

# **Entwicklung eines Verfahrens zur Generierung eines Safety Performance Indicators aus der Bewertung von Euro NCAP**

**Berichte der  
Bundesanstalt für Straßenwesen**

**Fahrzeugtechnik Heft F 144**

**bast**

# **Entwicklung eines Verfahrens zur Generierung eines Safety Performance Indikators aus der Bewertung von Euro NCAP**

von

Marcus Bäumer  
Heinz Hautzinger  
Manfred Pfeiffer

IVT Research GmbH  
Mannheim

**Berichte der  
Bundesanstalt für Straßenwesen**

**Fahrzeugtechnik Heft F 144**

**bast**

Die Bundesanstalt für Straßenwesen veröffentlicht ihre Arbeits- und Forschungsergebnisse in der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen**. Die Reihe besteht aus folgenden Unterreihen:

- A - Allgemeines
- B - Brücken- und Ingenieurbau
- F - Fahrzeugtechnik
- M - Mensch und Sicherheit
- S - Straßenbau
- V - Verkehrstechnik

Es wird darauf hingewiesen, dass die unter dem Namen der Verfasser veröffentlichten Berichte nicht in jedem Fall die Ansicht des Herausgebers wiedergeben.

Nachdruck und photomechanische Wiedergabe, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung der Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Kommunikation.

Die Hefte der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen** können direkt bei der Carl Ed. Schünemann KG, Zweite Schlachtpforte 7, D-28195 Bremen, Telefon: (04 21) 3 69 03 - 53, bezogen werden.

Über die Forschungsergebnisse und ihre Veröffentlichungen wird in der Regel in Kurzform im Informationsdienst **Forschung kompakt** berichtet. Dieser Dienst wird kostenlos angeboten; Interessenten wenden sich bitte an die Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Kommunikation.

Die **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt)** stehen zum Teil als kostenfreier Download im elektronischen BASt-Archiv ELBA zur Verfügung.  
<https://bast.opus.hbz-nrw.de>

#### **Impressum**

Bericht zum Forschungsprojekt 82.0736  
Entwicklung eines Verfahrens zur Generierung eines Safety Performance Indikators aus der Bewertung von Euro NCAP

#### **Fachbetreuung**

Adrian Hellmann

#### **Referat**

Aktive Fahrzeugsicherheit und Fahrerassistenzsysteme

#### **Herausgeber**

Bundesanstalt für Straßenwesen  
Brüderstraße 53, D-51427 Bergisch Gladbach  
Telefon: (0 22 04) 43 - 0

#### **Redaktion**

Stabsstelle Presse und Kommunikation

#### **Druck und Verlag**

Fachverlag NW in der  
Carl Ed. Schünemann KG  
Zweite Schlachtpforte 7, D-28195 Bremen  
Telefon: (04 21) 3 69 03 - 53  
Telefax: (04 21) 3 69 03 - 48  
[www.schuenemann-verlag.de](http://www.schuenemann-verlag.de)

ISSN 0943-9307

ISBN 978-3-95606-677-1

Bergisch Gladbach, April 2022

## Kurzfassung – Abstract

### Entwicklung eines Verfahrens zur Generierung eines Safety Performance Indikators aus der Bewertung von Euro NCAP

Das European New Car Assessment Programme (Euro NCAP) ist ein verbraucherorientiertes Programm zur Bewertung der Sicherheit von – in der Regel – neuen Kraftfahrzeugmodellen. Das Programm gibt es seit 1997, seit 2009 besteht die Bewertung aus 4 Bausteinen (1. Schutz erwachsener Insassen; 2. Schutz von Kindern im Fahrzeug; 3. Schutz schwächerer Verkehrsteilnehmer; 4. Ausstattung mit Fahrerassistenzsystemen).

Das Hauptziel des vorliegenden Projekts bestand darin, die Testergebnisse aus Euro NCAP soweit möglich auf die gesamte Pkw-Flotte zu übertragen und daraus einen Safety Performance Indikator (SPI) für den Pkw-Bestand mehrerer aufeinander folgender Jahre (Zeitreihe) zu bilden. Ein weiteres Ziel war es zu untersuchen, ob ein Zusammenhang zwischen der Euro NCAP-Bewertung von Fahrzeugen und dem Unfallgeschehen existiert. Neben Literaturanalysen wurden hierzu statistische Modelle zum Einfluss der durch den SPI ausgedrückten Fahrzeugsicherheit auf die korrespondierende Zahl der Verunglückten aus der amtlichen Straßenverkehrsunfallstatistik geschätzt.

Ein wesentlicher Schritt bei der Entwicklung eines SPI zur Fahrzeugsicherheit bestand darin, die Euro NCAP-Testergebnisse der verschiedenen Jahre im Hinblick auf die im Zeitverlauf geänderten Testprozeduren soweit als möglich vergleichbar zu machen. Hierfür wurde eine Projektgruppe bestehend aus Experten der BAST in den Bereichen Aktive und Passive Fahrzeugsicherheit gebildet, welche die Aufgabe hatte, je Baustein zu quantifizieren, wie sich diese Veränderungen der Testprozeduren auf die Fahrzeugbewertung auswirken. Dabei wurden die Testrahmenbedingungen des Jahres 2020 als Referenz herangezogen.

Der zweite wesentliche Schritt zur Erzeugung eines Safety Performance Indikators bestand darin, die – neu berechneten – Euro NCAP-Ergebnisdaten für die einzelnen getesteten Marken und Modelle mit den ZFZR-Beständen (1.1.2014 bis 1.1.2020) zu verknüpfen (matching).

Die Verknüpfung der ZFZR-Bestandsdaten mit den Euro NCAP-Bewertungsdaten erfolgte über einen

komplexen Algorithmus, der im Kern auf den Merkmalen Fabrikatcode, Modellcode und Jahr der Erstzulassung basiert.

Im Ergebnis konnte im Durchschnitt über die hier betrachteten sieben Bestandsjahre (Stichtage: 1.1.2014 bis 1.1.2020) von den neueren Fahrzeugen (Erstzulassungsjahr ab 2009) rund 70 % eine Euro NCAP-Bewertung zugeordnet werden. Den übrigen Pkw im ZFZR-Bestand wurde die fehlende Bewertung über Imputationsverfahren zugewiesen.

Es wurden insgesamt vier (bausteinspezifische) Safety Performance Indikatoren gebildet, die auf den neu berechneten und vereinheitlichten Fahrzeugbewertungen aus Euro NCAP basieren. Bei den genannten Indikatoren handelt es sich um Durchschnittswerte der Sicherheitsbewertung der im ZFZR erfassten Pkw. Aus diesen vier Indikatoren wurde dann noch ein Safety Performance Gesamtkindikator mittels gewichtetem Mittelwert berechnet. Im Ergebnis liegen damit Zeitreihen der vier bausteinspezifischen SPI-Werte sowie des SPI-Gesamtwerts vor.

Das zentrale Ergebnis der Analysen der SPI-Zeitreihen ist, dass alle Indikatoren einen im Zeitverlauf ansteigenden Trend aufweisen. Dies ist ein klares Indiz dafür, dass der Sicherheitsstandard nicht nur bei den Neufahrzeugen, sondern auch bezogen auf den gesamten Pkw-Bestand in den letzten Jahren kontinuierlich gestiegen ist.

Die höchsten Indikatorwerte finden sich beim SPI zum Baustein 2 (Schutz von Kindern im Fahrzeug), am niedrigsten fallen sie hinsichtlich der Ausstattung mit Fahrerassistenzsystemen aus (SPI zum Baustein 4).

Gliedert man die Indikatoren zusätzlich nach Pkw-Segment, so finden sich bei SUV's, gefolgt von Geländewagen, Großraum-Vans und der Oberklasse die höchsten Werte beim SPI-Gesamtwert. Dass die SUV's den höchsten SPI aufweisen, hat allerdings auch damit zu tun, dass es sich um ein relativ neues Segment handelt, in dem der Anteil älterer Fahrzeuge vergleichsweise niedrig ist.

Im Rahmen der Unfallanalyse wurden log-lineare Regressionsmodelle gerechnet, um den Einfluss der vier SPI auf die jeweils entsprechenden Unfallmerkmale (verunglückte Pkw-Insassen, Fußgänger und Radfahrer, unfallbeteiligte Pkw) zu ermitteln. Darüber hinaus wurde der Zusammenhang zwischen dem SPI-Gesamtwert und den resultierenden monetären volkswirtschaftlichen Unfallkosten

analysiert. Die statistischen Auswertungen zum Zusammenhang zwischen SPI und Unfallgeschehen zeigten in allen Fällen, dass ein höherer Wert des entsprechenden Safety Performance Indikators mit einer geringeren Zahl an verunglückten Personen bzw. unfallbeteiligten Pkw einhergeht. In Bezug auf die Unfallkosten ergab sich, dass bei einer Zunahme des Gesamt-SPI der Pkw-Flotte um 1 % die entsprechenden Unfallkosten ceteris paribus um 0,7 % sinken.

Zudem wurden bei der Konzeption des Projektes bereits die wesentlichen Voraussetzungen für eine kontinuierliche Fortführung der SPI-Zeitreihen in den nächsten Jahren geschaffen.

### **Method Development Study on Generating a Safety Performance Indicator based on Euro NCAP Assessment Results**

The European New Car Assessment Programme (Euro NCAP) is a consumer protection orientated programme for the safety assessment of – as a rule – new car models. The programme was established in 1997, since 2009 it has consisted of 4 Boxes (1. Adult Occupant Protection; 2. Child Occupant Protection; 3. Vulnerable Road User Protection; 4. Safety Assist Systems).

The main objective of this project was to transfer the test results from Euro NCAP onto the overall car fleet wherever possible and to use this to form a Safety Performance Indicator (SPI) for the vehicle stock over several consecutive years (time series). A further objective was to investigate whether or not a relationship exists between the Euro NCAP assessment of vehicles and accident occurrences. For this purpose, in addition to literature analyses, statistical models were estimated on the effect of vehicle safety expressed by the SPI on the corresponding number of persons injured in accidents taken from the official road traffic accident statistics.

A fundamental step in the development of an SPI of vehicle safety consisted of making the Euro NCAP test results from the various years comparable as far as possible with regard to the test procedures which had changed in the course of time. For this purpose, a project group was formed consisting of experts from the Federal Highway Research Institute (BAST) in the fields of active and passive vehicle safety which had the task of quantifying, for

each Box, the extent to which these changes to the test procedures affect the vehicle assessment. The test conditions of the year 2020 were used as reference.

The second fundamental step in generating a Safety Performance Indicator consisted of linking (matching) the – newly calculated – Euro NCAP result data for the individually tested makes and models to the Central Vehicle Register inventories (1.1.2014 to 1.1.2020).

The matching of the Central Vehicle Register inventory data with the Euro NCAP assessment data was carried out using a complex algorithm which is based, in essence, on the characteristics of make code, model code and year of initial registration.

As a result, on average over the seven years observed here (reference dates: 1.1.2014 to 1.1.2020), around 70% of the newer vehicles (initial registration year from 2009) were able to be allocated to a Euro NCAP assessment. The remaining cars in the Central Vehicle Register inventory were assigned the missing assessment using an imputation procedure.

A total of four (Box-specific) Safety Performance Indicators were formed which are based on the newly calculated and standardised vehicle assessments from Euro NCAP. The specified indicators are mean values of the corresponding safety assessment of the cars recorded in the Central Vehicle Register. Using these four indicators, an Overall Safety Performance Indicator was then also calculated using weighted average. Thus, as a result, time series for the four Box-specific SPI values as well as the overall SPI value are available.

The core result of the analyses of the SPI time series is that all indicators show an increasing time trend. This is a clear indication that the safety standard has not only continuously risen in recent years for new vehicles, but also in terms of the overall car fleet.

The highest indicator values can be found in the SPI for Box 2 (Child Occupant Protection), they turn out lowest with regard to the Safety Assist Systems (SPI for Box 4). If the indicators are additionally grouped into car segment, then SUVs, followed by ATVs, commercial vans and the luxury class show the highest values in the overall SPI value. The fact that SUVs have the highest SPI is certainly also

related to the fact that this is a relatively new segment in which the share of older vehicles is comparably low.

As part of the accident analysis, log-linear regression models were estimated in order to determine the effect of the four SPIs on each of the corresponding accident characteristics (injured car occupants, pedestrians and cyclists, cars involved in accidents). In addition, the relationship between the overall SPI value and the resulting monetary economic accident costs was analysed. The statistical assessments on the association between SPI and accident occurrences show, in all cases, that a higher value of the corresponding Safety Performance Indicator is accompanied by a lower number of persons injured in accidents or cars involved in accidents. With regard to accident costs, the results here were a (significant) reduction of the accident costs by around 0.7%, when the overall SPI increases by 1%.

In addition, in the concept of the project, the fundamental prerequisites for an uninterrupted continuation of the SPI time series in the following years were already created.

## Summary

### Method Development Study on Generating a Safety Performance Indicator based on Euro NCAP Assessment Results

## 1 Objective

The European New Car Assessment Programme (Euro NCAP) is a consumer protection orientated programme for the safety assessment of – as a rule – new car models. The programme was established in 1997, since 2009 it has consisted of the following 4 Boxes:

- Adult Occupant Protection (Box 1)
- Child Occupant Protection (Box 2)
- Vulnerable Road User Protection (Box 3)
- Safety Assist Systems (Box 4)

Within each Box, several individual tests in which crash tests play an important role are carried out. Each is assessed using points. The safety assessment of a model is indicated using ‘stars’ (0 to 5). For every Box, the proportion of achieved test points is first established and then translated into a star rating using a predetermined table containing threshold values. In addition, an overall assessment – also in the form of stars – is created for each vehicle model.

The main objective of this project was to transfer the test results from Euro NCAP onto the overall car fleet wherever possible and to use this to form a Safety Performance Indicator (SPI) for the vehicle stock over several consecutive years (time series). The purpose of this SPI is to provide a condensed description of the level and development of vehicle safety in the German car fleet using one or a small number of parameters.

A further objective was to investigate whether or not a relationship exists between the Euro NCAP assessment of vehicles and accident occurrences. For this purpose, in addition to literature analyses, statistical models were estimated on the effect of (average) vehicle safety expressed by the SPI on the corresponding number of casualties taken from the official traffic accident statistics.

The following data sources served as basis for the development of the Safety Performance Indicators:

- Euro NCAP test results between 2009 and 2019
- Car inventory data from the Central Vehicle Register (Zentrales Fahrzeugregister) of the Federal Motor Transport Authority (Kraftfahrt-Bundesamt) between 2009 and 2020 (each on the reference date 1.1.)

Data for the analysis of accidents was taken from the official road traffic accident statistics of the Federal Statistical Office (DESTATIS).

## 2 Methodology

The assessment of vehicles in Euro NCAP has been subjected to continuous changes over the years. This has affected the threshold values for the allocation of the stars and, in particular, the type and number of the tests carried out. In different years, the requirements for a good rating were raised in some tests or they were replaced by new test procedures. In addition, certain procedural elements were also completely removed from the programme from a certain date.

This leads to the Euro NCAP results for vehicle models assessed in different years not or only conditionally being comparable with each other. However comparability is a necessary prerequisite in order to derive an SPI time series related to the overall car inventory from the Euro NCAP results.

A fundamental step in the development of an SPI of vehicle safety therefore consisted of making the test results from the various years comparable as far as possible with regard to the test procedures which had changed in the course of time. For this purpose, a project group was formed consisting of experts from the Federal Highway Research Institute (BAST) in the fields of active and passive vehicle safety which had the task of quantifying, for each Box, the extent to which these changes to the test procedures affect the vehicle assessment. As changes to the test procedures tend to mean their intensification, specifically reduction factors were defined with which the assessment results for earlier test years were lowered accordingly. In doing so, the test conditions of the year 2020 were applied as reference, i.e. the corrected test results thus correspond to the hypothetical case that in the years

2009 to 2019 the test procedures of the year 2020 would already have been valid.

The reduction factors determined by the group of experts for the individual test years were (per Box) applied to the proportion of test points which a model had achieved and these were thereby lowered accordingly. The final translation (transformation) of these newly calculated proportional values into stars was carried out using the threshold values of the year 2020.

The second fundamental step in generating a Safety Performance Indicator (SPI) consisted of linking (matching) the – newly calculated – Euro NCAP result data (proportion of achieved points, number of stars) for the individually tested makes and models to the Central Vehicle Register inventories (1.1.2014 to 1.1.2020). The matching of the Central Vehicle Register inventory data with the (corrected) Euro NCAP assessment data was carried out using a complex algorithm which is based, in essence, on the characteristics of make code and model code. In this context, it was also necessary to identify the series (model generation) of the respective model tested in Euro NCAP in the inventory. However this information is not available in the Central Vehicle Register data. Therefore, in addition to the characteristics of make and model, the year of initial registration also needed to be drawn upon in order to be able to establish a connection with the Euro NCAP data. In addition, vehicle facelifts (if tested) were also taken into account in the matching algorithm.

As a result, on average over the seven years observed here (reference dates: 1.1.2014 to 1.1.2020), around 70% of the newer vehicles (initial registration year from 2009) were able to be allocated to a Euro NCAP assessment. Cars with an initial registration from 2009 to which no assessment could be allocated (because they were not tested or could not be found in the Central Vehicle Register) were assigned the average value of the Euro NCAP assessment according to car segment and initial registration year using an imputation procedure. In agreement with the client and experts, vehicles which were first registered for use on the road before 2009 and for which no Euro NCAP assessment could be identified were given the value '0% of points achieved' i.e. '0 stars'.

The average Box-specific star assessment was used as Safety Performance Indicator. Box-specific

average values of the characteristic 'Number of stars according to Euro NCAP (0 to 5)' were calculated per observed inventory date (from 2014) for the overall car fleet. These are based on the newly calculated and standardised Box-specific vehicle assessments from Euro NCAP. These mean values can be characterised as 'Box-specific Safety Performance Indicators of the car fleet referenced to 2020' and are referred to as

#### **SPI (Box x) of the car fleet**

hereinafter.

In this way, a total of four Safety Performance Indicators were formed which are, as mentioned above, Box-specific mean values of the corresponding safety assessment of the cars recorded in the Central Vehicle Register. Using these four indicators, an Overall Safety Performance Indicator

#### **SPI (overall) of the car fleet**

was then calculated (weighted average, in which – analogue to the Euro NCAP procedure – the four Boxes were weighted to the ratio 40:20:20:20).

As part of the accident analysis, log-linear regression models were calculated in order to estimate the effect of the four stated SPIs on corresponding accident characteristics. The overall mileage of the car was taken into account in the modelling as additional explanatory variable. In the analysis of the relationship between the individual Safety Performance Indicators and the accident occurrences, the following data from the official road traffic accident statistics which are matched with the corresponding SPI were used:

SPI\_1: Annual number of casualties/ fatalities/ seriously injured/ slightly injured car users aged 12 and over (2013 to 2019)

SPI\_2: Annual number of casualties/ fatalities/ seriously injured/ slightly injured car users aged under 12 (2013 to 2019)

SPI\_3: Annual number of casualties/ /fatalities/ seriously injured/ slightly injured cyclists or pedestrians (each in a collision with a car) (2013 to 2019)

SPI\_4: Annual number of cars involved in an accident/ cars mainly responsible (in accidents involving personal injuries) (2013 to 2019)

### 3 Study results

Figure 1 shows the key result of the transfer of the Euro NCAP assessments to the overall car fleet, i.e. the time series of the four Box-specific SPI values as well as the overall SPI value.

The results consistently show an increasing time trend. Due to the dynamics of the inventory – more poorly assessed older vehicles are replaced by better assessed newer vehicles – the average vehicle safety of the car fleet continuously increases. The highest indicator values can be found in Box 2 (Child Occupant Protection), they are lowest in Box 4 (Safety Assist Systems). Generally speaking, the level of the SPI values is relatively low (in relation to the value range 0 to 5) which essentially has two causes:

On the one hand, an effect was caused by the fact that, with regard to the reduction factors for the standardisation i.e. comparability of the Euro NCAP assessments (experts), the test conditions of the year 2020 were consistently used as reference. Because of this, for example for Box 4, the test results for the models assessed between 2009 and 2012 were reduced to around one third of their original value. This is reflected accordingly in the values projected to the car fleet.

On the other hand, this is of course also due to the fact that the inventory on a reference date is distributed over many initial registration years. In this context, an effect was also caused by the definition that vehicles with initial registration year of before 2009 are allocated a 0-star rating using imputation, because before 2009 – as explained above – no (comparable) Euro NCAP results are available.

If the indicators are additionally grouped into car segment, then SUVs, followed by ATVs, commercial vans and the luxury class show the highest values in the overall SPI value. The fact that SUVs have the highest SPI is certainly also related to the fact that this is a relatively new segment in which the share of older vehicles is comparably low.

To assess the suitability of the SPI, which are based on Euro NCAP tests, as indicators of traffic safety on the real-world road network, log-linear regression models were estimated in order to quantify the effect of the four SPIs on each of the corresponding accident characteristics (injured car occupants

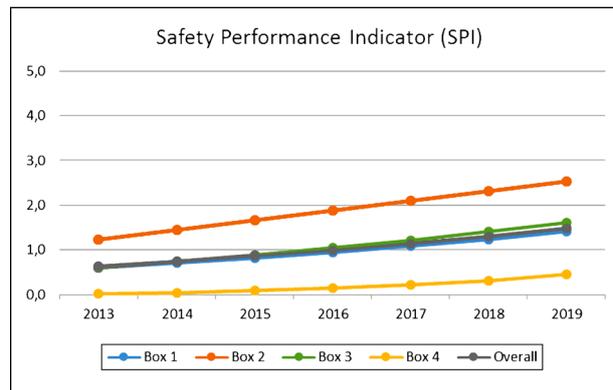


Fig. 1: Box-specific SPI as well as overall SPI of the car fleet broken down according to inventory reference date (source: own calculations – data basis: Euro NCAP 2009 – 2019; ZFZR 01.01.2014 – 01.01.2020)

(adults and children), injured pedestrians and cyclists, cars involved in an accident). In all analyses, the SPI in the car inventory on 1 January of a year (e.g. 1.1.2014) was matched with the accident numbers and the vehicle mileage of the previous year (so in this case 2013).

In all 18 examined cases, these showed clear associations between SPI and accident occurrences. An important result here: a higher value of the corresponding Safety Performance Indicator accompanies a lower number of casualties or accident involved cars.

On the basis of the calculations, for example, the following specific statements can now be made on the 'SPI elasticity of the number of casualties': In the regression model for the (logarithmic) overall number of adult car occupants injured or killed in accidents, the coefficient of  $\log \text{SPI}_1$  is estimated at  $-0.4$ , which shows a (significant) reduction of the number of adult car occupants injured in accidents (12 years and over) by around 0.4%, when the SPI (Box 1) increases by 1%. Safety-related improvements in the car fleet are thus directly reflected in a declining number of victims in road traffic.

