | | | | 370 | 205 |
| | | | | 45 | | 30 | | | | | | 289 | 297 |
| | | | | | | | | | | | | 228 | 205 |
| 0008 | 8 b | 13:20 | Gerald Markovic | 40 | Robert Kalcher | 50 | Nestelbach - Graz Bundesstr. | | | | Variation of distance | 326 | 297 |
| | | | | 50 | | 55 | | | | | | 295 | 287 |
| | | | | | | | | | | | | 268 | 249 |
| | | | | | | | | | | | | 228 | 297 |
| | | | | | | | | | | | | 177 | 176 |
| | | | | | | | | | | | | 234 | 270 |
| | | | | 21 | | 45 | | | | | | 144 | 223 |

Figure Appendix A.3-1 Scenario Protocol Monday 04.08.2014

Scenario protocoll Tuesday 05.08.2014

| Data set | No. (Scenario-plan) | Time | Driver S3 | km/h | Driver A4 | km/h | Area | Weather condition | # Sat | GPS | Comment | Tear off [m] | Build up [m] |
|----------|---------------------|-------|-----------------|------|----------------|------|--------------------------|-------------------|-------|-----|--------------------------------------------------------|--------------|--------------|
| 0000 | | | | | | | Uni - Liebenau | | | | Just driving | | |
| 0001 | | | | | | | Graz Ost - Kaiserwald | | | | Just driving | | |
| 0002 | 8 c | 09:25 | Gerald Markovic | 125 | Robert Kalcher | 81 | Kaiserwald - Mooskirchen | dry | 14 | 8 | Good measurement | 1118 | 669 |
| 0003 | 8 c | 09:44 | Gerald Markovic | | Robert Kalcher | | Mooskirchen - Steinberg | dry | 14 | 4 | | 750 | 653 |
| 0004 | 8 c | 09:44 | Gerald Markovic | | Robert Kalcher | | Steinberg - Lannach | dry | 14 | 4 | 80km/h - 130km/h | 610 (901) | 915 (901) |
| 0005 | | 09:48 | Gerald Markovic | 80 | Robert Kalcher | 100 | Lannach - Graz | dry | 15 | 8 | with overtaking | 517 (604) | 374 |
| 0006 | | 09:59 | Gerald Markovic | | Robert Kalcher | | Graz - Fernitz | dry | 15 | 8 | just driving | | |
| 0007 | 1 b | 10:30 | Gerald Markovic | 30 | Robert Kalcher | 0 | Fernitz | dry | 15 | 8 | sparsely populated area 30km/h, shielding trough house | 55 | |
| 0008 | 1 b | 10:35 | Gerald Markovic | 30 | Robert Kalcher | 0 | Fernitz | dry | | | good measurement, 2x in set | | 117 |
| | | | | | | | | | | | turn around | 74 | 121 |
| | | | | | | | | | | | | 80 (94) | 122 |
| | | | | | | | | | | | | 75 (131) | |
| 0009 | 7 a | 10:56 | Gerald Markovic | | Robert Kalcher | | Fernitz | dry | | | 2x in set | | 122 |
| | | | | | | | | | | | | 96 | 90 |
| | | | | | | | | | | | | 138 | LoS 369 |
| 0010 | | 11:13 | Gerald Markovic | | Robert Kalcher | | Fernitz- Gartengasse | dry | | | just driving | | |
| 0011 | 1 a | | Gerald Markovic | | Robert Kalcher | | Gartengasse | dry | 9 | 4 | TARGET directly at junction | | 113 (251) |
| | | | | | | | | | | | | 82 | |
| | | | | | | | | | | | | | LoS 159 |
| 0012 | 1 a | 12:00 | Gerald Markovic | | Robert Kalcher | | Gartengasse | dry | 3 | 1 | TARGET a little away from junction | | 71 |
| | | | | | | | | | | | | 112 | 136 |
| | | | | | | | | | | | | 92 | |
| 0013 | 8 a | | Gerald Markovic | | Robert Kalcher | | Gartengasse | dry | | | | 98 | |