It is to be taken into account that the estimated parameter value for the corresponding SPI is certainly always negative, but not additionally significant for all 18 calculated regression models. Essentially, this can be attributed to the fact that only the data of the last seven years as observations underlie the model estimations.

In addition, the relationship between the overall SPI value and the resulting monetary economic accident costs was analysed.

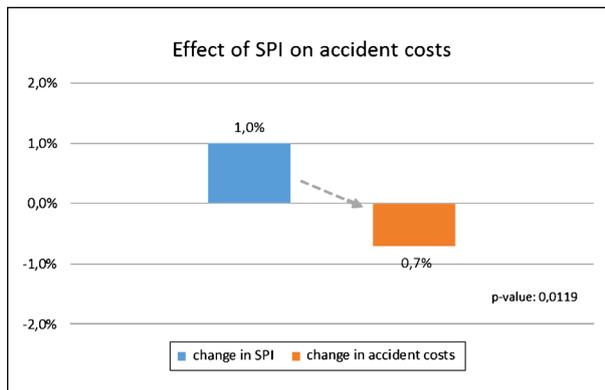


Fig. 2: Effect of the overall SPI of the car fleet on monetary economic accident costs

The results here were a (significant) reduction of the accident costs by around 0.7%, when the overall SPI increases by 1%.

## 4 Conclusions

In this project, the results of the Euro NCAP tests were used to form Safety Performance Indicators for the overall German car fleet on the reference dates 1.1.2014 to 1.1.2020. A decisive prerequisite for this was the adaptation of the test results from the various years with regard to the test procedures which had changed over the course of time – using the Euro NCAP 2020 test procedure as a reference.

This adaptation was largely based on expert judgements, whereby also the changes to the test protocol in 2020 were included, even though only Euro NCAP data up to and including 2019 were observed in this project. This means that reduction factors were also imposed on the results for 2019. However this was deliberately set in the concept of the project in order to already create the fundamental requirements for an uninterrupted continuation of the time series for the years 2020/21/22 (SPI for the car inventory on 1.1.2021, on 1.1.2022, and on 1.1.2023).

The next relevant changes to the test protocols are pending for the year 2023. Here, an adjustment of the procedure will be necessary again in order to be able to quantify the consequences of the changes which will come into effect then (if necessary using further expert judgements) and to be able to adjust the procedure accordingly in order to still arrive at comparable Euro NCAP test results.



## Inhalt

<b>Abkürzungen</b> .....	12	4.1.4 Imputation .....	34
<b>1 Aufgabenstellung und Zielsetzung</b> .....	13	4.2 Indikatorentwicklung .....	35
1.1 Projektziele .....	13	4.3 Hochrechnungsergebnisse .....	36
1.2 Das European New Car Assessment Programme .....	13	4.4 Hinweise für die Interpretation der Ergebnisse .....	41
1.3 Safety Performance Indikatoren .....	14	<b>5 Safety Performance Indikator und Unfallgeschehen</b> .....	41
<b>2 Zusammenhang zwischen Euro NCAP-Bewertung und realem Unfallgeschehen</b> .....	16	5.1 Sekundäranalyse von Daten zu Pkw-Pkw-Kollisionen .....	42
2.1 Studien zum Verletzungsrisiko von Pkw-Insassen .....	16	5.2 SPI und Verunglücktenzahl .....	43
2.2 Studien zum Verletzungsrisiko von Fußgängern .....	19	5.2.1 Grundkonzept .....	43
2.3 Diskussion .....	20	5.2.2 Abstimmung der Unfalldaten auf den zu untersuchenden SPI .....	44
<b>3 Datengrundlagen und Datenaufbereitung</b> .....	21	5.2.3 Beschreibende Darstellung der Zusammenhänge .....	46
3.1 Datengrundlagen .....	21	5.2.4 Log-lineares Regressionsmodell für die Verunglücktenzahl .....	47
3.1.1 Euro NCAP-Daten .....	21	5.2.5 Analyseergebnisse zum Zusammenhang zwischen SPI und Verunglücktenzahl .....	50
3.1.2 Daten zum Pkw-Bestand .....	22	5.2.6 Zusammenhang zwischen Gesamt-SPI und Unfallkosten .....	53
3.2 Aufbereitung der Euro NCAP-Daten ..	23	<b>6 Zusammenfassung und Ausblick</b> .....	54
3.2.1 Berücksichtigung von Veränderungen im Testprogramm .....	23	6.1 Methodik .....	54
3.2.2 Berücksichtigung des veränderten Gewichtungsschemas .....	27	6.2 Ergebnisse .....	56
3.2.3 Berücksichtigung des veränderten Bewertungsschemas .....	27	6.3 Ausblick .....	57
3.2.4 Balancing .....	28	<b>Literatur</b> .....	58
3.2.5 Zusammenfassung und Ergebnisse ..	29	<b>Bilder</b> .....	60
<b>4 Hochrechnung der Euro NCAP-Daten und Indikatorentwicklung</b> .....	31	<b>Tabellen</b> .....	60
4.1 Hochrechnung .....	31	<b>Anhang</b> .....	63
4.1.1 Grundkonzept .....	31		
4.1.2 Methodisches Vorgehen .....	31		
4.1.3 Matching-Quote .....	32		

Die englische Version dieses Berichts ist im elektronischen BAST-Archiv ELBA unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de> abrufbar.

## Abkürzungen

AEB	Autonomous Emergency Braking
AES	Autonomous Emergency Steering
AIS	Abbreviated Injury Scale
ESC	Electronic Stability Control
Euro NCAP	European New Car Assessment Programme
Flex PLI	Flexible Pedestrian Leg Impactor
GIDAS	German In-Depth Accident Study
KBA	Federal Motor Transport Authority (Kraftfahrt-Bundesamt)
CRS	Child Restraint Systems
MPDB	Mobile Progressive Deformable Barrier
ODB	Offset Deformable Barrier
OSM	Occupant Status Monitoring
SBR	Seat Belt Reminder
SPI	Safety Performance Indicator
ZFZR	Central Vehicle Register (Zentrales Fahrzeugregister)

# 1 Aufgabenstellung und Zielsetzung

## 1.1 Projektziele

Das European New Car Assessment Programme (Euro NCAP) ist ein verbraucherorientiertes Programm zur Bewertung der Sicherheit von Personenkraftwagen. Es wird von einem Konsortium europäischer Verkehrsministerien, Automobilclubs, Versicherungsverbände und Forschungsinstitute getragen<sup>1</sup>. Seit 1997 werden Neufahrzeuge auf ihre Passive und Aktive Sicherheit getestet. Euro NCAP hat sich für Hersteller und Verbraucher zu einem wichtigen Bewertungsmaßstab für die Fahrzeugsicherheit entwickelt. Heute beteiligen sich zwölf Institutionen aus acht europäischen Staaten an dem Programm<sup>2</sup>.

Im vorliegenden Forschungsvorhaben sollen Euro NCAP-Ergebnisse dazu benutzt werden, einen „Safety-Performance-Indikator“ (SPI) zur Fahrzeugsicherheit für die Bundesrepublik Deutschland über mehrere Jahre abzuleiten. Unter einem SPI sind Maßzahlen zu verstehen, die das Sicherheitsniveau eines Straßenverkehrssystems unabhängig vom Unfallgeschehen (d. h. ohne direkte Bezugnahme auf Unfallzahlen) beschreiben (siehe hierzu auch Kapitel 1.3). Beispiele hierfür sind die Zahl der jährlichen Verkehrsdelikte oder Kennzahlen zur Qualität des Rettungswesens.

Das zentrale Ziel der vorliegenden Untersuchung besteht darin, auf Basis der Euro NCAP-Ergebnisse für Neufahrzeuge einen SPI zu generieren, mit dem sich die Ausstattung der gesamten Fahrzeugflotte (Pkw-Flotte) mit Elementen der Passiven und Aktiven Sicherheit zusammenfassend beschreiben lässt. Hierfür werden die Ergebnisse des Euro NCAP-Tests für die einzelnen Fahrzeugmodelle auf den gesamten Pkw-Bestand eines Jahres hochgerechnet. Im Grundsatz geht es also um eine Verknüpfung von Euro NCAP-Testdaten und Pkw-Bestandsdaten.

Der so zu bildende Indikator<sup>3</sup> soll für mehrere Kalenderjahre erzeugt werden (beginnend mit 2014) und soweit als irgend möglich über die einzelnen Jahre hinweg vergleichbar sein. Der verwendete methodische Ansatz wird im Detail dokumentiert und ergänzend werden noch Interpretationshinweise gegeben, um die Fortführung der Zeitreihe auch in der Zukunft zu ermöglichen.

Ein weiteres Ziel des Projektes ist, den Bezug des SPI zum realen Unfallgeschehen herzustellen. Insgesamt dient der zu bildende SPI dazu, den Beitrag der Fahrzeugtechnik zum Sicherheitsniveau auf deutschen Straßen sichtbar zu machen.

## 1.2 Das European New Car Assessment Programme

Aktuell werden fast alle neuen Fahrzeugmodelle nach Euro NCAP auf ihre Sicherheit getestet und bewertet. Das Testprogramm setzt sich aus den folgenden 4 Bausteinen<sup>4</sup> zusammen (vgl. EURO NCAP 2020, S. 14):

1. Schutz erwachsener Insassen (v. a. Passive Sicherheit): Hier werden mehrere Crash-Tests durchgeführt, darunter Frontal-, Seiten- oder Heckaufprall. Zur Simulation der Auswirkungen von Verkehrsunfällen auf die Fahrzeuginsassen werden lebensgroße, mit zahlreichen Sensoren ausgestattete Puppen (Crashtest-Dummies) verwendet, die einen Erwachsenen repräsentieren. Neu seit 2020 ist ein Aufprall von der dem Insassen gegenüberliegenden Seite (far side test). Ebenfalls neu ist eine Bewertung, inwieweit das Fahrzeug die sichere und schnelle Rettung verunfallter Insassen unterstützt (rescue).
2. Schutz von Kindern im Fahrzeug (v. a. Passive Sicherheit): Hier fließen einerseits die Resultate der Aufpralltests ein – gemessen an Dummies, welche 6- bzw. 10-jährige Kinder repräsentieren. Zum anderen wird die Ausstattung des Fahrzeugs mit Merkmalen zum Schutz von Kindern

<sup>1</sup> Da Automobilhersteller im Konsortium nicht vertreten sind (sie stellen lediglich die Testobjekte zur Verfügung), handelt es sich bei Euro NCAP um einen Warentest.

<sup>2</sup> Vgl. <https://www.euroncap.com/de>

<sup>3</sup> Ggf. ein Indikatoren-Set, z. B. nach Fahrzeug-Segment.

<sup>4</sup> Um für ein einzelnes Testobjekt die Euro NCAP-Bewertung zu erhalten, müssen insgesamt etwa 7 Fahrzeuge des betreffenden Typs in die zerstörende Prüfung einbezogen werden.

begutachtet, wie z. B. die (automatische) Abschaltung des Beifahrer-Airbags oder die Installation von Kinderrückhaltesystemen.

3. Schutz von Fußgängern und Radfahrern (Aktive und Passive Sicherheit): In diesem Baustein werden unter Verwendung von Prüfkörpern Tests zum Kopf-, Oberschenkel- und Beinprall bei Fußgängern durchgeführt. Darüber hinaus werden automatische Notbremssysteme für Fußgänger und Radfahrer bewertet.
4. Fahrerassistenzsysteme (v. a. Aktive Sicherheit): Die Bewertung von Fahrerassistenzsystemen (z. B. Spurassistent oder Gurtwarner) fließt seit 2009 als eigenständiger vierter Baustein in die Gesamtbewertung ein (vgl. z. B. BASt 2009).

Jeder Baustein besteht somit aus mehreren Testverfahren, pro Baustein werden die bei den einzelnen Testverfahren erreichten Punkte aufsummiert und anschließend zur beim jeweiligen Baustein maximal erreichbaren Punktesumme ins Verhältnis gesetzt (Prozentwert). Die Gesamtbewertung des Fahrzeugs (Sterne) ergibt sich aus dem gewichteten Mittelwert der 4 bausteinspezifischen Prozentwerte. Die Prozentwerte bei den einzelnen Bausteinen werden ebenfalls in eine Sternbewertung übersetzt, die aufgrund von Mindestanforderungen zu einer Abwertung des Gesamtergebnisses führen kann (sog. Balancing).

Seit Beginn des Euro NCAP-Verfahrens haben zahlreiche Veränderungen stattgefunden. Diese betreffen nicht nur die Zahl, Art und Durchführung der Testprozeduren (vgl. z. B. VAN RATINGS et al. 2016<sup>5</sup>), sondern z. B. auch die Gewichtung der Bausteine oder die Anforderungen an die für eine bestimmte Sternbewertung zu erreichende Punktzahl. Dies alles hat zur Konsequenz, dass die Ergebnisse der einzelnen Jahre nur sehr eingeschränkt miteinander vergleichbar sind.

Um die Vergleichbarkeit der Ergebnisse über die Jahre zu verbessern – was ja eine wichtige Voraussetzung für die Konstruktion eines jährlichen SPI ist –, müssen daher entsprechende Datenmodifikationen durchgeführt werden. Diese werden ausführlich in Kapitel 3.2 beschrieben.

### 1.3 Safety Performance Indikatoren

Sicherheit bezeichnet allgemein den Zustand des Geschütztseins vor Gefahr oder Schaden, des Frei-seins von unvermeidbaren Risiken (Gefährdungen). Verkehrssicherheit ist demnach die Eigenschaft eines Verkehrssystems, Transport- bzw. Ortsveränderungsvorgänge ohne Schaden an den Verkehrsobjekten (Personen, Güter) und den Verkehrsmitteln durchführen zu können.

Der Sicherheitsgrad eines Verkehrssystems lässt sich vorrangig durch die relative Schadenshäufigkeit und die daraus entstehenden Folgen (Public Health, Wirtschaft) bestimmen. Daneben gibt es aber auch Maßzahlen, die das Sicherheitsniveau eines Verkehrssystems unabhängig vom Unfallgeschehen (d. h. ohne direkte Bezugnahme auf Unfall- und Verunglücktenzahlen) beschreiben. Solche Maßzahlen sind Indikatoren des Sicherheitsniveaus eines Verkehrssystems oder kurz Sicherheitsindikatoren<sup>6</sup>. Im angloamerikanischen Raum ist hierfür die Bezeichnung „Safety Performance Indicators“ (SPIs) gebräuchlich.

Grundlegende wissenschaftliche Beiträge zum Thema „Indikatoren der Sicherheit von Systemen“ findet man z. B. in der Zeitschrift *Safety Science Journal*. Was den Verkehrssektor angeht, so sind Safety-Performance-Indikatoren (SPIs) vor allem im Bereich des Luftverkehrs weit verbreitet. Dort gibt es auch – ausgehend von Vorgaben der Internationalen Zivilluftfahrtorganisation (ICAO) – eine umfangreiche Literatur zur Entwicklung und Implementierung von SPIs, die man in Teilen auch auf das System Straßenverkehr übertragen kann. Beispielhaft kann hier das von der SM ICG (Safety Management International Collaboration Group) herausgegebene Dokument *Measuring Safety Performance – Guidelines for Service Providers* genannt werden.

Mit Indikatoren der Sicherheit im Straßenverkehr (engl. Road Safety Performance Indicators), also Variablen bzw. Maßzahlen, anhand derer sicherheitsbezogene Zustände und Vorgänge in einem Straßenverkehrssystem zutreffend gekennzeichnet und ggf. prognostiziert werden können, beschäftigt man sich in der Mobilitäts- und Unfallforschung

<sup>5</sup> Aufhebung (z. B. Test ESC seit 2016 eingestellt), Überarbeitung (z. B. Pfahlaufprall 2015) oder Neuaufnahme (z. B. Frontalaufprall volle Breite seit 2015) von Testprozeduren.

<sup>6</sup> Letztlich ist aber auch die Unfall- und Verunglücktenzahl ein Sicherheitsindikator.

schon seit geraumer Zeit. Als Beispiele für derartige Indikatoren können hier die Beobachtung von „Verkehrskonflikten“ und Erhebungen zur Sicherung durch Gurte, Helme und andere Schutzsysteme genannt werden (vgl. hierzu BAST 2020a; KATHMANN et al. 2019).

Der unseres Wissens erste umfassende Beitrag zum Thema „Indikatoren des Sicherheitsniveaus im Verkehrssystem“ stammt vom European Transport Safety Council (ETSC 2001). Ausgehend von einem allgemeinen konzeptuellen Rahmen für Sicherheitsindikatoren werden in diesem Beitrag schwerpunktmäßig „Road Safety Performance Indicators“ behandelt. Sicherheitsindikatoren (SPI) werden dort prägnant wie folgt definiert (S. 12):

“A safety performance indicator is any variable that is used in addition to accidents or injuries to measure changes in safety performance.”

bzw. etwas spezifischer (S. 5)

“These (Anm.: gemeint sind SPIs) are defined as any measurement that is causally related to crashes or injuries, used in addition to a count of crashes or injuries, in order to indicate safety performance or understand the process that leads to accidents.”

Aus Gründen, die im ETSC-Bericht näher ausgeführt werden (S. 11), sollten Unfall- und Verunglücktenzahlen durch SPIs ergänzt werden, um ein vollständigeres Bild des Verkehrssicherheitsniveaus und seiner Veränderung im Zeitverlauf zu erhalten. Im Idealfall sollten SPIs Hinweise auf neu entstehende Problemlagen liefern, bevor sich diese in Unfall- und Verunglücktenzahlen niederschlagen (Frühindikatoren). Mit Blick auf die Verkehrssicherheitsarbeit sollten die betreffenden Akteure durch SPIs in die Lage versetzt werden, auf unfallverursachende Faktoren, die in ihrem Gestaltungsbereich liegen, besser Einfluss nehmen zu können.

Aus der umfangreichen Menge der möglichen SPIs sind nicht alle von gleicher Wichtigkeit (S. 13). Generell kann die Wichtigkeit eines SPI daran gemessen werden, wie stark sein Zusammenhang mit dem Auftreten von Unfällen und Verletzungen ist und in welchem Maße der betreffende Faktor durch Verkehrssicherheitsmaßnahmen oder Maßnahmenprogramme beeinflusst werden kann.

Der ETSC-Report gliedert die auf den Straßenverkehr bezogenen Sicherheitsindikatoren in die folgenden vier Kategorien:

- Indikatoren des Verhaltens der Verkehrsteilnehmer (insbes. Mittelwert und Varianz der Fahrgeschwindigkeit, Anteil Fahrten unter Alkohol, Gurtnutzungsquoten)
- verkehrswegebezogene Indikatoren (z. B. Gliederung der Netzlänge nach Reibungseigenschaften der Fahrbahn)
- fahrzeugbezogene Indikatoren (Gliederung der Fahrzeugflotte nach der Zahl der Euro NCAP-Sterne, Anteil Fahrzeuge mit technischen Mängeln u. ä.)
- Indikatoren zu Rettungswesen und Notfallmedizin (z. B. Mittelwert und Varianz der Zeitspanne bis zum Eintreffen am Unfallort).

Im Abschnitt „Funktionale Anforderungen an Indikatoren der Straßenverkehrssicherheit“ des ETSC-Berichts (S. 21-22) werden idealtypisch 10 Schritte für die Definition und Messung von Sicherheitsindikatoren im Kontext der Verkehrssicherheitspolitik benannt:

1. Nachweis einer kausalen Beziehung zwischen dem Unfallgeschehen und einem potenziellen Sicherheitsindikator
2. Bewertung der Politik- bzw. Maßnahmenrelevanz eines potenziellen Sicherheitsindikators
3. Operationale Beschreibung eines Verkehrssicherheitsproblems mithilfe eines oder mehrerer Indikatoren
4. Festlegung eines Mess- bzw. Erhebungsverfahrens für jeden Sicherheitsindikator
5. Festlegung eines indikatorspezifischen Mess- bzw. Erhebungsprogramms
6. Durchführung der Messungen bzw. Erhebungen
7. Vergleich der Ergebnisse von Schritt 6 mit dem entsprechenden Aktionsprogramm für die Verkehrssicherheit
8. Überprüfung/Validierung der in Schritt 1 formulierten Annahmen
9. Modifizierung des Aktionsprogramms auf Basis der Ergebnisse von Schritt 6 – soweit erforderlich – und schließlich
10. Berichterstattung über die Ergebnisse des gesamten Prozesses, z. B. jährlich. Im Aufbau

des vorliegenden Forschungsberichts spiegelt sich diese Schrittfolge wider.

Die im ETSC-Report entworfenen Konzepte für SPIs wurden im EU-Projekt SafetyNet (Building the European Road Safety Observatory) weiterentwickelt, operationalisiert und empirisch erprobt. Im Hinblick auf die hier vorliegende Thematik der fahrzeugbezogenen Sicherheitsindikatoren ist der SafetyNet-Forschungsbericht von HAKKERT, GITELMAN und VIS (2007) relevant. Die in diesem Zusammenhang zu beantwortende Kernfrage formulieren die genannten Autoren wie folgt (S. 4):

“Euro NCAP is widely used as an indicator of passive safety for individual vehicles to give consumers a guide to the crashworthiness of specific makes and models. However, there is no current recognised measure of an entire vehicle fleet.”

Im vorliegenden Forschungsbericht wird untersucht, wie man für Deutschland zu einem methodisch fundierten, Euro NCAP-basierten Sicherheitsindikator für die Pkw-Flotte als Ganzes kommen kann.

## 2 Zusammenhang zwischen Euro NCAP-Bewertung und realem Unfallgeschehen

In diesem Kapitel soll eine Übersicht über die Literatur zum Zusammenhang zwischen der Euro NCAP-Bewertung (Expositionsstatus) von Fahrzeugen und den Unfallfolgen bei Fahrzeuginsassen bzw. ungeschützten Kollisionsgegnern (Verletzungsstatus) gegeben werden. Den vorgestellten Studien liegt meistens die Betrachtung spezifischer Unfallszenarien zugrunde (z. B. Pkw-Pkw-Kollisionen), was aufgrund der Eliminierung bestimmter Störgrößen (z. B. Straßenzustand, Witterungs- und Lichtverhältnisse) eine genauere Quantifizierung der Zusammenhänge erlaubt. Andererseits führt die Betrachtung spezieller Unfallkonstellationen zu Einschränkungen im Hinblick auf die Verallgemeinerbarkeit der Ergebnisse.