Figure Appendix A.3-2 Scenario Protocol Tuesday 05.08.2014

Appendix

| Scenario protocol Wednesday 06.08.2014 | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------------------|----------------------------|-------|-----------------|------|--------------------|------|---------------------------------------------------------------|----------------------|-------|-----|------------------------------------|--------------|---------------------------------|
| Data set | No. (Scenario- plan) | Time | Driver S3 | km/h | Driver A4 | km/h | Area | Weather condition | # Sat | GPS | Comment | Tear off [m] | Build up [m] |
| 0000 | | 09:18 | Gerald Markovic | | Robert Kalcher | | Infelgasse | trocken | | | just driving | | |
| 0001 | 5 | | Gerald Markovic | | Robert Kalcher | | Infelgasse | trocken | | | Area of the University | 87 | 93 |
| 0002 | 5 | 09:25 | Gerald Markovic | | Robert Kalcher | | Infelgasse | trocken | 14 | 8 | Area of the University | 84 | 79 |
| 0003 | 1c | 09:55 | Gerald Markovic | 100 | Robert Kalcher 0 | | Graz - Lasnitzhöhe A2 | trocken | 14 | 4 | | | 550 |
| 0004 | 1c | 09:59 | Gerald Markovic | 100 | Robert Kalcher 0 | | E: Lasnitzhöhe - Graz A2 T: Raststation Lastnitzhöhe | trocken | 14 | 4 | | 484 | 389 |
| 0005 | 7 c | 10:11 | Gerald Markovic | 110 | Robert Kalcher 110 | | E: Graz - Lasnitzhöhe T:Lasnitzhöhe - Graz | trocken | 15 | 8 | | 905 | 867 |
| 0006 | | | | | | | | | | | Error | | |
| 0007 | 7 b | 10:37 | Gerald Markovic | | Robert Kalcher | | E: OBI Richtung Graz T: Graz- Obi | trocken | 15 | 8 | E: stop-go T: stop-go | | 326 |
| 0008 | 7 b | 10:44 | Gerald Markovic | 60 | Robert Kalcher 60 | | E: OBI Richtung Graz T: Graz- Obi | trocken | | | | 476 | 472 |
| 0009 | 8 c | 12:07 | Gerald Markovic | | Robert Kalcher | | Kaiserwald - Graz | trocken | 14 | 8 | | | |
| 0010 | | 12:58 | Gerald Markovic | | Robert Kalcher | | Puchwerk -Murpark | trocken | 11 | 8 | just driving | | |
| 0011 | | 13:01 | Gerald Markovic | | Robert Kalcher | | Murpark - Messe | trocken | 7 | 4 | just driving | | |
| 0012 | | 13:05 | Gerald Markovic | | Robert Kalcher | | Messe - Klosterwiesgasse | trocken | | | just driving | 58 | 299 379 LoS 179 |
| 0013 | 1 a | | Gerald Markovic | 30 | Robert Kalcher 0 | | | trocken | | | TARGET a little away from junction | 142 | 206 (265) LoS 324 LoS 208 |
| 0014 | 1a | 13:58 | Gerald Markovic | 30 | Robert Kalcher 0 | | Klosterwiesgasse - Schützenhofgasse | trocken | 8 | 4 | TARGET away from junction | 143 | 209 186 |
| 0015 | 1a | 14:05 | Gerald Markovic | 30 | Robert Kalcher 0 | | Klosterwiesgasse - Schützenhofgasse | | 7 | 4 | TARGET directly at junction | | |