Im Sinne einer Meta-Analyse soll versucht werden, allgemeine Zusammenhänge zwischen der Euro NCAP-Bewertung und dem Unfall- bzw. Verletzungsrisiko abzuleiten. Die Ergebnisse sollen als Grundlage für die spätere Untersuchung des Einflusses des zu konstruierenden Safety Performance

Indikators (SPI) für die Pkw-Flotte als Ganzes auf das Unfallgeschehen insgesamt (Gesamtzahl Getötete, Schwerverletzte, Leichtverletzte) dienen.

### 2.1 Studien zum Verletzungsrisiko von Pkw-Insassen

Eine aktuelle Studie zum Zusammenhang zwischen der Euro NCAP-Bewertung von Fahrzeugen und dem Verletzungsrisiko von Fahrzeuginsassen stammt aus Schweden (KULLGREN et al. 2019). Es wurden polizeilich erfasste Pkw-Pkw-Kollisionen mit mindestens einem verletzten Insassen auf dem Vordersitz im Sinne einer matched pairs-Analyse untersucht. Berechnet wurde das relative Verletzungsrisiko des Fahrers von Fahrzeug 1 (case car) in Abhängigkeit von der Sternezahl, die sein Fahrzeug beim Baustein 1 des Euro NCAP-Tests (Schutz erwachsener Insassen) erzielt hat. Vergleichsbasis ist dabei das Verletzungsrisiko des Fahrers beim jeweils beteiligten Fahrzeug 2 (other car), für welches allerdings keine Euro NCAP-Bewertung vorliegt (Expositionsstatus unbekannt). Die Kollisionsgegner werden als Stichprobe aus der Gesamtheit aller Fahrzeuge interpretiert: “The collision partners are considered to be a sample of the whole car population, and therefore they provide the exposure basis that allows for comparisons across all case vehicles” (KULLGREN et al. 2019, S. 3). Tatsächlich hat aber jede Teilgruppe von „case cars“ eine spezifische Vergleichsgruppe. So unterscheiden sich z. B. hinsichtlich der Fahrzeugmasse die Kollisionsgegner von 5-Sterne-Fahrzeugen strukturell von den Kollisionsgegnern der 2-Sterne-Fahrzeuge (a. a. O., S. 8 (Tabelle 5)).

Es wird unterschieden zwischen dem relativen Verletzungsrisiko insgesamt, dem relativen Risiko einer schweren oder tödlichen Verletzung sowie dem relativen Risiko einer tödlichen Verletzung. Die Analyse basiert auf 102.466 polizeilich erfassten Pkw-Pkw-Unfällen der Jahre 1994 bis 2018. Darüber hinaus wurde auf der Grundlage von 57.863 verletzten Pkw-Insassen (front-seat occupants) aus den Jahren 2000 bis 2018 auch das bedingte Risiko einer dauerhaften medizinischen Beeinträchtigung (permanent medical impairment) für Pkw-Fahrer bestimmt. Hierfür wurden ergänzend Versicherungsdaten (AIS-Werte) herangezogen.

In den Berechnungsformeln wurden Masseunterschiede zwischen den beteiligten Pkw (mittlere Masse der bewerteten bzw. gegnerischen Fahrzeu-

Euro NCAP-Bewertung des Fahrzeugs (Anz. Sterne im Baustein 1)	Relatives Verletzungsrisiko insgesamt	Relatives Risiko einer schweren oder tödlichen Verletzung	Relatives Risiko einer tödlichen Verletzung
2	1,03	0,96	0,84
3	0,95	0,87	0,69
4	0,90	0,80	0,70
5	0,85	0,75	0,50
Insgesamt	0,91	0,84	0,70

Tab. 1: Relatives Verletzungsrisiko für Pkw-Fahrer in Abhängigkeit von der Euro NCAP-Bewertung des Fahrzeugs (Quelle: KULLGREN et al. 2019, Tabelle 5)

ge) und das Unfalljahr berücksichtigt (für Details siehe KULLGREN et al. 2019, S. 4). Die Ergebnisse zum relativen Verletzungsrisiko sollen hier ausführlich in Form von Tabelle 1 wiedergegeben werden.

Die Tabelle zeigt ganz allgemein, dass verglichen mit den jeweiligen Kollisionsgegnern das Verletzungsrisiko – insgesamt und differenziert nach Verletzungsschwere – der Pkw-Fahrer mit der Anzahl der Euro NCAP-Sterne (Baustein 1, Schutz erwachsener Insassen) ihres Fahrzeugs sinkt. Während das Gesamt-Verletzungsrisiko bei Fahrern von Pkw mit 2 Sternen noch um 3 % höher ist als das ihrer Kollisionsgegner (relatives Risiko: 1,03), liegt es bei Fahrern von 5-Sterne-Pkw um 15 % niedriger (relatives Risiko: 0,85).

Auf Basis dieser Tabelle lassen sich auch Risikovergleiche zwischen Fahrzeugen mit unterschiedlichen Sternebewertungen anstellen. Hier sei allerdings nochmals daran erinnert, dass sich die betreffenden Vergleichsgruppen strukturell unterscheiden. Stellt man methodische Kritikpunkte, die an der zitierten Arbeit anzubringen sind<sup>7</sup>, hintan, so sieht man z. B., dass im Vergleich zu Fahrzeugen mit einer 2-Sterne-Bewertung das relative Verletzungsrisiko (insgesamt) in Fahrzeugen mit 3 Sternen um rund 8 Prozentpunkte niedriger ist<sup>8</sup>:  $(0,95 - 1,03) \times 100 =$

-8 %. Ganz entsprechend ergeben sich folgende Risikodifferenzen: 4 Sterne vs. 2 Sterne: -13 %; 5 Sterne vs. 2 Sterne: -18 %.

Verwendet man anstelle der Differenz das Verhältnis zweier relativer Risiken als Kenngröße für den Einfluss der Sternezahl, so zeigt sich beispielsweise, dass das relative Risiko einer tödlichen Verletzung bei Fahrzeugen mit 5 Euro NCAP-Sternen sogar um rund 40 % geringer ist als bei solchen mit 2 Sternen  $((0,50 - 0,84)/0,84) \times 100 = -40,5 \%$ . Insgesamt resultiert aus dieser Studie also ein recht klarer Zusammenhang zwischen der Euro NCAP-Bewertung (Baustein 1) des Fahrzeugs und dem Verletzungsrisiko der Fahrzeuginsassen.

Zu ganz ähnlichen Ergebnissen kommt auch eine schwedische Vorläuferstudie aus dem Jahr 2010 (KULLGREN et al. 2010). Auch diese Untersuchung basiert auf der Analyse von Pkw-Pkw-Kollisionen, wobei ebenfalls Massedifferenzen zwischen den beiden jeweils beteiligten Pkw berücksichtigt wurden. Verglichen wurden Fahrzeuge mit 2 Sternen mit solchen, die 5 Sterne erhalten haben. Letztere weisen insgesamt ein um 10 % geringeres Verletzungsrisiko auf. In der Teilgruppe der schweren und tödlichen Verletzungen beträgt der Unterschied 23 % und steigt auf 68 % bei ausschließlicher Betrachtung tödlicher Verletzungen. Das Risiko für eine dauerhafte medizinische Beeinträchtigung liegt im Vergleich zu 2-Sterne-Fahrzeugen für 5-Sterne-Fahrzeuge um 27 % niedriger.

Ebenfalls aus Schweden kommt eine weitere Studie nach diesem Muster, welche im Jahr 2002 veröffentlicht wurde (LIE und TINGVALL 2002). Allerdings waren die zugrunde liegenden Fallzahlen damals noch vergleichsweise klein, Basis waren knapp 16.000 Pkw-Pkw-Unfälle zwischen Januar 1994<sup>9</sup> und März 2000. Untersucht wurde das Verletzungsrisiko für Pkw-Fahrer in der Untergliederung nach Gesamtrisiko und dem für schwere und tödliche Verletzungen (mit Korrektur von Masseunterschieden). Im Unterschied zu den zuvor genannten

<sup>7</sup> Obschon es sich offenkundig um eine Studie mit Paarbildung handelt, haben die Autoren dies bei der Datenanalyse nicht berücksichtigt. Die Vernachlässigung der Paarbildung bei der Risikoanalyse führt dazu, dass der Einfluss eines Risikofaktors (hier Anzahl NCAP-Sterne) systematisch unterschätzt wird. Näheres vgl. WOODWARD 2005, S. 298-302.

<sup>8</sup> Differenz zweier relativer Risiken (Reduktion des relativen Risikos).

<sup>9</sup> Zu Beginn des Euro NCAP-Programms 1997 wurden auch Modelle getestet, die bereits seit einiger Zeit auf dem Markt waren (z. B. Renault Laguna, seit 1994). Daher konnte die Bewertung von 1997 den z. B. 1995 an einem Unfall beteiligten Lagunas zugeordnet werden.

Studien wurden hier im Hinblick auf das Gesamtverletzungsrisiko keine Unterschiede zwischen verschiedenen bewerteten Pkw gefunden. Bei schweren und tödlichen Verletzungen sinkt dagegen das Risiko pro zusätzlichem Stern um etwa 12 %. Gut bewertete Fahrzeuge (3 oder 4 Sterne beim Schutz erwachsener Insassen) wiesen im Vergleich zu denen mit einem schlechten (2 Sterne) oder keinem Rating ein um 30 % niedrigeres Risiko einer schweren oder tödlichen Verletzung auf (zum Risiko einer tödlichen Verletzung auf Basis amerikanischer Daten vgl. auch FARMER 2005).

Eine weitere mit dieser Methode durchgeführte schwedische Untersuchung von Pkw-Pkw-Unfällen kam weitestgehend zu demselben Ergebnis (LIE et al. 2001): Auf Basis von polizeilich erfassten Unfällen zwischen 1994 und 2000 ist das Gesamtverletzungsrisiko nicht von der Euro NCAP-Bewertung beim Schutz erwachsener Insassen abhängig, während sich bei schweren und tödlichen Verletzungen das entsprechende Risiko pro zusätzlichem Stern um etwa 12 % reduziert. Darüber hinaus wurden in dieser Studie Vergleiche zwischen der Euro NCAP-Bewertung und dem „Folksam Car Model Safety Rating“ (vgl. hierzu FOLKSAM INSURANCE GROUP 2019; HAUTZINGER 2006) angestellt. Letzteres basiert auf Versicherungsdaten, aus denen das Risiko geschätzt wird, als Pkw-Fahrer infolge eines Unfalls eine Verletzung zu erleiden, die zum Tod oder einer dauerhaften gesundheitlichen Beeinträchtigung führt (risk for fatal or disabling injuries; hier fließen auch Alleinunfälle von Pkw ein). Im Ergebnis (Analysejahre 1992 bis 1999) resultiert hier eine Abnahme dieses Risikos um 7 % pro Euro NCAP-Stern im Baustein 1.

Untersuchungen zum Zusammenhang zwischen Crashtest-Ergebnissen und dem realen Unfallgeschehen wurden auch im EU-Projekt SARAC II (Quality Criteria for the Safety Assessment of Cars Based on Real-World Crashes) vorgenommen. PASTOR (2007) hat auf der Basis von polizeilich erfassten Unfällen in Deutschland (1998 bis 2002) 495 Pkw-Pkw-Unfälle analysiert. Es handelt sich dabei um Frontalzusammenstöße zwischen jeweils zwei in Euro NCAP bewerteten Pkw, bei denen mindestens 1 Person schwer oder tödlich verletzt wurde (Frontalzusammenstöße wurden anhand der Merkmale Unfallart und -typ selektiert). Dementsprechend wurden bezüglich der Euro NCAP-Bewertung nur die Ergebnisse des Frontalaufpralls (frontal offset test) für den Fahrer herangezogen (für Details hierzu siehe PASTOR 2007, S. 159). Bei

jedem Unfall wurden die beteiligten Fahrzeuge hinsichtlich der Verletzungsschwere ihrer Fahrer miteinander verglichen. Unfälle, bei denen sich die beteiligten Fahrzeuge hinsichtlich der Euro NCAP-Bewertung und/oder der Verletzungsschwere der Fahrer nicht unterscheiden, blieben dabei unberücksichtigt. Die Analyse erfolgte mittels eines log-linearen Modells, geschätzt wurde die Wahrscheinlichkeit einer im Vergleich zum Unfallgegner weniger schweren Verletzung in Abhängigkeit von der Euro NCAP-Bewertung und weiteren Einflussmerkmalen wie dem Masseverhältnis der Fahrzeuge oder dem Geschlecht des Fahrers. Im Ergebnis zeigt sich ein deutlicher Zusammenhang mit den Crashtest-Resultaten. In Fahrzeugen mit 3 sowie in solchen mit 4 Sternen ergibt sich eine im Vergleich zu Pkw mit 1 Stern signifikant höhere Wahrscheinlichkeit einer geringeren Verletzungsschwere.

Der SARAC-Report zu den Sub-Tasks 2.1 und 2.2 (NEWSTEAD et al. 2006) beschäftigt sich sehr ausführlich mit dem Zusammenhang zwischen Verletzungsschwere in polizeilichen Unfalldaten und Crashtest-Ergebnissen. Als Indikator für die Verletzungsschwere wurde das sogenannte „Crashworthiness Rating“ herangezogen. Dabei handelt es sich um eine fahrzeugmodellbezogene Kennziffer, die im Grunde genommen den Anteil schwer verletzter und getöteter Pkw-Fahrer an allen Fahrern, die an einem Pkw-Pkw-Unfall mit Personenschaden beteiligt waren, ausdrückt. Dieser Anteil wird über 2 Komponenten bestimmt: Das Verletzungsrisiko (Anteil verletzter/getöteter Fahrer an allen Fahrern) und die Verletzungsschwere (Anteil schwer verletzter/getöteter Fahrer an allen verletzten/getöteten Fahrern). Jede dieser beiden Komponenten wird über statistische Modelle unter Einschluss weiterer Einflussgrößen – wie z. B. Alter und Geschlecht des Fahrers – geschätzt (vgl. hierzu auch NEWSTEAD und CAMERON 1999). In der Studie werden Ergebnisse für mehrere europäische Länder sowie für Australien und Neuseeland vorgestellt. Mit den Daten aus Deutschland konnten – im Gegensatz zu denen aus anderen Ländern – keine vertieften Analysen für spezielle Unfallkonstellationen (Front- und Seitenaufprall) durchgeführt werden. Im Folgenden werden nur die Ergebnisse für Deutschland kurz zusammengefasst. Diese basieren auf polizeilich registrierten Pkw-Pkw-Unfällen mit mindestens 1 verletzten Fahrer der Jahre 1998 bis 2002. Für die Ermittlung der Verletzungsschwere wurden auch Pkw-Alleinunfälle berücksichtigt. Die Euro NCAP-Bewertung bezieht sich auf die

Zahl der Sterne in Baustein 1 (Schutz erwachsener Insassen). Über alle Fahrzeugmodelle hinweg ergeben sich die in Tabelle 2 dargestellten Schätzwerte für das Crashworthiness Rating.

Die entsprechenden Analysen wurden sowohl mit als auch ohne Berücksichtigung der Fahrzeugmasse durchgeführt. In beiden Fällen ergibt sich mit zunehmender Sternenzahl ein besseres Rating-Ergebnis. Allerdings unterscheiden sich Fahrzeuge mit 2 Sternen nicht signifikant von denen mit 3 Sternen, da sich die entsprechenden Konfidenzintervalle überlappen. Fahrzeuge mit 1 Stern wurden wegen zu geringer Fallzahlen nicht berücksichtigt.

Diese Analyse für die deutschen Unfalldaten wurde nochmals mit einer etwas breiteren Datenbasis wiederholt (DELANEY et al. 2006a). Durch die Berücksichtigung der Modellgeneration konnte einer größeren Zahl von unfallbeteiligten Fahrzeugen eine Euro NCAP-Bewertung zugeordnet werden. Allerdings unterscheiden sich die Ergebnisse nur wenig von den in Tabelle 2 dargestellten Resultaten, insbesondere, was die Signifikanzen anbelangt.

Wie bereits erwähnt, wurden in SARAC II Resultate für verschiedene Länder produziert. Dies gilt auch für die erste Phase des SARAC-Projekts. LANGWIEDER et al. (2003, S. 8) berichten Ergebnisse mit britischen Unfalldaten der Jahre 1993 bis 1998. Über alle Unfallkonstellationen ergaben sich die folgenden Crashworthiness Ratings:

- 1 Stern: 12,02 %,
- 2 Sterne: 8,08 %,
- 3 Sterne: 7,81 %,
- 4 Sterne: 6,27 %.

Ein noch stärkerer Zusammenhang findet sich bei der gesonderten Betrachtung von Unfällen mit Seitenaufprall (LANGWIEDER et al. 2003). Hier liegt die Spannweite der Ratings zwischen 15,8 (1 Stern) und 2,26 % (4 Sterne).

## 2.2 Studien zum Verletzungsrisiko von Fußgängern

PASTOR (2013) hat anhand von polizeilichen Unfalldaten aus Deutschland (Jahre 2009 bis 2011) Pkw-Fußgänger-Unfälle untersucht. Es handelt sich dabei um 7.576 Unfälle an innerstädtischen Kreuzungen (urban crossing accidents) mit je 1 Euro NCAP-bewerteten Pkw (nur nach 2002 getestete Pkw) und 1 Fußgänger. Die Auswertung war beschränkt auf Unfälle, bei denen der Fußgänger mindestens leicht verletzt wurde und zwischen 6 und 64 Jahre alt war. Zur Prüfung eines Zusammenhanges zwischen der Verletzungsschwere des Fußgängers und der Euro NCAP-Bewertung des Pkw wurde ein ordinales Probit-Modell verwendet, in dem die Verletzungsschwere (leicht, schwer, tödlich) in Abhängigkeit vom Euro NCAP-Fußgänger-Punktescore (nicht die Zahl der Sterne!) und weiteren Merkmalen (z. B. Lichtverhältnisse beim Unfall) modelliert wurde. Im Ergebnis reduziert jeder zusätzliche Punkt (nicht Stern!) im Euro NCAP-Fußgänger-Test die relative Wahrscheinlichkeit einer tödlichen Verletzung beim Fußgänger um 2,5 %. Im Hinblick auf schwere Verletzungen beträgt die Reduktion 1 % pro Punkt. So zeigen z. B. Fahrzeuge mit 22 Punkten im Vergleich zu solchen mit 5 Punkten eine um 35 % (16 %) reduzierte Wahrscheinlichkeit einer tödlichen (schweren) Verletzung beim Fußgänger. Unter der Annahme, dass nur mit 22 Punkten bewertete Pkw im Straßenverkehr unterwegs wären, würden laut dieser Studie 6 % weniger

Euro NCAP-Bewertung des Fahrzeugs (Anz. Sterne)	mit Berücksichtigung der Fahrzeugmasse			ohne Berücksichtigung der Fahrzeugmasse		
	Schätzwert	95%-Konfidenzintervall		Schätzwert	95%-Konfidenzintervall	
		untere Grenze	obere Grenze		untere Grenze	obere Grenze
1	-	-	-	-	-	-
2	12,17 %	11,81 %	12,54 %	12,70 %	12,33 %	13,08 %
3	11,89 %	11,51 %	12,28 %	12,46 %	12,08 %	12,86 %
4	10,08 %	9,70 %	10,47 %	9,19 %	8,86 %	9,54 %

Tab. 2: Crashworthiness Rating in Abhängigkeit von der Euro NCAP-Bewertung des Fahrzeugs (Quelle: NEWSTEAD et al. 2006, S. 10)

getötete und 9 % weniger schwerverletzte Fußgänger resultieren.

STRANDROTH et al. (2011) untersuchten auf Basis schwedischer Unfalldaten der Jahre 2003 bis 2011 488 Pkw-Fußgänger-Unfälle. Es wurden nur Unfälle betrachtet, bei denen 1 Fußgänger mit der Front eines Euro NCAP-getesteten Pkw kollidierte und die auf Straßen mit einer Geschwindigkeitsbeschränkung von 50 km/h passierten. Analysiert wurde u.a. die Verletzungsschwere des Fußgängers (insgesamt 1.156 Verletzungen mit AIS 1 und höher) in Abhängigkeit vom Ergebnis des Euro NCAP-Fußgängertests beim Pkw. Da nur 13 Fahrzeuge mit einer 3-Sterne-Bewertung beim Fußgängertest in der Stichprobe waren, konnten nur Vergleiche zwischen 1- und 2-Stern-Fahrzeugen durchgeführt werden. Fahrzeuge mit 2 Sternen wiesen dabei einen um 17 % niedrigeren Anteil von Verletzungen des Schweregrades AIS 2 und höher auf. Bei Verletzungen mit AIS 3 und höher beträgt der Unterschied sogar 28 %, allerdings ist dieser nicht statistisch signifikant. Signifikante Unterschiede zwischen 1- und 2-Stern-Pkw wurden darüber hinaus für verschiedene Grade schwerwiegender bzw. dauerhafter Unfallfolgen (risk of serious consequences) festgestellt.

Pkw-Fußgänger-Unfälle waren auch Gegenstand der Betrachtungen im EU-Projekt SARAC II (DELANEY et al. 2006b). Anhand britischer, deutscher und französischer Unfalldaten wurde das Risiko einer schweren oder tödlichen Verletzung von Fußgängern nach einem Zusammenprall mit (vor 2002) Euro NCAP-getesteten Pkw analysiert. Dabei konnte nur zwischen Pkw mit 1 bzw. 2 Sternen im Fußgänger-Test unterschieden werden, die Auswertung erfolgte mittels logistischer Regressionsmodelle. Im Ergebnis zeigte sich in keinem der drei untersuchten Unfalldatendatenbestände ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Verletzungsschwere des Fußgängers und der Euro NCAP-Bewertung des Pkw.

Im Rahmen des EU-Projekts ASPECSS<sup>10</sup> (VAN DER ZWEEP et al. 2014) wurde der Nutzen eines Notbremssystems für Fußgänger im Zusammen-

spiel mit der passiven Sicherheit eines Fahrzeugs bei Kollisionen mit einem Fußgänger untersucht. Zur Beurteilung der passiven Sicherheit wurden die Ergebnisse des Euro NCAP-Fußgängertests zu Grunde gelegt, unterteilt in die Kategorien schlecht (12,2 Punkte), durchschnittlich (22,6 Punkte) und gut (32,2 Punkte). Die Ergebnisse in Form von Unfallkosten zeigen z. B., dass sich bei – hinsichtlich der passiven Fußgängersicherheit – schlecht bewerteten Fahrzeugen die Unfallkosten durch die Ausstattung mit leistungsfähigen Notbremssystemen auf fast denselben Wert senken lassen wie bei durchschnittlich bewerteten Fahrzeugen ohne Notbremssystem.