Figure Appendix A.3-3 Scenario Protocol Wednesday 06.08.2014

Table Appendix A.3-2 Distances of the Field Tests

| Urban, n=27 | Rural, n=24 | Highway, n=18 | |
|-------------|-------------|---------------|-----------------|
| 55 | 259 | 709 | 25 Rural |
| 117 | 232 | 920 | 28 Urban |
| 74 | 370 | 915 | 20 Motorway |
| 121 | 205 | 644 | |
| 112 | 289 | 679 | 70 Measurements |
| 80 | 297 | 845 | |
| 122 | 228 | 1118 | |
| 75 | 205 | 669 | |
| 122 | 326 | 750 | |
| 96 | 297 | 653 | |
| 90 | 295 | 610 | |
| 138 | 287 | 901 | |
| 369 | 268 | 517 | |
| 113 | 249 | 374 | |
| 82 | 228 | 550 | |
| 159 | 297 | 484 | |
| 71 | 117 | 389 | |
| 112 | 176 | 905 | |
| 136 | 234 | 867 | |
| 92 | 270 | | |
| 98 | 144 | | |
| 87 | 223 | | |
| 93 | 326 | | |
| 84 | 476 | | |
| 79 | 472 | | |
| 143 | | | |
| 209 | | | |
| 186 | | | |

A.4 Simulation

In Figure Appendix A.4-1 to Figure Appendix A.4-3 only the reconstructed accidents of the CEDATU and the data of the Statistics Austria are analyzed, to investigate the comparability to each other.

About 80% of the accidents could have been prevented. Figure Appendix A.4-4 to Figure Appendix A.4-6 show the possible effectiveness of the system regarding different aspects.

When looking at the frequency of the Accidents present in CEDATU and registered in Statistics Austria it is clear that single vehicle happen about 30% in reality, but are below 5% in CEDATU (Figure Appendix A.4-1), while the comparison between the participating vehicles is very close (Figure Appendix A.4-2, Figure Appendix A.4-3). All together the CEDATU has a very good comparability to the national accident statistics, but we only looked at a small part of the motorcycle accidents useful for our task.

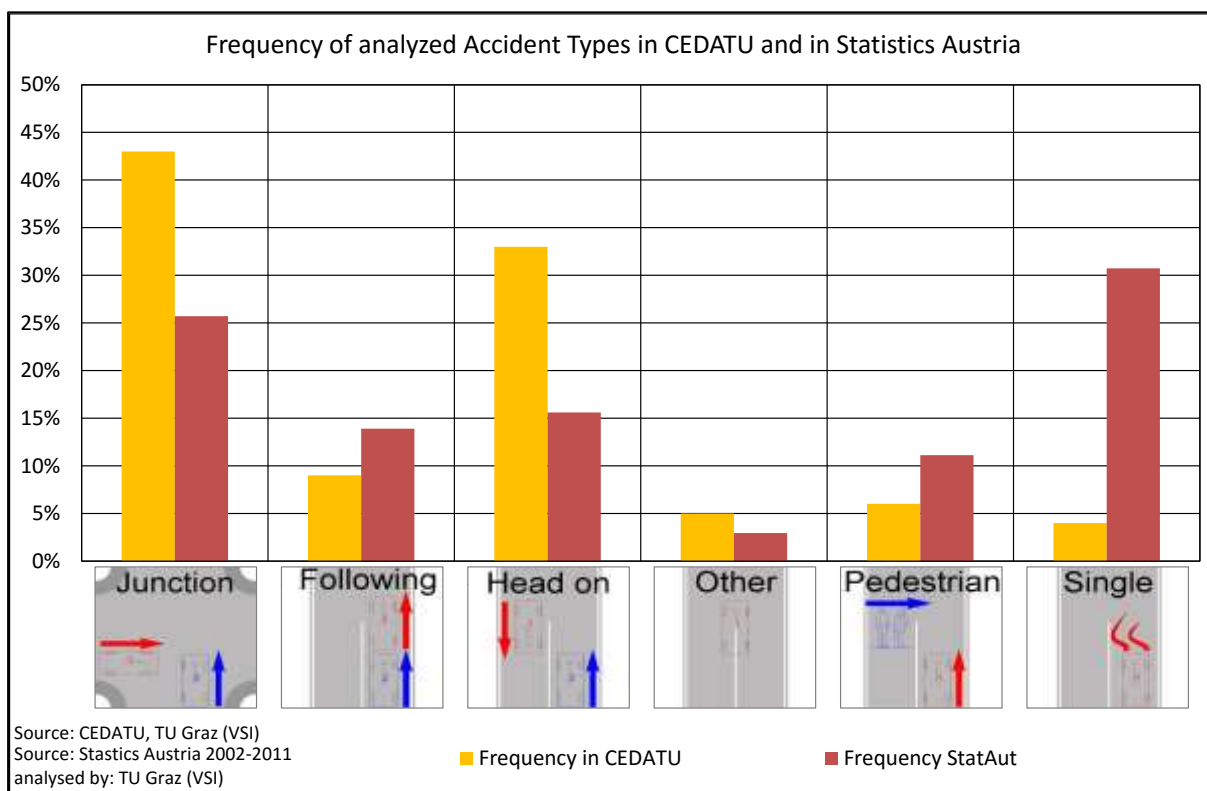


Figure Appendix A.4-1 Frequency of analyzed Accident Types in CEDATU and in Statistics Austria

Appendix

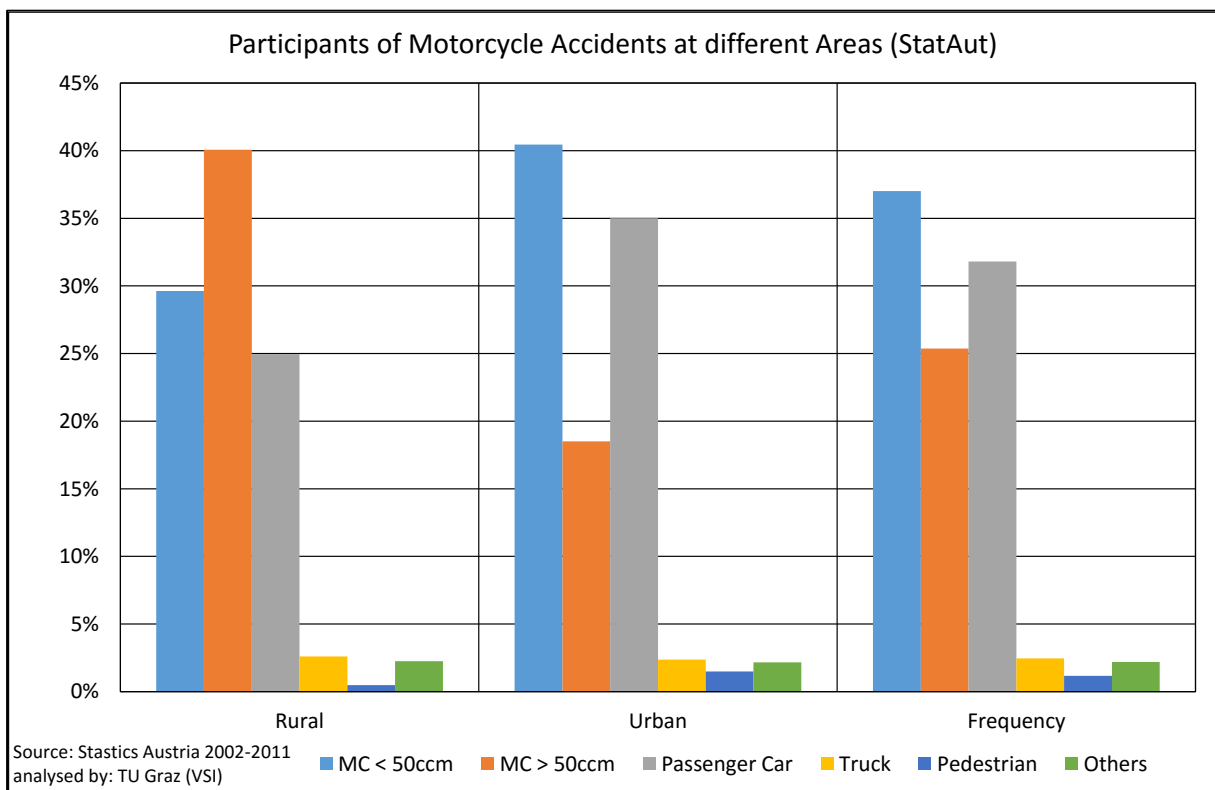


Figure Appendix A.4-2 Participants of Motorcycle Accidents at different Areas (StatAut)