## 2.3 Diskussion

In den allermeisten Studien findet sich ein relativ klarer Zusammenhang zwischen Euro NCAP-Bewertung und Verletzungsrisiko, insbesondere beim Risiko von schweren oder gar tödlichen Verletzungen. Die Übertragung der Ergebnisse auf einen im Rahmen der vorliegenden Studie zu konstruierenden SPI auf Aggregatebene – und dessen Zusammenhang mit dem Unfallgeschehen – ist jedoch auch mit einigen Schwierigkeiten bzw. Vorbehalten behaftet, was die Verallgemeinerbarkeit bzw. Übertragbarkeit der Ergebnisse anbelangt.

So stammen einige der vorgestellten Studien aus dem Ausland und sind teilweise auch schon mehrere Jahre alt. Hier stellt sich die Frage nach der Übertragbarkeit der Ergebnisse auf deutsche Verhältnisse der Gegenwart.

Fast alle Studien basieren auf der Analyse von Pkw-Pkw-Unfällen. Dies hat zwar Vorteile, was die Herausarbeitung des Zusammenhangs zwischen Euro NCAP-Bewertung und Unfallgeschehen anbelangt, schränkt jedoch die Verallgemeinerbarkeit auf andere Unfallkonstellationen stark ein. Zudem wird in der Regel nur das Verletzungsrisiko der Pkw-Fahrer untersucht. Auch wenn vereinzelt noch Ergebnisse zum Verletzungsrisiko von Fußgängern (in Abhängigkeit der Euro NCAP-Bewertung des Fahrzeuges) vorliegen, können insgesamt nur für einen relativ kleinen Teil der Unfall- bzw. Verunglücktenpopulation Aussagen abgeleitet werden. Auf der Seite der Euro NCAP-Ergebnisse ist es so, dass in den zitierten Studien nicht die Gesamtbeurteilung, sondern nur einzelne Bausteine oder sogar nur Teile daraus (z. B. Ergebnis des Frontalauf-

<sup>10</sup> Assessment Methodologies for Forward Looking Integrated Pedestrian and Further Extension to Cyclists Safety.

pralltests) in die Zusammenhangsanalyse eingehen<sup>11</sup>.

Schließlich besteht bei Studien, welche Ergebnisse zum relativen Risiko ausweisen, noch das methodische Problem der Übersetzung der ermittelten Kennziffern in absolute Verunglücktenzahlen (getötet, schwer bzw. leicht verletzt). Mit Daten zum absoluten Verletzungsrisiko in Abhängigkeit von der Sternezahl könnte der Sicherheitseffekt fahrzeugtechnischer Verbesserungen der Pkw-Flotte ggf. quantifiziert werden, insbesondere in Form des zuschreibbaren Risikos (attributable risk). In Kapitel 5.1 wird dieses Konzept näher erläutert und praktisch angewandt.

In einigen der oben zitierten schwedischen Studien sind die den Berechnungen zugrunde liegenden Ausgangsdaten abgedruckt. Diese sind ggf. für die Berechnung des zuschreibbaren Risikos nutzbar. Dennoch bleiben die oben erwähnten Einschränkungen bezüglich Übertragbarkeit und Verallgemeinerbarkeit der Ergebnisse im Hinblick auf die Ableitung eines Zusammenhangs zwischen einem aus Euro NCAP-Gesamtbewertungen resultierenden SPI und der Zahl der Verunglückten im Straßenverkehr. Dabei stellt sich natürlich auch die Frage, welche Verunglücktenpopulation eigentlich betrachtet werden soll (z. B. Pkw-Fahrer, alle Pkw-Insassen, Fußgänger, Radfahrer, alle Verunglückten).

Es erscheint daher naheliegend, alternativ oder ergänzend zu den Literaturergebnissen die Korrelation zwischen dem zu entwickelnden Safety Performance Indikator der Pkw-Flotte und der jährlichen Gesamtzahl an Verunglückten (Getötete, Schwerverletzte, Leichtverletzte) auf Basis der amtlichen Unfallstatistik zu bestimmen.

## 3 Datengrundlagen und Datenaufbereitung

### 3.1 Datengrundlagen

#### 3.1.1 Euro NCAP-Daten

Die Daten mit den Euro NCAP-Testergebnissen der Jahre 2009 bis 2019 (euroncap.com) enthalten pro Testobjekt folgende Angaben:

- Marke und Modell,
- Gesamtbewertung (Anzahl Sterne),
- Anteil erreichter Punkte in Prozent im Baustein 1 (Schutz erwachsener Insassen),
- Anteil erreichter Punkte in Prozent im Baustein 2 (Schutz von Kindern),
- Anteil erreichter Punkte in Prozent im Baustein 3 (Schutz von Fußgängern und Radfahrern),
- Anteil erreichter Punkte in Prozent im Baustein 4 (Systeme der Aktiven Sicherheit),
- Jahr des Tests.

Zusätzlich zu diesen Merkmalen wurde eine laufende Nummer erzeugt, die als Grundlage für die Verknüpfung mit den Pkw-Beständen dient.

Die Daten umfassen insgesamt 442 Fahrzeugmodelle, darunter 5 Modelle, die mit demselben Protokollstand nochmals getestet wurden (sog. Reassessment). Die Ergebnisse des jeweils ersten Tests bei diesen 5 Modellen werden im Weiteren nicht berücksichtigt. Damit liegt die Gesamtzahl bei 437 Modellen.

In den vorliegenden Daten bezieht sich die Sternbewertung jeweils auf die Standardausführung des Modells. Seit 2016 kann ein Modell zusätzlich noch mit einem Sicherheitspaket getestet werden. Sofern die Elemente des Sicherheitspakets im Nachgang des Tests in die Standardausstattung des Modells integriert werden, kann die Bewertung für die Standardausführung im Nachhinein entsprechend abgeändert werden (z. B. beim SsangYong Tivoli/XLV).

In Bild 1 ist am Beispiel des VW Golf dargestellt, wie die Testergebnisse auf der Internetseite von Euro NCAP präsentiert werden.

<sup>11</sup> Hierzu sei angemerkt, dass es natürlich methodisch völlig korrekt ist, z. B. nur die Testergebnisse zum Schutz erwachsener Insassen heranzuziehen, wenn es auf der Unfallseite ausschließlich um das Fahrer-Verletzungsrisiko geht.

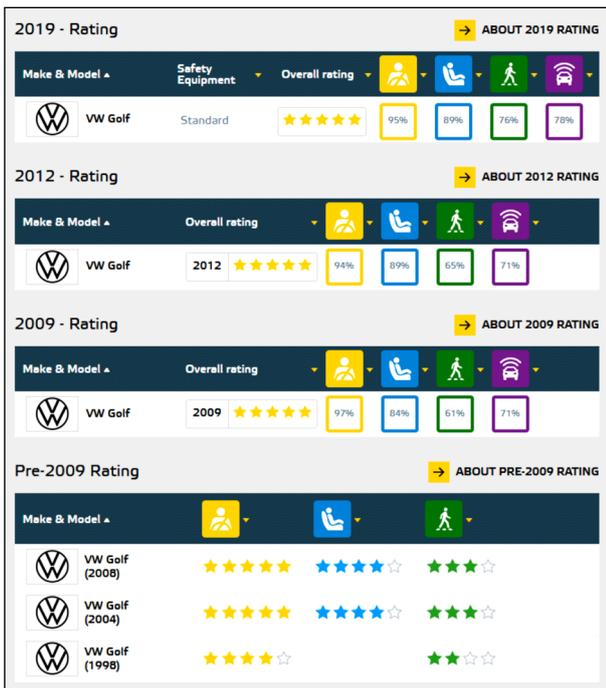


Bild 1: Euro NCAP-Bewertungen für den VW Golf (Quelle: euroncap.com)

Anzahl Sterne (Gesamtbewertung)	Anzahl Modelle	in Prozent
0	2	0,5
1	1	0,2
2	4	0,9
3	50	11,4
4	75	17,2
5	305	69,8
Summe	437	100,0

Tab. 3: Verteilung der Sternezahl (Gesamtbewertung) der zwischen 2009 und 2019 in Euro NCAP getesteten Fahrzeugmodelle (Quelle: Euro NCAP 2009 – 2019)

Aus Bild 1 ist auch ersichtlich, dass in den vor 2009 durchgeführten Euro NCAP-Tests keine Gesamtbewertung für das jeweilige Fahrzeugmodell ausgewiesen wurde. Vielmehr gab es bis dahin separate Sternebewertungen für die Testbausteine 1 bis 3, der 4. Baustein zur Aktiven Sicherheit wurde erst 2009 eingeführt. Aus diesen Gründen werden für die Konstruktion des SPI der Pkw-Flotte nur die Ergebnisse für die ab 2009 in Euro NCAP getesteten Pkw-Modelle verwendet.

In Tabelle 3 ist dargestellt, wie sich die Gesamtsternebewertung der in diesem Zeitraum getesteten Modelle verteilt.

Jahr des Tests	Anzahl Modelle	Mittlere Sternezahl (Gesamtbewertung)
2009	45	4,82
2010	27	4,59
2011	46	4,72
2012	44	4,48
2013	32	4,69
2014	41	4,27
2015	42	4,57
2016	18	4,39
2017	62	4,32
2018	25	4,36
2019	55	4,65
Insgesamt	437	4,54

Tab. 4: Mittlere Sternezahl (Gesamtbewertung) der zwischen 2009 und 2019 in Euro NCAP getesteten Fahrzeugmodelle gegliedert nach Jahr des Tests (Quelle: Euro NCAP 2009 – 2019)

Der aus dieser Verteilung resultierende Mittelwert liegt bei 4,54 Sternen. Aufgegliedert nach Testjahr ergeben sich die in Tabelle 4 dargestellten Durchschnittsbewertungen.

Man erkennt, dass die Durchschnittsbewertung über die Jahre relativ konstant ist. Offenbar gleichen sich die Fortschritte in der Fahrzeugsicherheit und die Verschärfungen im Testverfahren bei Euro NCAP in etwa aus. Ein nur auf der mittleren Sternezahl aufbauender Indikator wäre daher für eine Zeitreihe ungeeignet.

### 3.1.2 Daten zum Pkw-Bestand

Die Daten zu den Pkw-Beständen resultieren aus einer Sonderauswertung des Zentralen Fahrzeugregisters (ZFZR), die beim Kraftfahrt-Bundesamt (KBA) in Auftrag gegeben wurde. Ausgewertet wurden die Bestände für die Jahre 2009 bis 2020 (Stichtag jeweils 1. Januar) nach folgenden Merkmalen:

- Stichtagsjahr,
- Hersteller-Schlüsselnummer,
- Herstellerbezeichnung (normiert),
- Herstellerbezeichnung (nicht normiert), falls Hersteller-Schlüsselnummer = 0900 oder 0901,
- Typ-Schlüsselnummer,

- Amtlicher Klartext Typ,
- Handelsname,
- Handelsbezeichnung,
- Fabrikatcode,
- Fabrikatbezeichnung,
- Modellcode,
- Modellbezeichnung,
- Segmentcode,
- Segmentbezeichnung,
- Jahr der Erstzulassung.

Auf Basis dieser Merkmale soll eine möglichst eindeutige Verknüpfung mit den Euro NCAP-Daten gewährleistet werden. Fahrzeuge mit zweckbestimmter Aufbauart (Wohnmobile, Krankenwagen, Polizeifahrzeuge etc.) wurden nicht in die Auswertungen einbezogen.

Neben den Pkw-Bestandsdaten wurde vom KBA das Verzeichnis SV 4 „Hersteller und Typen“ angefordert. Aus diesem Datenbestand lassen sich den Beständen über die Hersteller- und Typ-Schlüsselnummer weitere Pkw-Typ-bezogene Merkmale<sup>12</sup> zuspielen (z. B. für Zwecke der Imputation der Sternbewertung bei nicht in Euro NCAP bewerteten Fahrzeugen).

### 3.2 Aufbereitung der Euro NCAP-Daten

Seit Beginn ist das Euro NCAP-Verfahren in mehrfacher Hinsicht einem stetigen Wandel unterworfen. In regelmäßigen Abständen haben sich das den Daten zugrunde liegende Messverfahren, die Testprozeduren und die Skalierungen verändert. Dies hat zur Konsequenz, dass die Ergebnisse über die Jahre hinweg nur sehr eingeschränkt miteinander vergleichbar sind. Ein wesentlicher Schritt bei der Entwicklung eines SPI zur Fahrzeugsicherheit besteht daher darin, die Daten in einer Weise neu aufzubereiten, dass ein höheres Maß an Kompatibilität

zwischen den einzelnen Jahren erreicht werden kann.

Je nachdem, aus welchen Merkmalen der SPI konstruiert wird – hierfür gibt es verschiedene Alternativen, die im Folgenden aufgezeigt werden –, sind unterschiedliche Aufbereitungsschritte erforderlich. Unverzichtbar ist jedoch die Angleichung der Testergebnisse der verschiedenen Jahre im Hinblick auf die im Zeitverlauf geänderten Testprozeduren. Hierauf wird im nächsten Kapitel ausführlich eingegangen.

#### 3.2.1 Berücksichtigung von Veränderungen im Testprogramm

Die größte Herausforderung bezüglich des Aufbaus einer SPI-Zeitreihe aus Euro NCAP-Daten besteht darin, dass sich im Lauf der Jahre die Zahl und Durchführung der Testprozeduren verändert hat, was in aller Regel mit erhöhten Anforderungen an die Sicherheit der zu bewertenden Pkw verbunden war. Zunächst werden die wichtigsten Änderungen zusammenfassend dargestellt:

##### Änderungen im Bereich der Passiven Sicherheit

Bedeutende Revisionen im Bereich der Passiven Sicherheit fanden vor allem in den Jahren 2015 und 2020 statt. Zuvor wurden zwischen 2013 und 2015 in Baustein 3 (bis 2017: Schutz von Fußgängern) die Protokolle zum Kopf-, Bein- und Hüftanprall überarbeitet (z. B. GRID-Verfahren, neuer Bein-Prüfkörper Flex PLI; näheres siehe ZANDER et al. 2015).

Im Jahr 2015 wurde mit dem „Frontalaufprall über volle Breite“ (Full Width-Test) ein neues Testverfahren eingeführt. Unter Verwendung von weiblichen Dummies werden Rückhaltesysteme auch für kleinere Insassen – und auf den Rücksitzen – getestet. Der Test stellt hohe Anforderungen an die Rückhaltesysteme der vorderen und hinteren Sitzpositionen.

Beim Pfahlaufpralltest wurde die Anprallgeschwindigkeit von 29 auf 32 km/h erhöht und der Anprallwinkel von 90 auf 75° geändert. Zudem wurden Bereiche bestimmt, in die der Kopf eines Insassen vorne und hinten im Unfall anprallen könnte (von kleiner Frau bis großem Mann). Diese Zonen werden auf einen voll entfalteten Kopfairbag übertragen

<sup>12</sup> Z. B. Zuteilungsdatum der Typ-Schlüsselnummer, Aufbauart, Motorleistung oder technisch zulässige Gesamtmasse.

und dort überprüft, ob eine ausreichende Polsterung vorhanden ist. Beim Seitenaufpralltest wird ein schwererer Aufprallschlitten verwendet (1.300 kg statt 950 kg).

Bei beiden Seitenaufpralltests kommt seither ein neuer Crashtest-Dummy (WorldSID statt ES2) zum Einsatz. Dieser weist mehr Messstellen/-punkte auf und sein Bewegungsverhalten wurde menschenähnlicher gestaltet.

Seit 2016 beruht die Bewertung des Insassenschutzes für Kinder auf größeren Dummies, die Kinder im Alter von 6 bzw. 10 Jahren repräsentieren. Vorher wurden Dummies in Kindersitzen verwendet, die ein eineinhalbjähriges und ein dreijähriges Kind darstellen.

In 2020 wurde der ODB-Test (offset deformable barrier) durch den MPDB-Test (mobile progressive deformable barrier) ersetzt. Statt dem HIII Dummy wird ein THOR Dummy und statt eines fest montierten Crash-Elements ein rollendes Element verwendet. So kann die Dynamik eines realen Crashes mit zwei Elementen besser abgebildet werden. Hinzu kommt, dass der THOR Dummy hinsichtlich der Biofidelität deutlich verbessert wurde.

Mit dem Far side-Test wurde 2020 nochmals eine völlig neue Testprozedur eingeführt. Vorher wurden nur die stoßzugewandten Insassen berücksichtigt, mit diesem Test werden nun auch die stoßabgewandten Insassen einbezogen.

Beim Seitenaufpralltest gab es im Jahr 2020 nochmals Änderungen dahingehend, dass die Geschwindigkeit von 50 auf 60 km/h und die Masse des Rollwagens von 1.300 auf 1.400 kg erhöht wurde.

### **Änderungen bei Systemen der Aktiven Sicherheit**

Die bedeutsamsten Änderungen im Bereich der Tests zur Aktiven Sicherheit waren die Aufnahme von Spurhalteassistenten und automatischen Notbremssystemen in das Bewertungsprogramm (beides im Jahr 2014). Mit dem Testen von automatischen Notbremssystemen für Fußgänger bzw. Radfahrer wurde 2016 bzw. 2018 begonnen. Im Detail gab es weitere mehr oder weniger große Anpassungen der Testprotokolle wie z. B. die Berücksichtigung der Funktion „Tempolimit-Erkennung“ im Rahmen der Bewertung von Geschwindigkeitsassistenten

(2018). Darüber hinaus wurde die Punkteverteilung auf die einzelnen Systeme mehrfach neu justiert, wie Tabelle 5 zeigt.

Eine weitere wichtige Änderung besteht darin, dass für das System „elektronische Fahrdynamikregelung“ (ESC) seit 2016 keine Punkte mehr vergeben werden, da aufgrund gesetzlicher Vorgaben alle Neufahrzeuge mit diesem System ausgestattet sein müssen.

### **Roadmap 2025**

Dieser Prozess der Anpassung des Euro NCAP-Verfahrens an die fahrzeugtechnische Entwicklung – wobei die Fahrzeugtechnik natürlich auch in gewisser Weise von Euro NCAP getrieben ist – wird sich in der Zukunft fortsetzen und sich möglicherweise noch verstärken<sup>13</sup>. Die Weiterentwicklung von Euro NCAP in den nächsten Jahren ist bereits in Planung, die entsprechenden Vorschläge sind in einer sogenannten „roadmap“ zusammengefasst (verfügbar auf [euroncap.com](http://euroncap.com)).

Das grundsätzliche Schema der Bewertung im Hinblick auf die 4 Bausteine wird sich dabei genauso wie die daraus resultierende Gesamtbewertung nicht ändern. Bei den Testprozeduren wird es jedoch zu einem gewissen Paradigmenwechsel kommen: „During the coming years, a transition is foreseen from a “technology based” approach (e.g. tests for AEB) to a more “scenario based” assessment that would allow various types of interventions“ (EURO NCAP 2017, S. 7). Ein Beispiel hierfür ist die für 2022 geplante kombinierte Bewertung von automatischen Brems- und Lenksystemen in kritischen Situationen (small overlap-AEB-Versuche). Zudem gibt es im Bereich der Aktiven Sicherheit ab 2020 weitere Tests zum Notbremsassistenten in Bezug auf Kreuzungen (Junction Assist, Baustein 4) und den Schutz von Fußgängern beim Rückwärtsfahren (Baustein 3). Der in Baustein 1 (Schutz von erwachsenen Insassen) angesiedelte Test „AEB City“ entfällt 2020. Ebenfalls in 2020 ist im Baustein 4 die Bewertung von Systemen der Fahrer- bzw. Insassenzustandsüberwachung hinzugekommen (z. B. Alkohol, Müdigkeit). Ab 2024 sollen auch Systeme der Fahrzeugkommunikation,

<sup>13</sup> Eine Bewertung von Funktionen im Zusammenhang mit autonomem Fahren ist angedacht, soll aber zunächst außerhalb des üblichen Bewertungsrahmens erfolgen.

also des Austauschs von Daten mit anderen Fahrzeugen oder der Umwelt, in die Bewertung einbezogen werden.

Im Bereich der Passiven Sicherheit fand 2020 ein Review des Whiplash-Protokolls statt (Baustein 1), für 2023 sind Anpassungen bei den Tests und Verfahren zur Bewertung der Verletzungsschwere bei Fußgängern und Radfahrern vorgesehen (Baustein 3).

Ab 2020 werden auch erstmals Bewertungen im Hinblick auf die Tertiäre Sicherheit durchgeführt. In Baustein 1 werden Funktionen getestet, die im Falle eines Unfalls den Rettungskräften Informationen zur schnellen und sicheren Befreiung eingeklemm-

ter Insassen zur Verfügung stellen (Rescue, Extrication and Safety). Ab 2022 sollen (Alarm-) Systeme getestet werden, die erkennen, ob sich Kinder alleine im Fahrzeug befinden (Child Presence Detection).

In Tabelle 5 sind abschließend die maximal erreichbaren Punktezahlen in den einzelnen Testbausteinen für die Jahre 2009 bis einschließlich 2020 überblickartig zusammengefasst. In diesem Zusammenhang sei nochmals daran erinnert, dass bei der Darstellung von Testergebnissen unter der Kurzbezeichnung Prozentwert jeweils die beim betreffenden Testbaustein erreichte Punktezahl bezogen auf die erreichbare Punktezahl zu verstehen ist.

Baustein	Test	2009-2012	2013	2014	2015	2016-2017	2018-2019	2020
		maximal erreichbare Punktezahl						
1	ODB Frontalaufprall	16	16	16	8	8	8	-
	MPDB Frontalaufprall	-	-	-	-	-	-	8
	Frontalaufpr. volle Breite	-	-	-	8	8	8	8
	Seitenaufprall	8	8	8	8	8	8	6
	Pfahlaufprall	8	8	8	8	8	8	6
	Far Side-Test	-	-	-	-	-	-	4
	Whiplash Vordersitze	4	4	2	2	2	1,5	3
	Whiplash Rücksitze	-	-	1	1	1	0,5	1
	AEB City	-	-	3	3	3	4	-
	Rettung und Bergung	-	-	-	-	-	-	2
	Summe	36	36	38	38	38	38	38
2	Leistung von CRS (Frontal)	16	16	16	16	16	16	16
	Leistung von CRS (Seite)	8	8	8	8	8	8	8
	Einbauprüfung von CRS <sup>1</sup>	12	12	12	12	12	12	12
	Fahrzeugausrüstungen	13	13	13	13	13	13	13
	Summe	49	49	49	49	49	49	49
3	Kopfanprall	24	24	24	24	24	24	24
	Oberschenkelanprall	6	6	6	6	6	6	6
	Beinanprall (Knie und Unterschenkel)	6	6	6	6	6	6	6
	AEB Fußgänger	-	-	-	-	6	6	7
	AEB Radfahrer	-	-	-	-	-	6	9
	AEB Fußgänger rückw.	-	-	-	-	-	-	2
	Summe	36	36	36	36	42	48	54

<sup>1</sup> Einführung laut euroncap.com im Jahr 2013; es wurden aber schon vorher Punkte vergeben und in die Summe eingerechnet.