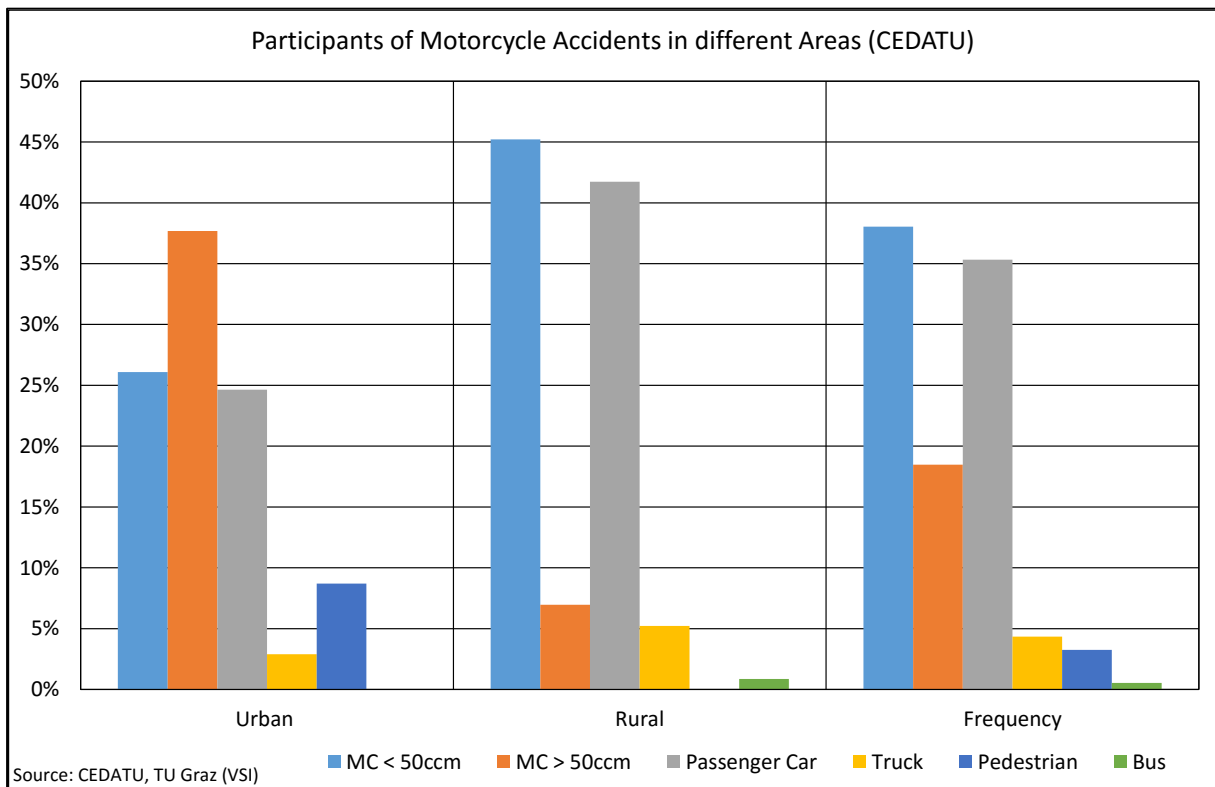


Figure Appendix A.4-3 Participants of Motorcycle Accidents in different Areas (CEDATU)

The C2X should be as effective in rural as in urban areas (Figure Appendix A.4-4).

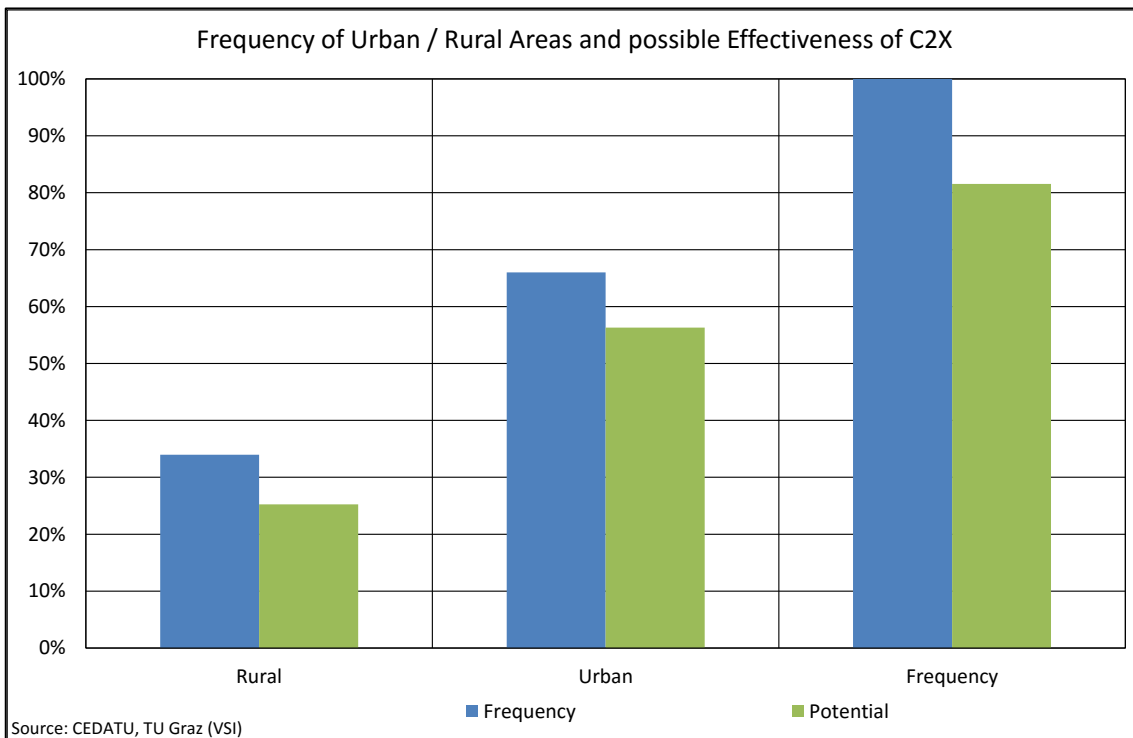


Figure Appendix A.4-4 Frequency of Urban / Rural Areas and possible Effectiveness of C2X

Also it can be sad, that is effective in every initial velocity though there is a slightly better effectivity in higher velocities. (Figure Appendix A.4-5).