Tab. 5: Euro NCAP-Punkteschema 2009 – 2020 (Quelle: euroncap.com)

Baustein	Test	2009-2012	2013	2014	2015	2016-2017	2018-2019	2020
		maximal erreichbare Punktezahl						
4	Gurtwarner	3	3	3	3	3	3	2
	Insassenzustandsüberw.	-	-	-	-	-	-	1
	Geschwindigkeitsass.	1	3	3	3	3	3	3
	Spurassistent	-	-	1	1	3	4	4
	ESC	3	3	3	3	-	-	-
	AEB Heckaufprall	-	-	3	3	3	3	4
	AEB Kreuzung	-	-	-	-	-	-	2
	Summe	7	9	13	13	12	13	16

Tab. 5: Fortsetzung

## Resümee

Für die eben beschriebenen Revisionen des Testprogramms gibt es kein ausreichend objektives (d. h. aus der Testpraxis fundiert ableitbares) Verfahren, mit dem sich diese Veränderungen in die Neuberechnung der Bewertung mathematisch integrieren lassen. Insbesondere für den Bereich der Tests zur Passiven Sicherheit muss daher mit Expertenurteilen gearbeitet werden, um eine hinreichend valide quantitative Einschätzung zu erhalten, wie sich diese Veränderungen der Testprozeduren auf die Fahrzeugbewertung auswirken. Da unter Veränderungen der Testprozeduren tendenziell Verschärfungen zu verstehen sind, geht es konkret um die Schätzung von Abschlagsfaktoren, mit denen die Bewertungsergebnisse für frühere Testjahre entsprechend abgesenkt werden. Betrachtet man die Testbedingungen 2020 als Referenzsituation, so entsprechen die korrigierten Testergebnisse dem hypothetischen Fall, dass in den Jahren bis 2019 bereits die Testprozeduren des Jahres 2020 gültig gewesen wären.

In die Expertenurteile wurden auch die beschriebenen Veränderungen in 2020 mit einbezogen, obwohl im vorliegenden Projekt nur Euro NCAP-Daten bis einschließlich 2019 betrachtet werden. Das bedeutet, dass auch die Ergebnisse für 2019 mit Abschlagsfaktoren belegt werden. Damit werden die Voraussetzungen für eine etwaige Fortführung der Zeitreihe zumindest für die Jahre 2020, 2021 und 2022 geschaffen. Die Ergebnisse der Expertenrunde in Form prozentualer Abschläge sind in Tabelle 6 zusammengefasst. Details zur Berechnung der Abschlagsfaktoren finden sich in den Tabellen im Anhang.

Testjahr	Baustein 1	Baustein 2	Baustein 3	Baustein 4
	Verringerung des ursprünglichen Prozentwertes (Anteil erreichter Punkte) um ... %			
2009	41,9	12,2	36,7	66,8
2010	41,9	12,2	36,7	66,8
2011	41,9	12,2	36,7	66,8
2012	41,9	12,2	36,7	66,8
2013	41,9	9,8	34,5	57,4
2014	37,1	7,3	33,8	39,5
2015	20,0	7,3	33,3	39,5
2016	20,0	0,0	24,4	28,9
2017	20,0	0,0	24,4	28,9
2018	20,0	0,0	13,3	17,4
2019	20,0	0,0	13,3	17,4
2020	0,0	0,0	0,0	0,0

Tab. 6: Ergebnis der Expertenbewertung der Euro NCAP-Protokolländerungen seit 2009 (Referenzjahr: 2020)

Die Abschlagsfaktoren werden dabei auf den Anteil erreichter Punkte (sog. Prozentwert) angewendet. Hatte z. B. ein 2011 getestetes Fahrzeug im 1. Baustein 78 % der möglichen Punkte erreicht, so liegt der neue Prozentwert bei  $78 \% \times (1-0,419) = 45 \%$ . Insgesamt geht es darum, abzuschätzen, wie die zwischen 2009 und 2019 getesteten Modelle unter den 2020 geltenden Testkriterien und Testbedingungen abgeschnitten hätten.

Die resultierenden, mit Abschlagsfaktoren versehenen bausteinspezifischen Prozentwerte sind über die Testjahre hinweg vergleichbar und können direkt als Basis für einen SPI benutzt werden.

Ab dem Jahr 2022/23 werden ggf. weitere Expertenurteile notwendig sein, um die Konsequenzen der dann wirksam werdenden Veränderungen quantifizieren zu können.

### 3.2.2 Berücksichtigung des veränderten Gewichtungsschemas

Wie bereits ausgeführt, wird seit 2009 beim Euro NCAP-Testverfahren als Ausgangspunkt für jeden der 4 Bausteine ein Prozentwert angegeben, in dem sich der Anteil der erreichten Punktzahl an der maximal möglichen Punktzahl ausdrückt. Die Gesamtbewertung des Fahrzeugs ergibt sich dann zunächst aus dem gewichteten Durchschnitt der 4 bausteinspezifischen Prozentwerte. Dabei geht – seit 2014 – das Ergebnis von Baustein 1 mit einem Gewicht von 0,4 und das der Bausteine 2, 3 und 4 mit einem Gewicht von jeweils 0,2 in die Gesamtbewertung ein. Zwischen der Einführung der Gesamtbewertung 2009 und dem Jahr 2013 sah das Wägungsschema für den Baustein 1 ein Gewicht von 0,5 vor (Baustein 2 und 3: je 0,2; Baustein 4: 0,1).

Soll der Gesamtprozentwert, d. h. der gewichtete Durchschnitt der bausteinspezifischen Prozentwerte, als Basis für einen SPI benutzt werden, sollte ein einheitliches Gewichtungsschema für die Bildung der Gesamtbewertung aus den 4 Bausteinen zugrunde gelegt werden. Dies bedeutet, dass die Gesamtprozentwerte für die Jahre vor 2014 unter Verwendung des aktuell gültigen Schemas modifiziert werden sollten.

Das Vorgehen soll beispielhaft am 2011 getesteten Dacia Duster illustriert werden. Dieser erzielte folgende Testresultate (Prozentwerte) – zur besseren Nachvollziehbarkeit basiert das Beispiel auf den Originaldaten, d. h. ohne anderweitige Aufbereitungsschritte:

- Schutz erwachsener Insassen: 74 %,
- Schutz von Kindern im Fahrzeug: 78 %,
- Schutz von Fußgängern: 28 %,
- Fahrerassistenzsysteme: 29 %.

Nach der damals gültigen Gewichtung ergibt sich daraus ein Gesamtwert von

$$74 \times 0,5 + 78 \times 0,2 + 28 \times 0,2 + 29 \times 0,1 = 61,1 \%$$

Wendet man das aktuell gültige Gewichtungsschema an, erhält man als neue Gesamtbewertung

$$74 \times 0,4 + 78 \times 0,2 + 28 \times 0,2 + 29 \times 0,2 = 56,6 \%$$

Die im aktuellen Schema stärkere Berücksichtigung des – bei diesem Modell vergleichsweise schlecht bewerteten – Bausteins „Fahrerassistenzsysteme“ führt hier zu einer Verschlechterung des Gesamtprozentwertes. Bezieht man die Abschlagsfaktoren für das Jahr 2011 aus Tabelle 6 mit ein, erhält man Werte von 39,7 (damalige Gewichtung) bzw. 36,4 % (aktuelle Gewichtung).

### 3.2.3 Berücksichtigung des veränderten Bewertungsschemas

In Euro NCAP erfolgt die Zuweisung der Sterne anhand einer Tabelle mit Schwellenwerten (für die zuvor angesprochenen Prozentwerte), die für eine bestimmte Anzahl von Sternen (1 bis 5) mindestens erreicht werden müssen. Solche Schwellenwerte gibt es sowohl für die 4 Einzelbausteine als auch für die Gesamtbewertung. Sternebewertungen für die einzelnen Bausteine werden in Euro NCAP seit 2009 nicht explizit ausgewiesen, die bausteinspezifischen Schwellenwerte dienen vornehmlich dem Zweck des Balancing (siehe hierzu den nächsten Abschnitt). Gleichwohl kann man – wie im Folgenden dargestellt wird – die Schwellenwerte pro Baustein auch zur Abbildung einer Sternebewertung für den jeweiligen Baustein heranziehen.

Diese Schwellenwerte für die Zuordnung der Sternanzahl zu den erreichten Prozentwerten wurden über die Jahre mehrfach verändert bzw. erhöht (vgl. EURO NCAP 2013, S. 20; EURO NCAP 2020, S. 15).

Wenn man die Sternebewertungen bei den einzelnen Bausteinen als Basis für einen SPI benutzen will, dann sollte zur Verbesserung der Vergleichbarkeit ein einheitliches Schema für die Zuweisung der Sterne verwendet werden. Auch hier ist dann also eine Neuberechnung (der Sternanzahl) erforderlich.

Es erscheint naheliegend, als einheitlichen Bewertungsstandard das für die Jahre 2020 bis 2022 gültige Zuordnungsschema zu verwenden. Die betreffenden Schwellenwerte, die seit 2018 gelten, sind in Tabelle 7 dargestellt.

Vergleicht man die in Tabelle 7 angegebenen Schwellenwerte für den Baustein 4 z. B. mit den

Anzahl Sterne	Baustein 1	Baustein 2	Baustein 3	Baustein 4	Gesamtbewertung
	mindestens zu erreichender Prozentwert				
5	80	80	60	70	74
4	70	70	50	60	64
3	60	60	40	50	54
2	50	50	30	40	44
1	40	40	20	30	34

Tab. 7: Euro NCAP-Bewertungsschema für den Zeitraum 2020 bis 2022 (Quelle: EURO NCAP 2020, S. 15)

Werten aus dem Jahr 2012, so werden die gestiegenen Anforderungen sichtbar: Damals waren nur 60 % für eine Bewertung mit 5 Sternen und 40 % für eine mit 4 Sternen notwendig; ganz entsprechend reichten 25 % für 3 Sterne, 15 % für 2 Sterne und gerade einmal 5 % für 1 Stern (EURO NCAP 2013, S. 20). Um im Baustein 4 beim aktuellen Schema mindestens 1 Stern zu erhalten, müssen dagegen mindestens 30 % erreicht werden (Tabelle 7). So erzielte z. B. der Citroën e-Méhari bei den Tests zu den Aktiven Systemen (Baustein 4) ein Ergebnis von 25 %, was im Testjahr 2017 noch (knapp) für eine Bewertung mit 3 Sternen ausreichend war. Gemäß des aktuell gültigen Schemas würde dieses Modell keinen Stern in diesem Baustein erhalten.

### 3.2.4 Balancing

In Tabelle 7 sind auch Schwellenwerte für die Zuordnung von Sternen zum (gewichteten) Gesamtprozentwert enthalten.

Soll die Gesamtsternebewertung als Basis für einen SPI herangezogen werden, so kann – analog zum Euro NCAP-Verfahren – das sog. Balancing berücksichtigt werden, wonach für die Sternenzahl das Minimum aus Gesamtprozentwert und bausteinspezifischen Prozentwerten maßgeblich ist.

Erreicht z. B. ein Fahrzeug ein Ergebnis, das im Gesamtdurchschnitt zu einer Bewertung mit 5 Sternen führt, so erhält dieses Fahrzeug trotzdem nur 4 Sterne, wenn bei mindestens einem Baustein nur die Anforderungen für eine 4-Sterne-Bewertung erfüllt sind (vgl. z. B. BASt 2009, S. 7f). Dadurch soll erreicht werden, dass es bei vergleichsweise schlechten Bewertungen in einzelnen Bausteinen des Testprogramms zu einer Abwertung des Gesamtergebnisses kommt.

Die Funktionsweise und die Auswirkungen dieser veränderten Zuordnungssystematik kann am Bei-

spiel des BMW Z4 (Testjahr 2015) demonstriert werden. Dieser erzielte insgesamt 3 Sterne bei folgenden Einzelergebnissen (zur besseren Nachvollziehbarkeit basiert das Beispiel auf den Originaldaten, d. h. ohne anderweitige Aufbereitungsschritte):

- Schutz erwachsener Insassen: 69 %,
- Schutz von Kindern im Fahrzeug: 61 %,
- Schutz von Fußgängern und Radfahrern: 91 %,
- Fahrerassistenzsysteme: 46 %.

Der aus den einzelnen Bausteinen berechnete gewichtete Gesamtprozentwert beträgt 67,2 % (zur Berechnung siehe Kapitel 3.2.2), was nach dem damals gültigen Bewertungsschema zu einer 4-Sterne-Bewertung geführt hätte. Allerdings wurden – nach dem damaligen Schema – in den Bausteinen 1 und 4 die bausteinspezifischen Schwellenwerte für 4 Sterne (70 bzw. 60 %) nicht erreicht, woraus die Herabstufung der Gesamtbewertung auf 3 Sterne resultierte. Wendet man nun das Bewertungsschema für 2020 (Tabelle 7) auf die Ergebnisse dieses Fahrzeugmodells an, so sieht man, dass jetzt in Baustein 4 (Fahrerassistenzsysteme) der Schwellenwert für 3 Sterne (50 %) nicht erreicht wird. Somit würden in der neu berechneten (revidierten) Gesamtbewertung diesem Modell nur noch 2 Sterne zugeordnet.

Ab dem Jahr 2023 werden die Schwellenwerte für die Sternenzuordnung im Baustein 3 (Schutz von Fußgängern und Radfahrern) erhöht. Es sind dann z. B. mindestens 70 % für eine 5-Sterne-Bewertung und mindestens 30 % für eine Bewertung mit 1 Stern erforderlich. Daraus ergibt sich auch eine Anpassung der Schwellenwerte für die Gesamtbewertung (76 % für 5 Sterne, 36 % für 1 Stern; EURO NCAP 2020, S. 15). Im Falle einer Weiterführung der SPI-Zeitreihe ab 2020 wird empfohlen, das aktuell verwendete Schema 2020/22 zumindest bis auf weiteres als Referenz beizubehalten.

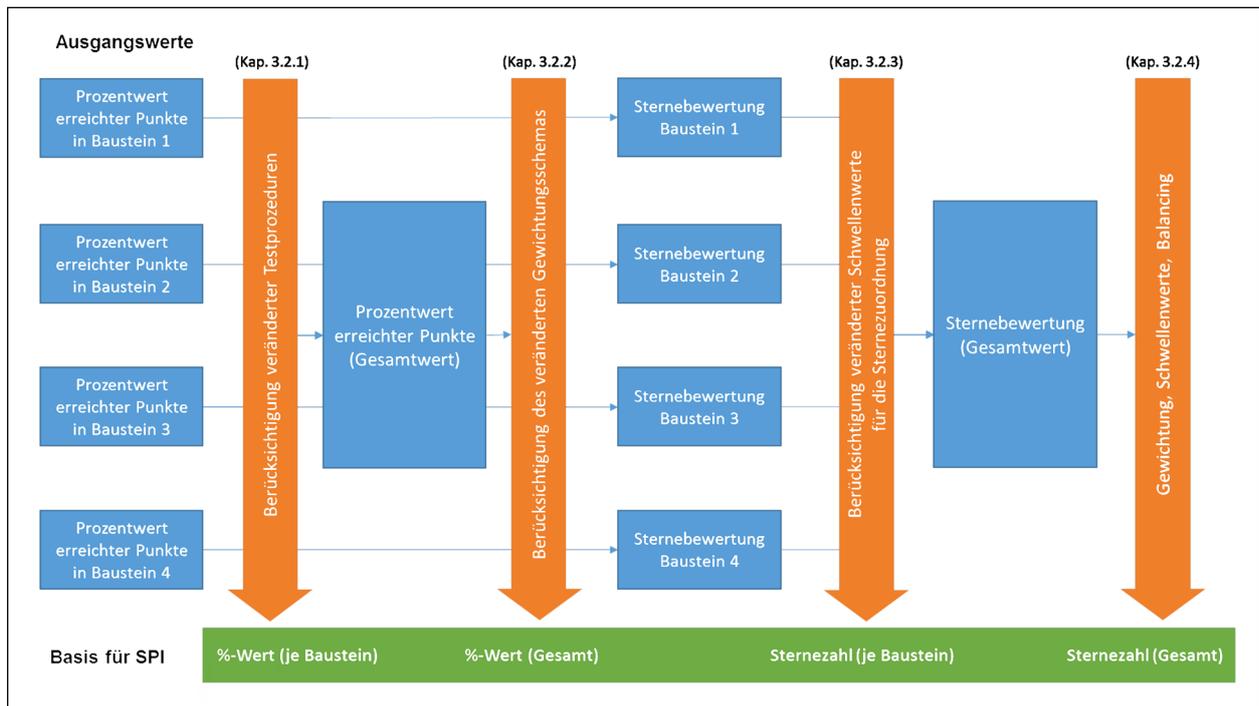


Bild 2: Optionen zur Konstruktion eines SPI aus Euro NCAP-Daten

### 3.2.5 Zusammenfassung und Ergebnisse

In Bild 2 sind die Aufbereitungsschritte der Euro NCAP-Daten für die verschiedenen SPI-Alternativen nochmals in grafischer Form zusammengefasst.

Im Folgenden werden die Auswirkungen der eben beschriebenen Datenaufbereitungsschritte (Veränderung von Testprozeduren, Gewichtung der Bausteine, Schwellenwerte für die Sternezuordnung) auf die Sicherheitsbewertung der getesteten Fahrzeugmodelle dargestellt. Hierfür werden die Resultate (Mittelwerte über alle 437 getesteten Modelle) für die einzelnen SPI-Optionen (Anteil erreichter Punkte, Anzahl Sterne) pro Testjahr den ursprünglichen Ergebnissen gegenübergestellt.

Tabelle 8 zeigt den Ergebnisvergleich im Hinblick auf die SPI-Alternative „Anteil erreichter Punkte“.

Innerhalb der Bausteine entsprechen die Mittelwertunterschiede zwischen den ursprünglichen und den neu berechneten Ergebnissen den in Tabelle 6 dargestellten Abschlagsfaktoren. Dementsprechend finden sich in Baustein 4 die größten Differenzen zwischen Ausgangswert und neuem Wert.

In Tabelle 9 werden die Ergebnisse bezüglich der SPI-Alternative „Anzahl Sterne“ verglichen.

Insgesamt ergeben sich durch die Revision des Berechnungsschemas mit dem Ziel einer besseren Vergleichbarkeit der Ergebnisse aus den verschiedenen Jahren spürbare Bewertungsänderungen, insbesondere im Baustein 4 (Assistenzsysteme). Die mittlere Sternzahl liegt in diesem Baustein zwischen 2009 und 2013 unter dem Wert 1. Aufgrund des Balancing-Mechanismus bei der Gesamtbewertung führt dies dort notwendigerweise zu ganz ähnlichen Resultaten.

Betrachtet man die Gesamtbewertung (Sterne) über alle Jahre, so erreicht nach der Neuberechnung keines der 437 getesteten Modelle eine 5-Sterne-Bewertung.

Jahr des Tests	Baustein 1		Baustein 2		Baustein 3		Baustein 4		Gesamtbewertung	
	urspr.	neu	urspr.	neu	urspr.	neu	urspr.	neu	urspr. <sup>1</sup>	neu <sup>2</sup>
	mittlerer Prozentwert (durchschnittlicher Anteil erreichter Punkte)									
2009	85,8	49,9	78,1	68,5	46,3	29,3	75,9	25,2	75,4	44,5
2010	85,8	49,8	77,5	68,0	53,9	34,1	73,3	24,3	76,5	45,2
2011	86,6	50,3	80,3	70,4	48,8	30,9	77,8	25,8	76,9	45,6
2012	85,4	49,6	82,8	72,7	59,9	37,9	74,0	24,5	78,6	46,9
2013	89,0	51,7	80,4	72,5	65,2	42,7	71,9	30,7	80,8	49,9
2014	80,2	50,4	80,5	74,6	65,3	43,2	60,4	36,5	73,3	51,0
2015	85,4	68,3	82,5	76,5	74,1	49,4	70,8	42,8	79,7	61,1
2016	88,0	70,4	78,4	78,4	68,7	51,9	55,3	39,3	75,7	62,1
2017	86,0	68,8	75,8	75,8	68,8	52,0	55,5	39,4	74,4	61,0
2018	88,3	70,6	81,6	81,6	68,7	59,6	69,8	57,6	79,3	68,0
2019	91,5	73,2	85,1	85,1	70,7	61,2	72,9	60,2	82,3	70,6

<sup>1</sup> Gewichtet gemäß dem jeweils gültigen Gewichtungsschema  
<sup>2</sup> Alle Jahre gewichtet gemäß dem ab 2014 gültigen Gewichtungsschema (0,4 : 0,2 : 0,2 : 0,2)

Tab. 8: Mittlerer Prozentwert (durchschnittlicher Anteil erreichter Punkte) vor und nach der Datenaufbereitung gegliedert nach Baustein und Testjahr (Quelle: Eigene Berechnungen – Datenbasis: Euro NCAP 2009 – 2019)

Jahr des Tests	Baustein 1		Baustein 2		Baustein 3		Baustein 4		Gesamtbew. <sup>1</sup>	
	urspr.	neu <sup>2</sup>	urspr.	neu <sup>2</sup>	urspr.	neu <sup>2</sup>	urspr.	neu <sup>2</sup>	urspr.	neu <sup>2,3</sup>
	durchschnittliche Anzahl Sterne									
2009	4,91	1,53	4,96	3,38	5,00	1,47	4,87	0,11	4,82	0,09
2010	4,70	1,56	4,78	3,30	4,96	1,82	4,74	0,07	4,59	0,07
2011	4,80	1,59	4,89	3,57	4,96	1,57	4,91	0,09	4,72	0,09
2012	4,57	1,50	4,91	3,73	4,52	2,39	4,68	0,16	4,48	0,16
2013	4,88	1,72	5,00	3,72	4,78	2,81	4,81	0,50	4,69	0,50
2014	4,54	1,59	4,88	3,93	4,83	2,78	4,27	1,24	4,27	1,22
2015	4,81	3,26	4,88	4,17	4,86	3,48	4,57	1,71	4,57	1,71
2016	4,94	3,50	4,78	4,50	4,94	3,72	4,44	1,72	4,39	1,67
2017	4,68	3,36	4,65	4,13	4,76	3,65	4,39	1,73	4,32	1,69
2018	4,68	3,60	4,68	4,68	4,64	4,44	4,40	3,44	4,36	3,36
2019	4,98	3,76	4,93	4,93	4,71	4,44	4,69	3,64	4,66	3,55

<sup>1</sup> Inkl. Balancing.  
<sup>2</sup> Für die Sternezuordnung der neu berechneten Anteile erreichter Punkte wurden die Schwellenwerte aus 2020 verwendet.  
<sup>3</sup> Gewichtet gem. Gewichtungsschema ab 2014 (0,4 : 0,2 : 0,2 : 0,2).

Tab. 9: Durchschnittliche Sternanzahl vor und nach der Datenaufbereitung gegliedert nach Baustein und Testjahr (Quelle: Eigene Berechnungen – Datenbasis: Euro NCAP 2009 – 2019)

## 4 Hochrechnung der Euro NCAP-Daten und Indikatorentwicklung

### 4.1 Hochrechnung

#### 4.1.1 Grundkonzept

Die Hochrechnung<sup>14</sup> der Euro NCAP-Ergebnisse auf die gesamte Pkw-Flotte ist der zentrale Schritt zur Erzeugung eines Safety Performance Indikators (SPI). Da der Indikator für aufeinanderfolgende Jahre (sog. SPI-Bezugsjahre) zu bilden ist, sind die jährlichen Pkw-Bestandsdaten aus dem Zentralen Fahrzeugregister (ZFZR) des KBA als Hochrechnungsrahmen zu betrachten.

Die Hochrechnung besteht darin, die – neu berechneten – Euro NCAP-Ergebnisdaten für die getesteten Marken und Modelle (Anteil erreichter Punkte, Anzahl Sterne) mit den entsprechenden ZFZR-Beständen zu verknüpfen (matching). Da nur die ab 2009 in Euro NCAP getesteten Fahrzeuge berücksichtigt werden (siehe Kapitel 3.1.1), finden sich in den ersten Jahren nach 2009 nur sehr wenige getestete Modelle im Bestand. Daher wurde entschieden, mit der Zeitreihe zum SPI erst ab dem Jahr 2014 zu beginnen<sup>15</sup>, um eine ausreichende Zahl an getesteten Modellen in der Pkw-Flotte vorfinden und damit einem möglichst großen Teil des Pkw-Bestands die Testergebnisse zuordnen zu können.

Der mit diesem Vorgehen verbundene Datenaufbereitungsaufwand ist beträchtlich: Fasst man die ZFZR-Einzeldaten für die SPI-Bezugsjahre 2014 bis 2020 (Stichtag jeweils 1. Januar) in einer Gesamtdatei<sup>16</sup> zusammen, so beläuft sich die Gesamtzahl der zu verarbeitenden Pkw-Datensätze auf knapp 317 Millionen. Die Daten wurden vom KBA in aggregierter Form, d. h. nach den in Abschnitt 0 aufgelisteten ZFZR-Merkmalen untergliedert, bereitgestellt. Dieser aggregierte Datenbestand umfasst insge-

samt 2.106.510 Datenzeilen, wobei jede Datenzeile einer bestimmten Merkmalskombination entspricht.

#### 4.1.2 Methodisches Vorgehen

Die Verknüpfung der ZFZR-Daten mit den Euro NCAP-Daten erfolgt über die Merkmale Marke und Modell<sup>17</sup>. Darüber hinaus war es erforderlich, auch die in Euro NCAP getestete Baureihe (Modellgeneration) des jeweiligen Modells in den ZFZR-Daten zu identifizieren (z. B. Marke: Mercedes-Benz; Modell: B-Klasse; Modellgeneration: 2011-2018 bzw. 2019ff (2-mal bewertet in Euro NCAP: 2011 und 2019)). Allerdings steht diese Information in den ZFZR-Daten nicht zur Verfügung. Daher musste neben den Merkmalen Marke und Modell auf das Jahr der Erstzulassung zurückgegriffen werden, um eine Verknüpfung mit den Euro NCAP-Daten herstellen zu können.

Zur Identifikation von Marke und Modell im ZFZR wurden die Merkmale

- Fabrikatcode/Fabrikatbezeichnung und
- Modellcode/Modellbezeichnung

verwendet. Nur bei etwa 2,7 % der Fahrzeuge ist das Verfahren nicht anwendbar, da der Modellcode unbekannt ist.

Allerdings reichen die beiden oben genannten ZFZR-Merkmale nicht in allen Fällen aus, um ein in Euro NCAP bewertetes Modell im Gesamtbestand identifizieren zu können. Daher wurden nach Bedarf weitere Merkmale für das Matching herangezogen:

- Dies betrifft zum einen die Aufbauart – zur Abgrenzung von u.a. Cabriolets (z. B. Golf Cabriolet) oder Kombis (z. B. Volvo S60 vs. V60) – und zum anderen den Code zur Kraftstoff-/Energie-

<sup>14</sup> Hinter dem Begriff „Hochrechnung“ steht die Vorstellung, dass für jedes SPI-Bezugsjahr die  $n$  getesteten Fahrzeuge eine Stichprobe aus der Gesamtheit aller  $N$  Fahrzeuge der betreffenden Pkw-Flotte darstellen.

<sup>15</sup> Die Pkw-Bestände für die Jahre 2009 bis 2013 liegen ebenfalls vor.

<sup>16</sup> Fahrzeuge, die über mehrere Jahre im ZFZR registriert sind, sind in dieser Datei mit mehreren Datensätzen vertreten.

<sup>17</sup> Pro Marke und Modell  $k$  wird bei Euro NCAP in der Regel nur  $n^k = 1$  Fahrzeug getestet, dessen Testergebnisse hier auf die  $N_k$  betreffenden Fahrzeuge im Pkw-Bestand übertragen werden.

quelle<sup>18</sup> zur Identifikation von Elektro- oder Hybridfahrzeugen (z. B. Kia Soul EV).

- Darüber hinaus mussten in einigen Fällen auch Klartexteinträge (wie Herstellerbezeichnung (nicht normiert), Handelsname und -bezeichnung) zur Erkennung eines Modells verwendet werden. Beispiele hierfür sind Audi A3 e-tron, Qoros 3 Sedan, Golf Sportsvan, Citroën Space-tourer oder die Marke MINI, bei der alle Modelle denselben Modellcode haben.

Überraschenderweise konnten nicht sämtliche getestete Modelle im ZFZR-Bestand aufgefunden werden. So konnte von den 5 Modellen der Marke MG nur eines (MG ZS) in den Pkw-Bestandsdaten der Jahre 2014 bis 2020 identifiziert werden. Darüber hinaus waren folgende Modelle nicht feststellbar: Aways U5 (erst ab 2020 erhältlich), Geely Emgrand EC 7, Fiat Panda Cross, Toyota Proace City (erst ab 2020 erhältlich), Isuzu D-Max und die Mercedes-Benz X-Klasse. Bei den beiden letztgenannten handelt es sich laut Hersteller- und Typenverzeichnis um Fahrzeuge der Klasse N1.

Um auch die Baureihe bzw. Modellgeneration des jeweils getesteten Modells im ZFZR zu identifizieren, mussten umfangreiche Internetrecherchen durchgeführt werden. Hierzu wurden u.a. die Online-Autokataloge des ADAC und von Autobild herangezogen. Zur Zuordnung der Modellgeneration in den ZFZR-Daten wurde, wie erwähnt, das Merkmal „Jahr der Erstzulassung“ verwendet. Dies bedeutet, dass für jedes getestete Modell die ermittelte Modellgeneration (z. B. Golf VII) über die Zusammenfassung der entsprechenden Erstzulassungsjahre abgebildet wurde. Diesem Vorgehen liegt die Annahme zugrunde, dass ein im Jahr x erstmals für den Verkehr zugelassenes Fahrzeug zur im Jahr x aktuellen Modellgeneration gehört. Diese Annahme dürfte nicht in allen Fällen zutreffen, der zu erwartende Fehler wird jedoch als sehr gering eingeschätzt.

Bei der Abbildung der Modellgeneration im ZFZR wurden ggf. auch Facelifts berücksichtigt. So bezieht sich z. B. der Test des Mazda 6 im Jahr 2018 offensichtlich auf den 2. Facelift der Baureihe GJ (im Jahr 2018). Dementsprechend wurden diesem Modell im Bestand die Erstzulassungsjahre ab 2018 zugeordnet. Der erste Facelift 2015 wurde dagegen nicht berücksichtigt, da laut Facelift-Review vom Dezember 2014 das Testergebnis für das Grundmodell der Baureihe GJ aus dem Jahr 2013 noch gültig war. Das in 2013 getestete Modell wird somit im ZFZR über die Erstzulassungsjahre 2013 bis 2017 abgebildet. Ein weiteres Beispiel ist die 1. Generation des Citroën C1 (getestet 2012 und 2014), die von 2005 bis 2014 gebaut wurde. Allerdings fand 2012 ein Facelift statt<sup>19</sup>, sodass im ZFZR dem 2012 in Euro NCAP getesteten Modell nur die Erstzulassungsjahre 2012 bis 2013 zugeordnet wurden. Dies führt einerseits zu einer genaueren Abbildung, erhöht aber andererseits den Anteil des Pkw-Bestands ohne zuordenbare Bewertung.

#### 4.1.3 Matching-Quote

Das Resultat der Zuordnung von Testergebnissen zu den Fahrzeugen der Pkw-Flotte wird im Folgenden getrennt nach Bestandsstichtagen<sup>20</sup> betrachtet. Erwartungsgemäß nimmt bei den neueren Fahrzeugen (Erstzulassung ab 2009) die Matching-Quote, d. h. der Anteil der Pkw mit Euro NCAP-Bewertung, von Jahr zu Jahr zu. Während zum Stichtag 1.1.2014 nur gut der Hälfte (54,8 %) der im ZFZR registrierten neueren Pkw eine Euro NCAP-Bewertung zugeordnet werden konnte, trifft dies zum Stichtag 1.1.2020 bereits für mehr als drei Viertel (78,1 %) der Pkw-Flotte zu.

Im Durchschnitt über die hier betrachteten 7 Bestandsstichtage (1.1.2014, 1.1.2015, 1.1.2016, 1.1.2017, 1.1.2018, 1.1.2019, 1.1.2020) erhielten von den neueren Fahrzeugen (Erstzulassungsjahr ab 2009) 69,7 % eine Euro NCAP-Bewertung zugewiesen. Da die stichtagsspezifische Matching-

<sup>18</sup> Beide Merkmale wurden über die Hersteller- und Typschlüsselnummer aus dem Verzeichnis „Hersteller und Typen“ (SV 4) zugespielt. Für „ungetypte“ Fahrzeuge sind diese Merkmale somit nicht bekannt.

<sup>19</sup> Quelle: ADAC Autokatalog (<https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/autokatalog/marken-modelle/>)

<sup>20</sup> Der Bestandsstichtag ist der Tag, auf den sich der Fahrzeugbestand im ZFZR – und damit auch der SPI – bezieht (hier jeweils der 1.1. eines Jahres).

Stichtag ZFZR-Bestand	Erstzulassung bis 2008	Erstzulassung ab 2009
	Anteil Pkw mit Euro NCAP-Bewertung in %	
1.1.2014	2,2	54,8
1.1.2015	2,3	60,0
1.1.2016	2,4	64,9
1.1.2017	2,5	69,1
1.1.2018	2,6	72,6
1.1.2019	2,7	75,6
1.1.2020	2,8	78,1
Durchschnitt	2,5	69,7

Tab. 10: Anteil Fahrzeuge im ZFZR mit zuordenbarer Euro NCAP-Bewertung gegliedert nach Bestandsstichtag und Erstzulassungsjahr (Quelle: Eigene Berechnungen – Datenbasis: Euro NCAP 2009 – 2019; ZFZR 2014 – 2020)

Quote bei Pkw, die vor 2009 erstmals für den Verkehr zugelassen wurden, jeweils unter 3 % liegt<sup>21</sup>, ergibt sich insgesamt für die Pkw-Jahresanfangsbestände 2014 bis 2020 eine mittlere Matching-Quote von etwa 36 %<sup>22</sup>. Dies hat damit zu tun, dass nur Euro NCAP-Testergebnisse ab 2009 betrachtet werden und die Tests ganz überwiegend zeitnah zur Markteinführung des jeweiligen Modells bzw. der jeweiligen Modellgeneration durchgeführt werden.

In Tabelle 10 sind die (stichtagsspezifischen) Matching-Quoten für die Pkw-Jahresanfangsbestände 2014 bis 2020 in der Untergliederung nach Jahr der Erstzulassung dargestellt.

Tabelle 11 zeigt die mittlere Matching-Quote für den Zeitraum 2014 bis 2020 (mit dem Pkw-Bestand gewogenes arithmetisches Mittel der 7 stichtagsspezifischen Matching-Quoten) in der Untergliederung nach Fahrzeugsegment und Jahr der Erstzulassung.

Betrachtet man nur Pkw, die ab 2009 (erstmalig) zugelassen wurden, so finden sich im Hinblick auf das

Pkw-Segment	Erstzulassung bis 2008	Erstzulassung ab 2009
	Mittlere Matching-Quote 2014 bis 2020 in %	
Mini	0	52,9
Kleinwagen	0,2	58,4
Kompaktklasse	4,3	80,8
Mittelklasse	6,2	81,4
Obere Mittelklasse	1,0	90,2
Oberklasse	0	7,1
Geländewagen	0,3	70,9
Utilities	1,3	51,0
Sonstige	0	0
Sportwagen	0	15,5
Mini-Van	0	65,5
Großraum-Van	0	52,4
SUV	1,2	85,2
Alle Segmente	2,5	69,7

Tab. 11: Mittlerer Anteil Fahrzeuge im ZFZR mit zuordenbarer Euro NCAP-Bewertung gegliedert nach Segment und Erstzulassungsjahr (Quelle: Eigene Berechnungen – Datenbasis: Euro NCAP 2009 – 2019; ZFZR 2014 – 2020)

Fahrzeugsegment bei der oberen Mittelklasse sowie bei SUV, Mittel- und Kompaktklasse mittlere Matching-Quoten zwischen 80 und 90 %. Dagegen konnte vergleichsweise wenigen Sportwagen und Pkw der Oberklasse eine Euro NCAP-Bewertung zugewiesen werden.

Schaut man sich für die Bestandsstichtage 1.1.2014 bis 1.1.2020 abschließend noch die mittlere Matching-Quote nach Marke an (wiederum nur Pkw mit Erstzulassung ab 2009), so findet sich die höchste Quote bei der Marke Tesla mit 97,7 %, gefolgt von Honda mit 92,4 %. Quoten um die 80 % ergeben sich bei den Marken VW (84,8 %), Kia (82,1 %), Hyundai (80,3 %), Volvo (79,3 %) und Audi (78,1 %).

<sup>21</sup> War ein Modell, das ab 2009 getestet wurde, schon vor 2009 auf dem Markt, wurden im Bestand auch die entsprechenden Erstzulassungsjahre vor 2009 berücksichtigt (z. B. Honda Accord, 8. Generation: 2009 getestet, seit Sommer 2008 auf dem Markt).

<sup>22</sup> Der Pkw-Bestand über alle hier betrachteten Stichtage beträgt ca. 316,92 Mio. Fahrzeuge, von denen 113,72 Mio. Pkw (35,9 %) eine Euro NCAP-Bewertung zugeordnet werden konnte. Fahrzeuge, die über mehrere Jahre im Bestand sind, werden dabei entsprechend mehrfach gezählt.

#### 4.1.4 Imputation

Da in Euro NCAP nicht alle am Markt eingeführten Modelle bewertet werden, soll für die im Pkw-Bestand vorfindlichen nicht getesteten Modelle eine nachträgliche Ergänzung (Imputation) der Bewertung vorgenommen werden. Dasselbe ist für die Fälle erforderlich, bei denen die Verknüpfung von Euro NCAP- und ZFZR-Daten zu keinem „match“ führt.

Imputation heißt, dass in der Gesamtheit aller Pkw die Testergebnisse (Anteil erreichter Punkte, Anzahl Sterne) der Fahrzeuge, denen eine Euro NCAP-Bewertung per Matching zugewiesen werden konnte, nach bestimmten Grundsätzen auf die Fahrzeuge ohne Sicherheitsbewertung übertragen werden.

Im Folgenden wird die hier verwendete Methodik kurz skizziert. Es liegen Euro NCAP-Daten für die ab 2009 getesteten Fahrzeugmodelle vor. Eine Imputation kommt somit eigentlich nur für die Modelle (bzw. Modellgenerationen) in Betracht, die ab 2009 eingeführt, aber nicht getestet wurden. Eine Übertragung auf ältere Fahrzeuge erscheint dagegen aufgrund der Entwicklung der Fahrzeugtechnik nicht gerechtfertigt.

Als mögliche Hilfsmerkmale für eine Übertragung von Ergebnissen kommen insbesondere das Fahrzeugsegment und das Erstzulassungsjahr in Frage. In diesem Fall kann für jedes Fahrzeugsegment und für jedes Erstzulassungsjahr ab 2009 die durchschnittliche Bewertung in der Untergliederung nach diesen beiden Merkmalen berechnet und auf die nicht getesteten Modelle übertragen werden. Hierzu ist anzumerken, dass in Euro NCAP der Großteil der Fahrzeuge getestet wird, weil die Hersteller aktiv diese Bewertung wollen. Es ist daher davon auszugehen, dass die nicht getesteten Modelle möglicherweise etwas unter dem Durchschnitt liegen. Aufgrund dieses verfahrensbedingten Selbstselektionsmechanismus<sup>4</sup> kann nicht ausgeschlossen werden, dass die durch Imputation generierten Bewertungen eventuell geringfügig zu hoch ausfallen.

Bei der Verwendung von Sternen als SPI führt diese Mittelwertimputation natürlich zu nicht ganzzahligen Werten bei den Fahrzeugen im ZFZR, denen zunächst keine Euro NCAP-Bewertung zugeordnet werden konnte. Im Hinblick auf die Indikatorenbildung (siehe Kapitel 4.2) wäre in diesem Fall also ebenfalls eine Mittelwertbetrachtung zu empfehlen.

Es soll in diesem Zusammenhang jedoch nicht unerwähnt bleiben, dass die Verwendung des Erstzulassungsjahres im Imputationsverfahren kleinere Unschärfen zur Folge hat. Wird z. B. einem in Euro NCAP nicht bewerteten Pkw mit Erstzulassungsjahr 2012 die mittlere Bewertung seines Segments für Fahrzeuge des Erstzulassungsjahrs 2012 imputiert, so wird dabei nicht berücksichtigt, dass dieser Pkw möglicherweise zu einer Modellgeneration gehört, die schon seit mehreren Jahren (u. U. schon vor 2009) unverändert auf dem Markt ist.

Auch bei Anwendung dieser Imputationsverfahren bei den neueren Fahrzeugen sind – eben durch die Beschränkung der Hochrechnung auf Testergebnisse ab 2009 – im ZFZR nur sehr geringe Anteile von Fahrzeugen mit Erstzulassung vor 2009 vorhanden, denen eine Bewertung zugeordnet werden konnte (siehe Tabelle 10). Dies führt insbesondere am Anfang der zu erstellenden Zeitreihe (2014) zu einem nicht unbeträchtlichen Anteil an Fahrzeugen im Bestand ohne Bewertung, was mit den vielen älteren Fahrzeugen im Bestand zu tun hat. Aktuell liegt das Durchschnittsalter von in Deutschland zugelassenen Pkw bei etwa 9 Jahren. Aus Euro NCAP werden – aus den in Kapitel 3.1.1 genannten Gründen – die zwischen 2009 und 2019 getesteten Modelle betrachtet. Im gesamten Fahrzeugbestand z. B. zum 1.1.2020 weisen aber nur rund 64 % der Pkw ein Erstzulassungsdatum ab 2009 auf. Je früher also der betrachtete Bestandsstichtag liegt (1.1.2019, 1.1.2018 usw.), desto kleiner ist dieser Anteil.

Aufgrund der Tatsache, dass zur Vereinheitlichung der Euro NCAP-Ergebnisse das Jahr 2020 als Referenz verwendet wurde, erscheint es gerechtfertigt, Fahrzeugen, die vor 2009 erstmals für den Verkehr zugelassen wurden und denen keine Bewertung zugeordnet werden konnte, durchgehend die Bewertung 0 Sterne bzw. 0 Prozent erreichter Punkte zuzuweisen.

Führt man die Imputation in der beschriebenen Weise durch (Erstzulassung vor 2009 und fehlende Bewertung: Bewertung 0 einsetzen; Erstzulassung ab 2009 und fehlende Bewertung: Mittelwertimputation nach Erstzulassungsjahr und Segment), verbleiben 479.476 Fahrzeuge ohne Bewertung. Das sind nur noch 0,15 % des Gesamtbestands 2014 bis 2020.

## 4.2 Indikatorentwicklung

Aus statistischer Sicht kommen für die Bildung eines Indikatorwertes (SPI) grundsätzlich folgende Euro NCAP-basierte Kenngrößen der Pkw-Flotte in Betracht:

- Totalwerte, z. B. die Summe der bausteinspezifischen NCAP-Sterne sämtlicher Pkw im Bestand
- Verhältniszahlen (Anteile oder Beziehungszahlen), wie z. B. der Anteil der 5-Sterne-Fahrzeuge am gesamten Pkw-Bestand oder
- Mittelwerte, z. B. das arithmetische Mittel oder der Median des Anteils an im Test erreichten Punkten

Dabei sollte der resultierende Indikatorwert (SPI) auch inhaltlich interpretierbar sein.

Ein ganz einfacher Indikator wäre z. B.

- die durchschnittliche Zahl der Sterne der Fahrzeuge im betrachteten Bestand (Sterne/Pkw).

Möglich wäre auch,

- den Totalwert (Summe) der erreichten Sterne auf die maximal mögliche Sternesumme (= Bestand multipliziert mit 5) zu beziehen.

Im letzteren Fall würde der resultierende Anteilswert dann so etwas wie einen Index für den Grad der Ausschöpfung des Potenzials an Fahrzeugsicherheit darstellen, wobei sich dies dann auf genau ein Bezugsjahr beziehen würde.

Bei den genannten Verfahren zur Bildung eines Indikatorwertes (SPI) könnten sich bei einer Weiterentwicklung des Stands der Technik in Bezug auf die Fahrzeugsicherheit beim Vergleich mit einem konstanten Bezugsjahr in Zukunft ggf. auch Indizes von über 100 % ergeben. Möchte man dies vermeiden, sollte man zu gegebener Zeit dann über eine Neufestsetzung des Bezugsjahres nachdenken.

Des Weiteren ist bei der Verwendung von Verhältniszahlen, wie z. B. dem Anteil der mit 5 Sternen bewerteten Pkw, zu beachten, dass – vor dem Hintergrund der oben skizzierten Imputationsmethode – die imputierten Mittelwerte vorher auf ganzzahlige Werte gerundet werden sollten.

Je nach gewähltem SPI sind die Indikatorwerte im Sinne einer Gesamtbewertung oder auf der Ebene der einzelnen Testbausteine zu berechnen.