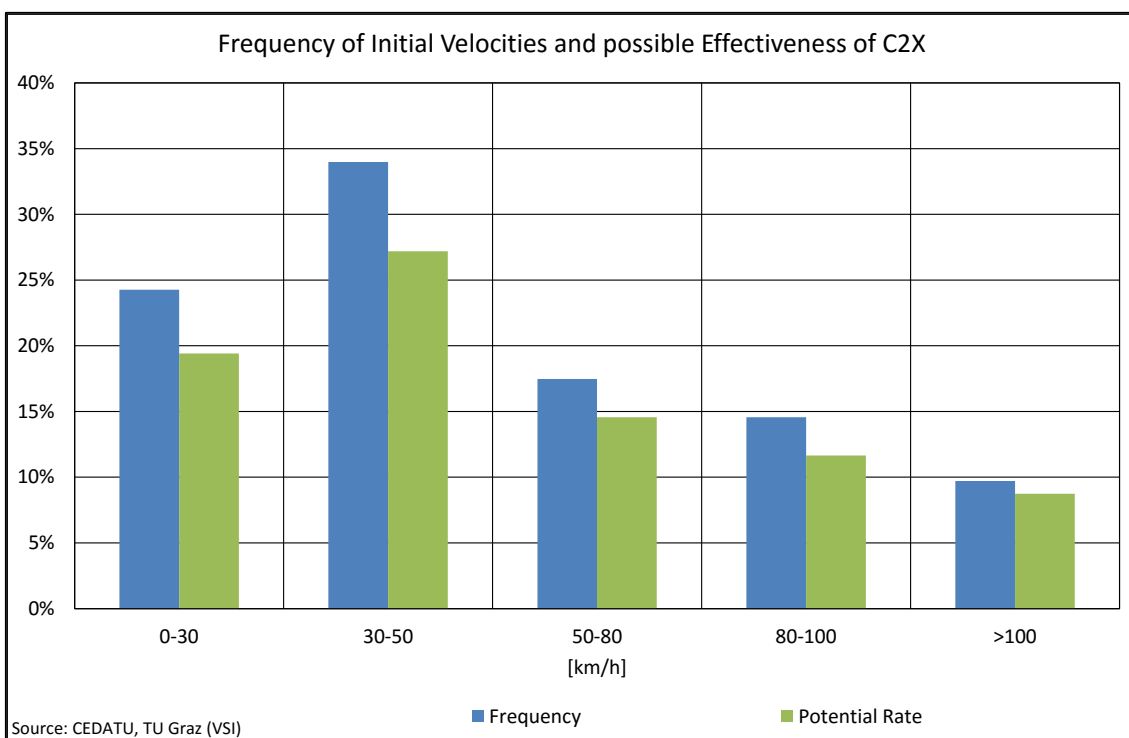


Figure Appendix A.4-5 Frequency of Initial Velocities and possible Effectiveness of C2X

At the maneuvers the less effective is reducing speed with and without any following action (Figure Appendix A.4-6).

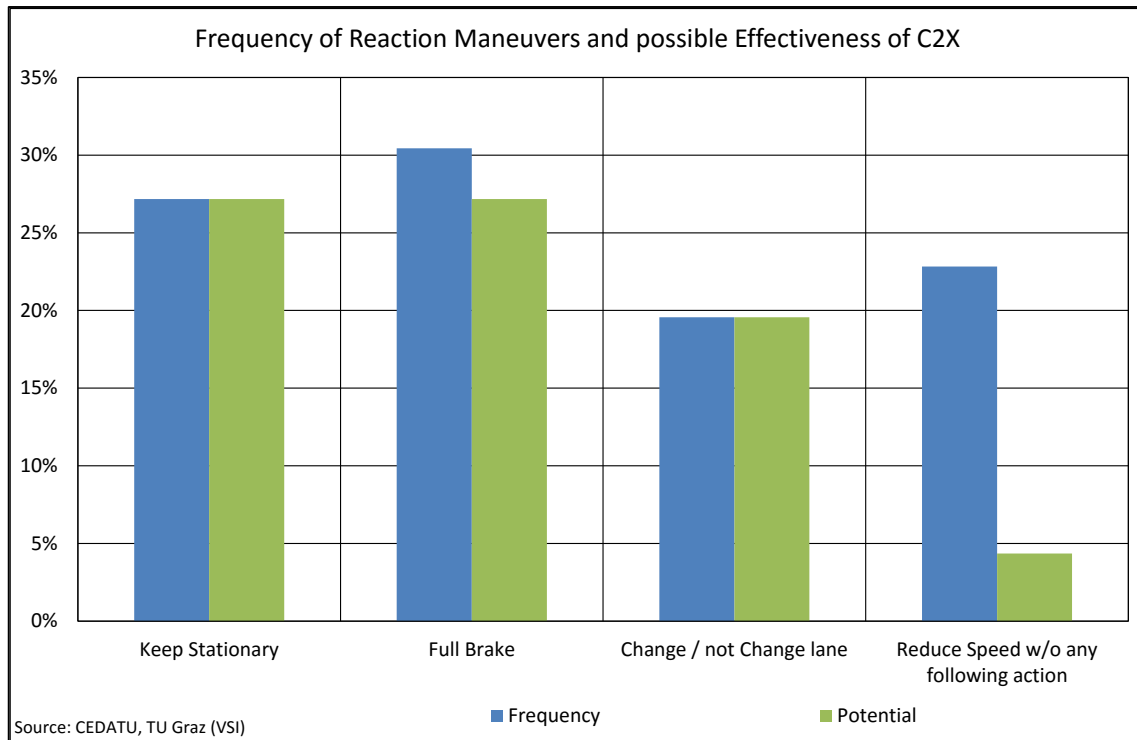


Figure Appendix A.4-6 Frequency of Reaction Maneuvers and possible Effectiveness of C2X