## Resümee

Als Safety Performance Indikator (SPI) wird im Folgenden die mittlere bausteinspezifische Sternebewertung herangezogen, weil sich hiermit die anschaulichsten Resultate erzielen lassen: Zum einen werden die Euro NCAP-Tests stark mit der Sternebewertung assoziiert, zum anderen ermöglicht eine bausteinspezifische Betrachtung eine passgenauere Analyse zum Zusammenhang zwischen SPI und dem Unfallgeschehen (siehe hierzu Kapitel 5).

Es werden also pro betrachtetem Bezugszeitpunkt des Bestands (ab 2014) für die gesamte Pkw-Flotte bausteinspezifische Durchschnittswerte des Merkmals „Anzahl Sterne gemäß Euro NCAP (0 bis 5)“ berechnet. Diese basieren auf den neu berechneten und vereinheitlichten bausteinspezifischen Fahrzeugbewertungen aus Euro NCAP.

Diese Mittelwerte lassen sich als „auf 2020 referenzierte bausteinspezifische Safety Performance Indikatoren der Pkw-Flotte“ charakterisieren und werden nachfolgend als

### **SPI (Baustein x) der Pkw-Flotte**

bezeichnet.

Die Referenzierung auf 2020 bezieht sich sowohl auf die Testprozeduren (Abschlagsfaktoren) als auch auf die Schwellenwerte für die Zuordnung der Sterne in den Euro NCAP-Daten.

Es wurden auf diese Weise insgesamt vier Safety Performance Indikatoren gebildet, bei denen es sich, wie erwähnt, um bausteinspezifische Durchschnittswerte der Sicherheitsbewertung der im ZFZR erfassten Pkw handelt. Aus diesen vier Indikatoren wurde dann noch ein Safety Performance Gesamtindikator

### **SPI (Gesamt) der Pkw-Flotte**

berechnet.

Es handelt sich dabei um einen gewichteten Mittelwert, bei dem – in Analogie zum Euro NCAP-Verfahren – die Bewertungen der vier Bausteine im Verhältnis 40:20:20:20 gewichtet wurden.

### 4.3 Hochrechnungsergebnisse

Im Rahmen der Hochrechnung wurden die Resultate der Euro NCAP-Tests zwischen 2009 und 2019 mit den durch die Expertengruppe festgelegten Abschlagsfaktoren auf die gesamte Pkw-Flotte übertragen und fehlende Werte (z. B. nicht getestete Modelle) durch Imputation ergänzt.

Tabelle 12 zeigt das zentrale Ergebnis der Hochrechnung, d. h. die Zeitreihen der vier bausteinspezifischen SPI-Werte und des Gesamt-SPI.

Die Ergebnisse zeigen durchweg einen im Zeitverlauf ansteigenden Trend der Indikatoren. Die höchsten Indikatorwerte finden sich beim Baustein 2 (Schutz von Kindern im Fahrzeug), am niedrigsten fallen sie beim Baustein 4 (Ausstattung mit Fahrerassistenzsystemen) aus. Allerdings ist das Niveau der SPI-Werte relativ niedrig (im Verhältnis zum Wertebereich 0 bis 5). Dies hat im Wesentlichen zwei Gründe:

Zum einen liegt dies daran, dass sich der Bestand zu einem Stichtag ja auf viele Erstzulassungsjahre verteilt. Da vor 2009 keine (vergleichbaren) Euro NCAP-Ergebnisse verfügbar sind, wurde – wie schon erwähnt – in der Imputation praktisch allen Fahrzeugen mit Erstzulassungsjahr vor 2009 eine 0-Sterne-Bewertung zugeordnet.

Zum anderen wirkt sich natürlich auch die Tatsache aus, dass im Hinblick auf die Abschlagsfaktoren zur Normierung der Euro NCAP-Bewertungen (Experten) durchgängig die Testbedingungen des Jahres 2020 als Referenz herangezogen wurden. Wie weiter oben bereits dargestellt (vgl. Tabelle 6), werden hierdurch z. B. beim Baustein 4 die Testergebnisse

bei den zwischen 2009 und 2012 bewerteten Modellen auf rund ein Drittel ihres ursprünglichen Wertes abgesenkt. Dies spiegelt sich natürlich auch in den auf die Pkw-Flotte hochgerechneten Werten wider.

Im Folgenden werden die vier bausteinspezifischen SPI-Werte sowie der SPI-Gesamtwert noch nach Pkw-Segmenten gemäß ZFZR gegliedert. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wurde auf das gering besetzte Segment Sonstige (Oldtimer etc.) verzichtet.

Die zeitliche Entwicklung des SPI in Baustein 1 (Schutz erwachsener Insassen) ist in Bild 3 dargestellt. Zu allen betrachteten Zeitpunkten weisen SUV den höchsten SPI beim Schutz erwachsener Insassen auf, gefolgt von Geländewagen.

SUV rangieren im Hinblick auf den SPI auch in den Bausteinen 2 (Schutz von Kindern im Fahrzeug) und 3 (Schutz von Fußgängern und Radfahrern) ganz oben, wie Bild 4 und Bild 5 zu entnehmen ist. Im Vergleich zu den SPI's in Baustein 3 weisen die Werte in Baustein 2 eine größere Heterogenität auf. SUV und Geländewagen liegen mit einigem Abstand an der Spitze, während Sportwagen beim Schutz von Kindern im Fahrzeug vergleichsweise schlecht abschneiden. Hier ist auch im Zeitverlauf nur ein relativ moderater Anstieg der Werte festzustellen.

Bezüglich des SPI in Baustein 4 (Fahrerassistenzsysteme) findet sich zu allen Zeitpunkten der höchste SPI bei Fahrzeugen der Oberklasse (Bild 6). An zweiter Stelle stehen SUV, wobei sich der Abstand zur Oberklasse im Zeitverlauf verringert hat.

Stichtag ZFZR-Bestand	Baustein 1	Baustein 2	Baustein 3	Baustein 4	Gesamt
	SPI der Pkw-Flotte				
1.1.2014	0,60	1,24	0,60	0,02	0,63
1.1.2015	0,70	1,45	0,73	0,04	0,74
1.1.2016	0,82	1,67	0,89	0,09	0,87
1.1.2017	0,94	1,88	1,04	0,14	1,00
1.1.2018	1,09	2,10	1,22	0,22	1,14
1.1.2019	1,24	2,32	1,40	0,31	1,30
1.1.2020	1,41	2,53	1,60	0,45	1,48

Tab. 12: Bausteinspezifische SPI und SPI (Gesamt) der Pkw-Flotte gegliedert nach Bestandsstichtag (Quelle: Eigene Berechnungen – Datenbasis: Euro NCAP 2009 – 2019; ZFZR 2014 – 2020)

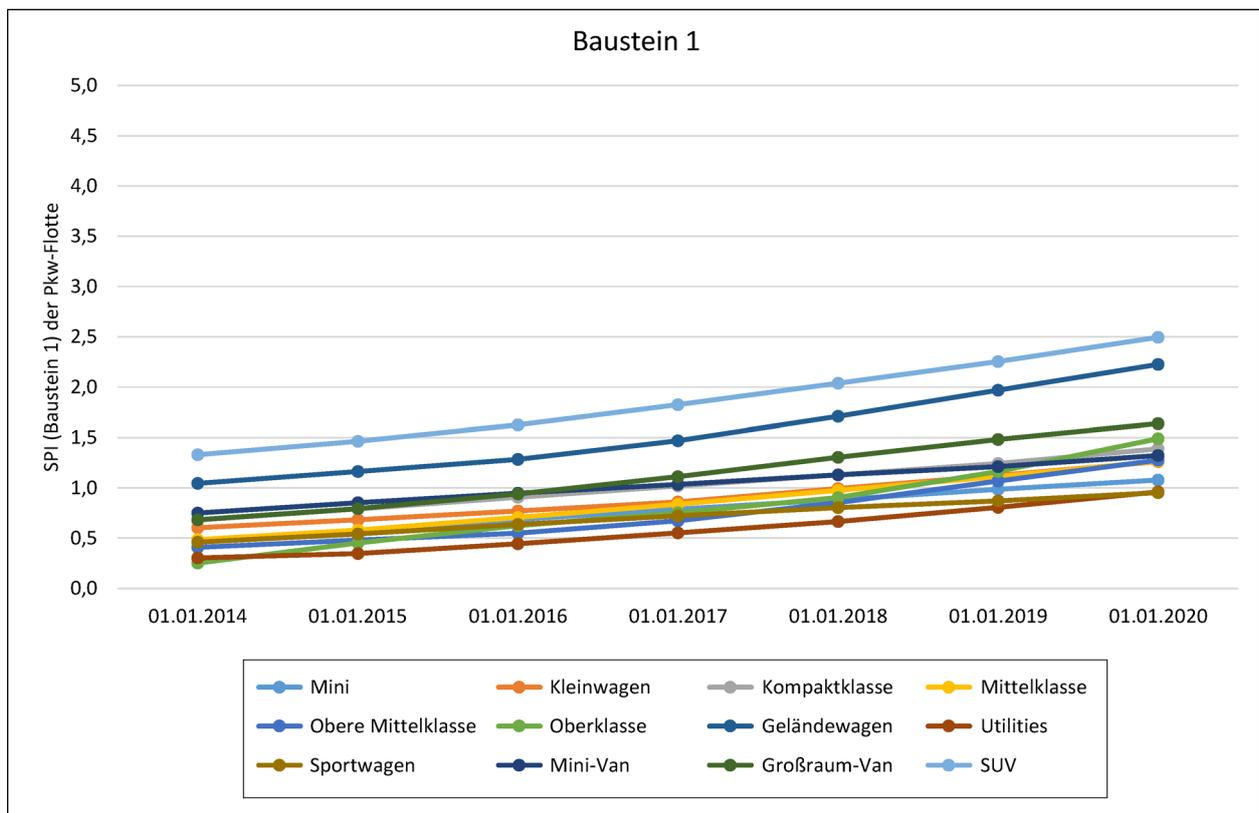


Bild 3: SPI (Baustein 1) der Pkw-Flotte gegliedert nach Pkw-Segment und Bestandsstichtag (Quelle: Eigene Berechnungen – Datenbasis: Euro NCAP 2009 – 2019; ZFZR 2014 – 2020)

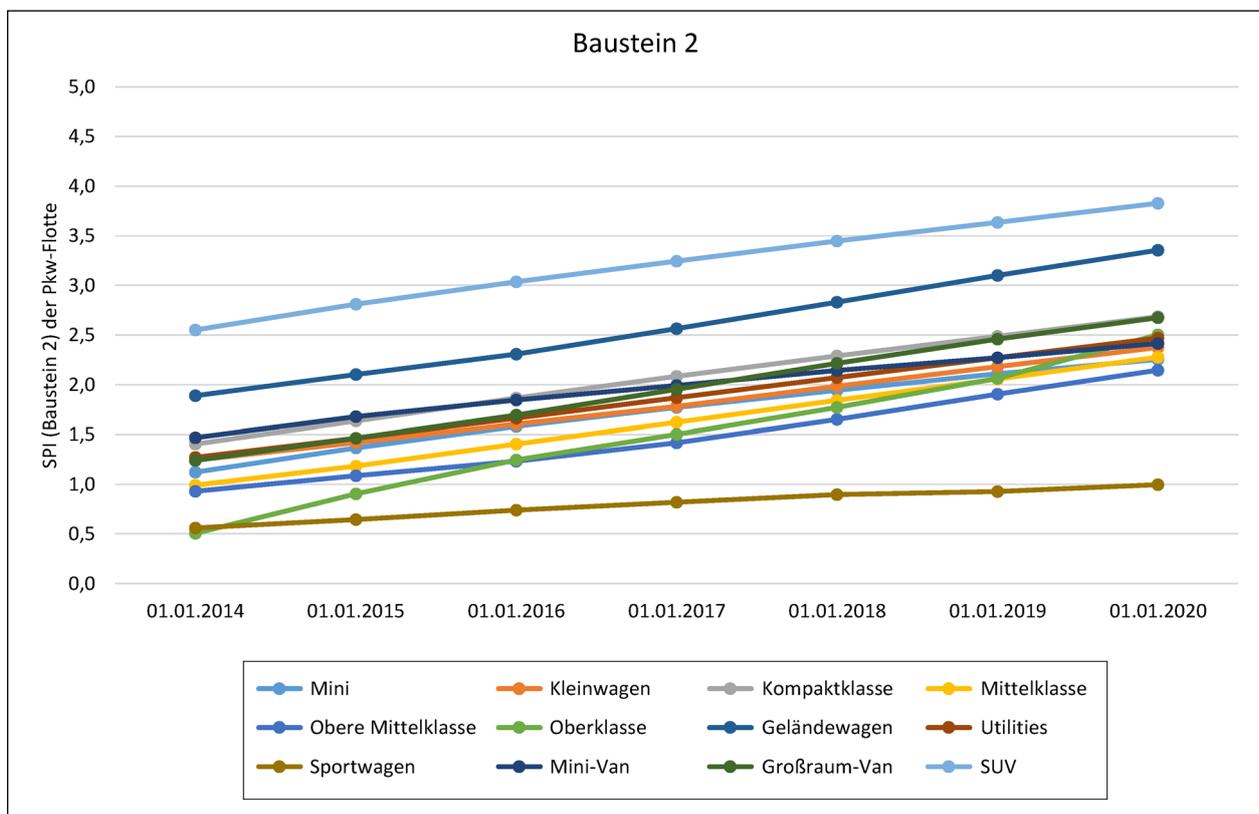


Bild 4: SPI (Baustein 2) der Pkw-Flotte gegliedert nach Pkw-Segment und Bestandsstichtag (Quelle: Eigene Berechnungen – Datenbasis: Euro NCAP 2009 – 2019; ZFZR 2014 – 2020)

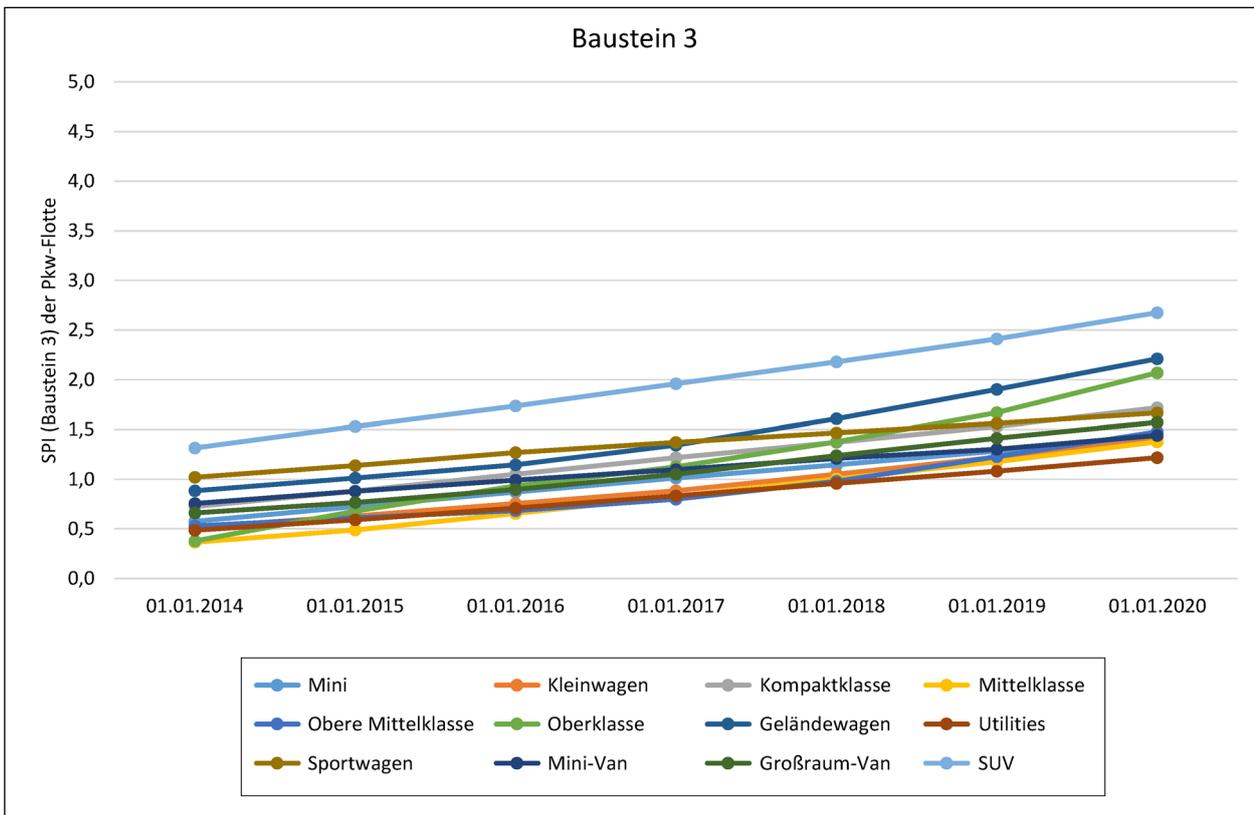


Bild 5: SPI (Baustein 3) der Pkw-Flotte gegliedert nach Pkw-Segment und Bestandsstichtag (Quelle: Eigene Berechnungen – Datenbasis: Euro NCAP 2009 – 2019; ZFZR 2014 – 2020)

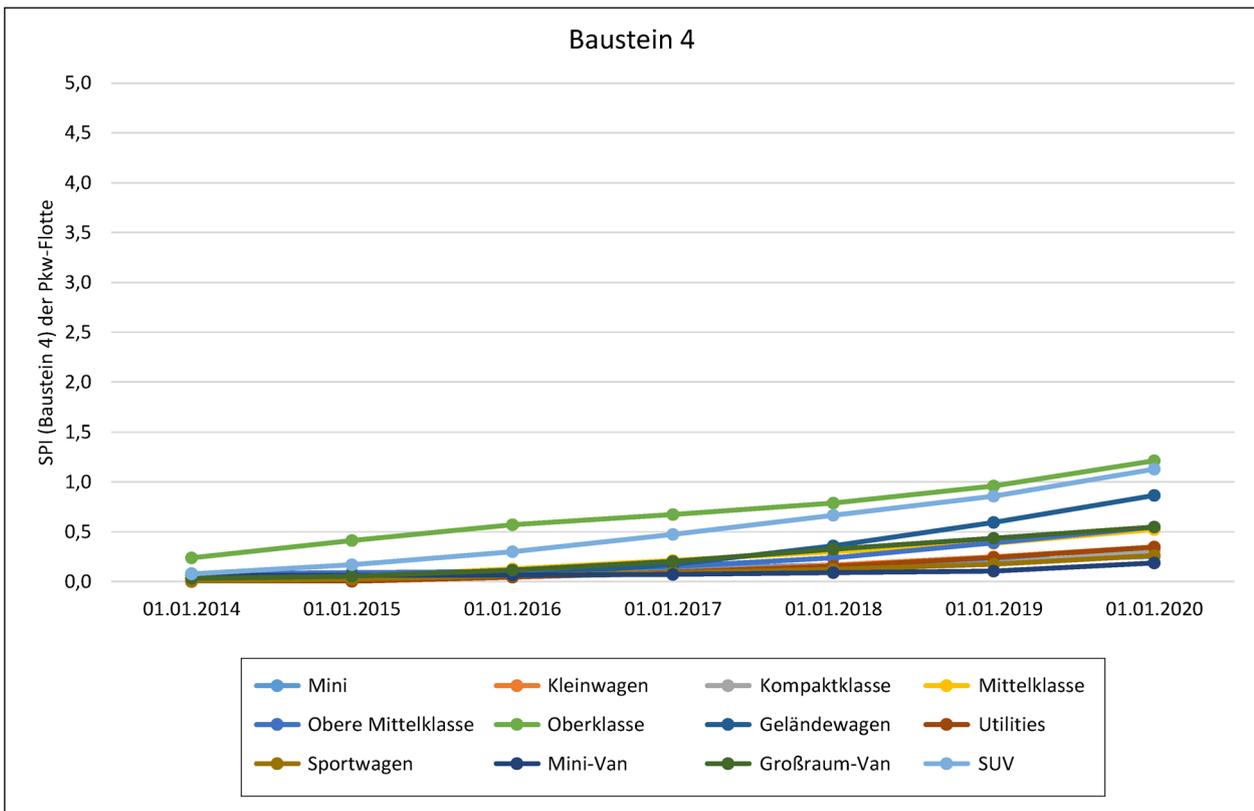


Bild 6: SPI (Baustein 4) der Pkw-Flotte gegliedert nach Pkw-Segment und Bestandsstichtag (Quelle: Eigene Berechnungen – Datenbasis: Euro NCAP 2009 – 2019; ZFZR 2014 – 2020)

Ein abschließender Blick auf den SPI (Gesamt) zeigt, dass auch dieser im Zeitverlauf in allen Segmenten ansteigt, wobei die Kurve im Segment Oberklasse (hellgrüne Linie) am steilsten verläuft (Bild 7).

Dass SUV in allen Analysen relativ hohe SPI-Werte aufweisen, hat sicherlich auch damit zu tun, dass es sich dabei um ein relativ neues Segment handelt, in dem der Anteil älterer Fahrzeuge vergleichsweise niedrig ist. Dies kann durch eine Auswertung verdeutlicht werden, in der beispielhaft der SPI (Baustein 3) für das Jahr 2019 nach Segment und Erstzulassungsjahr aufgedeutet wird (Bild 8).

Betrachtet man beim Baustein 3 nur Fahrzeuge, die derselben Altersgruppe angehören (z. B. Erstzulassungsjahr 2017 bis 2019), so liegen die SUV noch hinter dem Segment Mittelklasse auf Platz 6. Die höchsten SPI-Werte 2019 für diesen Baustein finden sich in dieser Fahrzeuggruppe bei Modellen der oberen Mittelklasse und Oberklasse.

Das Ergebnis, dass SUV eher im Mittelfeld liegen, wenn das Fahrzeugalter konstant gehalten wird, gilt

im Wesentlichen auch für die anderen Bausteine (siehe Bild 9).

In diesem Zusammenhang ist noch zu erwähnen, dass bis zum Jahr 2020 bei Euro NCAP nur der Eigenschutz bewertet wurde. So haben beispielsweise SUV und Fahrzeuge der Oberklasse eine höhere Masse, was dem Eigenschutz bei einem Fahrzeug-Fahrzeug-Crash dienlich ist. Auf der anderen Seite sind die Folgen für den Unfallgegner dann jedoch meist gravierender. Da ab dem Jahr 2020 auch der Partnerschutz berücksichtigt wird, würde eine sich abzeichnende weitere Bestandszunahme solcher Pkw also zukünftig nicht gleichermaßen zu einer Steigerung der SPI für die gesamte Fahrzeugflotte führen wie in der Vergangenheit. Dies liegt darin begründet, dass leichte Fahrzeuge meist einen besseren Partnerschutz aufweisen als schwere Fahrzeuge.

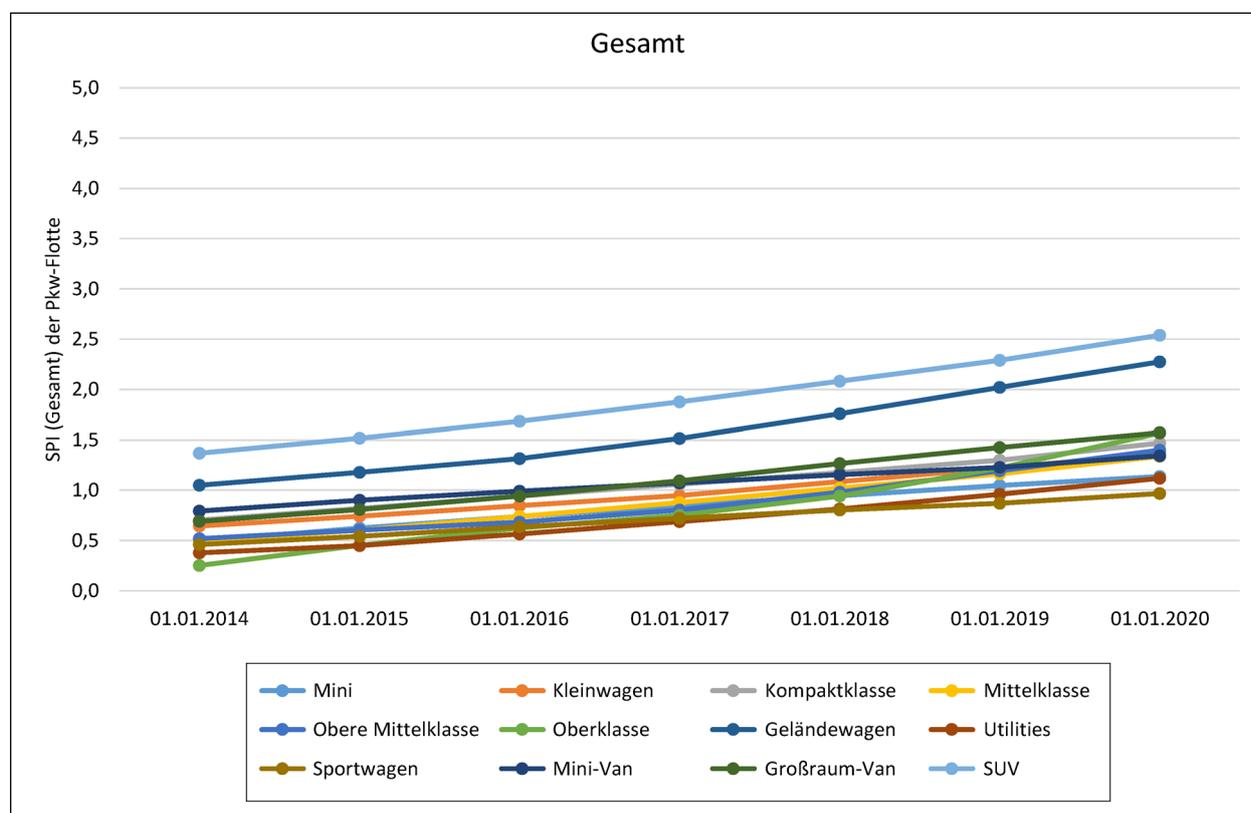


Bild 7: SPI (Gesamt) der Pkw-Flotte gegliedert nach Pkw-Segment und Bestandsstichtag (Quelle: Eigene Berechnungen – Datenbasis: Euro NCAP 2009 – 2019; ZFZR 2014 – 2020)

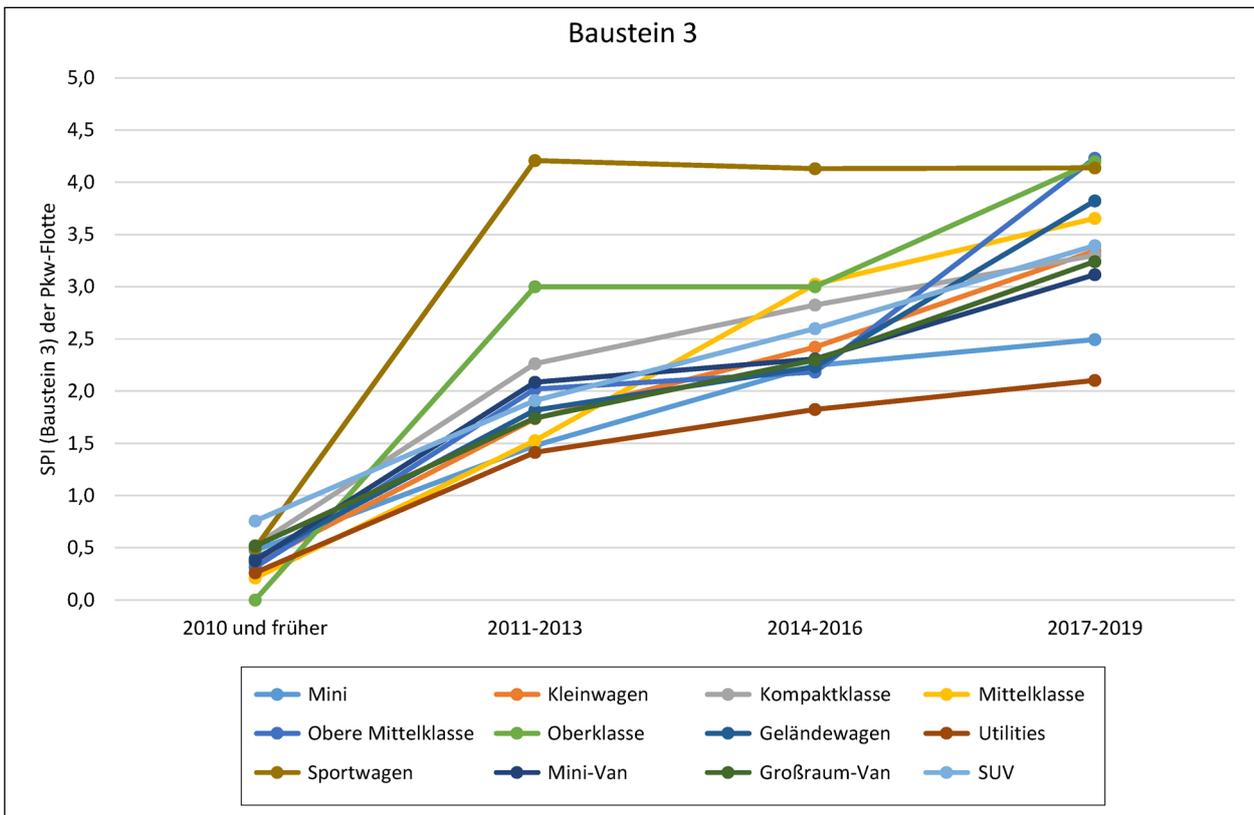


Bild 8: SPI (Baustein 3) der Pkw-Flotte 2019 gegliedert nach Pkw-Segment und Jahr der Erstzulassung (Quelle: Eigene Berechnungen – Datenbasis: Euro NCAP 2009 – 2019; ZFZR 1.1.2020)

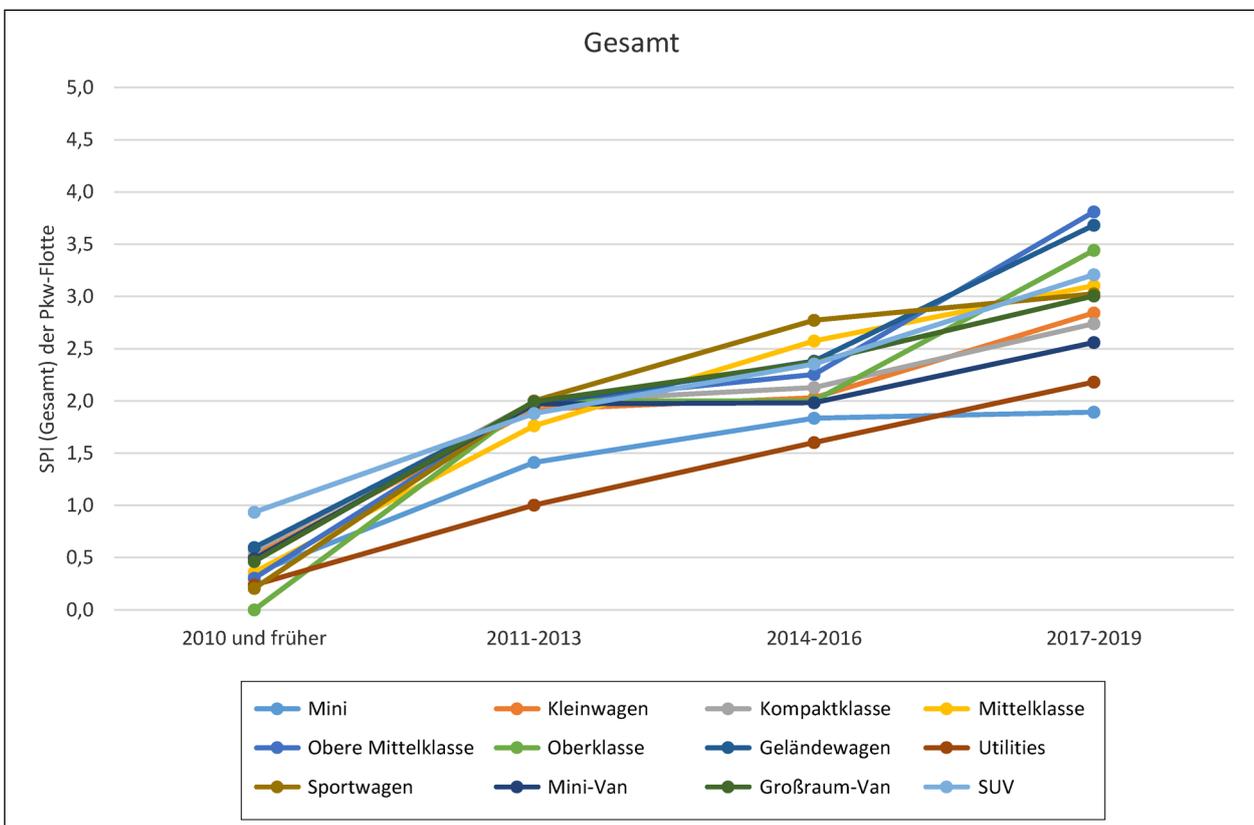


Bild 9: SPI (Gesamt) der Pkw-Flotte 2019 gegliedert nach Pkw-Segment und Jahr der Erstzulassung (Quelle: Eigene Berechnungen – Datenbasis: Euro NCAP 2009 – 2019; ZFZR 1.1.2020)

#### 4.4 Hinweise für die Interpretation der Ergebnisse

Zum Abschluss des Kapitels soll in diesem Kapitel nochmals zusammenfassend auf Rahmenbedingungen hingewiesen werden, die bei der Interpretation der Hochrechnungsergebnisse und der Verwendung der Indikatoren beachtet werden sollten.

- Um die Euro NCAP-Tests über die Jahre überhaupt vergleichen zu können, mussten bestimmte Abschätzungen zur Einstufung vergangener Euro NCAP-Ratings im Vergleich zu den aktuellen Bewertungen aus dem Jahr 2020/21 vorgenommen werden. Diese wurden zusammen mit Experten der BAST aus den Bereichen Aktive und Passive Fahrzeugsicherheit getroffen und sind entsprechend im Text und Anhang dokumentiert.
- Dieses Vorgehen wurde gewählt, um durch eine wissenschaftlich-methodische Herangehensweise in Kombination mit einer zum aktuellen Zeitpunkt bestmöglichen praxisnahen Einschätzung einen geeigneten Ausgangspunkt für die Ermittlung eines SPI zu haben. Ein wichtiger Aspekt hierbei war es, die einzelnen Schritte zur Entwicklung des SPIs möglichst transparent darzustellen, um hier keinen Black-Box-Indikator zu schaffen, sondern die Möglichkeit zu haben, in eine fachliche Diskussion mit anderen Experten treten zu können, da natürlich in Bezug auf die Modifikation der Punktebewertung auch andere Annahmen möglich sind.
- Dabei sollte man sich im Übrigen immer vor Augen führen, dass das Euro NCAP-Rating nicht zuletzt dazu dienen soll bzw. dafür entwickelt wurde, Anreize für die Entwicklung neuer Technologien zu setzen. Diese lassen sich aber nicht immer auch direkt in Sicherheitswirkungen abbilden.
- Ergänzend muss im Blick behalten werden, dass mit der Euro NCAP-Bewertung nur ein kleiner Ausschnitt aus allen fahrzeugseitig möglichen Sicherheitsmaßnahmen bewertet wird. So fließen z. B. sicherheitsrelevante Aspekte wie Bereifung, Fahrzeugbeleuchtung oder technische Überwachung nicht in die Bewertung ein.
- Zur Verwendung des SPI ist zu sagen, dass sich der Nutzen des Sicherheitsindikators erst im Lauf der Jahre entfaltet, wenn also eine genügend lange Zeitreihe aufgebaut ist. Auf der Basis

der hier entwickelten SPI lassen sich dann Innovationen hinsichtlich einer sicheren Bauweise und Ausstattung von Fahrzeugen durch entsprechende Veränderungen in der Zeitreihe bewerten.

- Abschließend soll noch darauf hingewiesen werden, dass die in diesem Forschungsprojekt ermittelten SPI hinsichtlich ihrer Qualität und Aussagefähigkeit natürlich maßgeblich von der zugrundeliegenden Datenbasis beeinflusst werden. So fließen mögliche Limitationen innerhalb der Fahrzeugsicherheitsbewertung nach Euro NCAP auch in die Berechnung der SPI mit ein. In Baustein 3 ist bei direkten Rückschlüssen vom SPI auf das tatsächliche Unfallgeschehen zu beachten, dass sich die Bewertungen bis einschließlich zum Jahr 2015 ausschließlich auf den unfallfolgenmindernden Schutz von Fußgängern auf Basis von Komponententests konzentrierten. Erst ab dem Jahre 2016 wurden auch Maßnahmen der Unfallvermeidung mitbewertet, die erst ab dem Jahre 2018 auch auf Radfahrer erweitert wurden. Dies ist bei der Interpretation von Zeitreihenergebnissen zu diesem verkehrsteilnehmerübergreifenden Baustein zu berücksichtigen.

Beachtet man diese Punkte, so bieten die in diesem Kapitel vorgestellten Ergebnisse einen konzeptuell und datenmäßig abgesicherten Ausgangspunkt für die im folgenden Kapitel untersuchte Fragestellung, ob es einen Zusammenhang zwischen den SPI-Werten der Pkw-Flotte und den amtlichen Unfalldaten des jeweiligen Jahres gibt.

## 5 Safety Performance Indikator und Unfallgeschehen

Die in Kapitel 4 dargestellten Indikatoren des Sicherheitsniveaus der Pkw-Flotte in den Jahren 2014 bis 2020 beruhen auf der Zusammenführung von ZFZR-Daten zur Gesamtheit der in den fraglichen Jahren angemeldeten Pkw mit modifizierten<sup>23</sup> Euro NCAP-Daten zu den ab 2009 getesteten Fahrzeugmodellen. Im vorliegenden Kapitel wird untersucht, ob bzw. wie sich die für den Zeitraum 2014 bis 2020

<sup>23</sup> Berücksichtigung der im Zeitverlauf variierenden Testbedingungen.

festgestellten Veränderungen des Sicherheitsniveaus der Pkw-Flotte in Veränderungen von Gesamtzahl und Struktur der Unfälle mit Pkw-Beteiligung – erfasst durch die amtliche Straßenverkehrsunfallstatistik – widerspiegeln.

Zur Einführung in die Thematik wird zunächst gezeigt, welche Folgerungen hinsichtlich des Gesamteinflusses des Sicherheitsniveaus der Pkw-Flotte sich bereits aus vorhandenen Studiendaten im Sinne einer Sekundäranalyse ableiten lassen.

## 5.1 Sekundäranalyse von Daten zu Pkw-Pkw-Kollisionen

Die Frage nach der Relevanz des Sicherheitsniveaus der gesamten Pkw-Flotte für das Unfallgeschehen im Straßenverkehr insgesamt kann in gewissem Umfang auch durch Nutzung bereits vorhandener Studiendaten untersucht werden. Die in den Studien meist ermittelten relativen Verletzungsrisiken reichen, wie in Kapitel 2.3 bereits gezeigt wurde, für die Beantwortung der interessierenden Forschungsfrage allerdings nicht aus.

Unter den verschiedenen epidemiologischen Maßzahlen ist im Hinblick auf die vorliegende Fragestellung – es geht ja letztlich um die Quantifizierung des Stellenwerts eines Risikofaktors für die Öffentliche Gesundheit – das sog. zuschreibbare Risiko von Bedeutung. Das zuschreibbare Risiko wurde von LEVIN (1953) in die epidemiologische Methodik eingeführt.

Beim zuschreibbaren Risiko wird das (absolute) Verletzungsrisiko  $R_1$  der nicht exponierten Teilgruppe der Risikopopulation (hier z. B. Fahrzeuge mit 5-Sterne-Bewertung<sup>24</sup>) mit dem Verletzungsrisiko  $R$  der Gesamtheit verglichen. Definiert ist das zuschreibbare Risiko (attributable risk, aetiologic fraction) durch

$$AR = 1 - R_1/R = (R - R_1)/R.$$

Näheres hierzu findet man z. B. bei WOODWARD 2005, S. 146-152 (vgl. auch HAUTZINGER et al. 2007).

Das zuschreibbare Risiko kennzeichnet die Wichtigkeit eines Risikofaktors (hier Sternebewertung) aus der Public-Health-Perspektive. So bedeutet z. B. ein Wert von  $AR = 0,22$ , dass man 22 % des Verletzungsrisikos dem Faktor „Fahren eines 2- bis 4-Sterne-Fahrzeugs (statt eines 5-Sterne-Fahrzeugs)“ zuschreiben kann. Durch vollständige Eliminierung des betrachteten Risikofaktors (hier also durch Ersetzen sämtlicher 2-, 3- und 4-Sterne-Fahrzeuge in der Pkw-Flotte durch 5-Sterne-Fahrzeuge) würde die Gesamtzahl der verunglückten Verkehrsteilnehmer um 22 % reduziert.

Die Berechnung und Interpretation des zuschreibbaren Risikos wird im Folgenden auf Basis der Euro NCAP- und Unfalldaten aus dem in Kapitel 2.1 vorgestellten Aufsatz von KULLGREN et al. 2019 illustriert (Tabelle 13). Der betreffende Datensatz wurde für Zwecke der Sekundäranalyse neu aufbereitet, wobei hier nur die Daten zu den Pkw-Pkw-Kollisionen betrachtet werden, bei denen mindestens ein Fahrer schwer verletzt oder getötet wurde.

Da der Expositionsstatus (Anzahl Sterne im Euro NCAP-Baustein 1) für „other car“ nicht bekannt ist, können Analyseverfahren, die für gematchte Fall-Kontroll-Studien entwickelt wurden (KURITZ und

	Euro NCAP stars	n	x1	x2	x3
Fatal + serious	2	10.450	393	691	441
	3	13.437	357	779	562
	4	43.160	991	1.858	1.921
	5	35.419	640	1.074	1.603
	Total	102.466	2.381	4.402	4.527
Fatal injuries	2	10.450	14	79	52
	3	13.437	5	71	57
	4	43.160	24	182	203
	5	35.419	7	75	181
	Total	102.466	50	407	493

Legende:  
n: Anzahl Pkw-Pkw-Kollisionen insgesamt  
x1: Anzahl Unfälle, bei denen beide Fahrer verletzt wurden  
x2: Anzahl Unfälle, bei denen der Fahrer des Euro NCAP-bewerteten Pkw (case car) verletzt wurde, der Fahrer des gegnerischen Pkw (other car) jedoch nicht  
x3: Anzahl Unfälle, bei denen der Fahrer des „case car“ unverletzt blieb und der Fahrer des „other car“ verletzt wurde

Tab. 13: Auszug aus der Unfalldatentabelle bei KULLGREN et al. 2019 (Quelle: KULLGREN et al. 2019, S. 8)

<sup>24</sup> Die exponierte Teilgruppe bestünde demnach aus den Fahrzeugen mit 4 und weniger Sternen.

Anzahl NCAP-Sterne	Getötete Fahrer	Übrige Fahrer	Summe
2 bis 4 Sterne	375	66.672	67.047
5 Sterne	82	35.337	35.419
Summe	457	102.009	102.466

Tab. 14: Auszug aus Tabelle 13

LANDIS 1988), im vorliegenden Fall nicht verwendet werden. Vereinfachend werden deshalb nur die Daten der „case cars“ für die Berechnung des zuschreibbaren Risikos AR herangezogen.

Betrachtet man nur die „fatal injuries“, so sind zum Zweck der Berechnung des zuschreibbaren Risikos AR die Daten der Tabelle 13 wie in Tabelle 14 in einer Vierfeldertafel aufzubereiten ( $n = 102.466$  Pkw mit Euro NCAP-Bewertung (Baustein 1), die mit einem anderen Pkw kollidiert sind).

Das (geschätzte) Risiko einer tödlichen Verletzung beträgt demnach für die Fahrer aller Fahrzeuge

$$R = 457/102.466 = 0,00446$$

und für die Fahrer von 5-Sterne-Fahrzeugen

$$R_1 = 82/35.419 = 0,00232.$$

Das (geschätzte) zuschreibbare Risiko liegt damit bei

$$AR = 1 - R_1/R = 0,48091.$$

Würden sämtliche 2- bis 4-Sterne-Fahrzeuge (exponierte Einheiten) durch 5-Sterne-Fahrzeuge (nicht exponierte Einheiten) ersetzt, so ginge die Zahl der tödlich verletzten Fahrer um ca. 48 % zurück.

Berechnet man analog das zuschreibbare Risiko für „serious injuries“, so erhält man

$$AR = 0,25364.$$

Dies bedeutet, dass eine durchgehend aus 5-Sterne-Fahrzeugen bestehende Pkw-Flotte zu rund 25 % weniger schwerverletzten Pkw-Fahrern führen würde. Es sei allerdings nochmals darauf hingewiesen, dass sich diese Ergebnisse zum Verletzungsrisiko von Pkw-Fahrern nur auf Pkw-Pkw-Kollisionen beziehen.

## 5.2 SPI und Verunglücktenzahl

### 5.2.1 Grundkonzept

Im Folgenden wird untersucht, ob es einen Zusammenhang zwischen den hier entwickelten vier Sicherheitsindikatoren (SPI [Baustein k]) für die Pkw-Flotte und den entsprechenden Verunglücktenzahlen aus der amtlichen Straßenverkehrsunfallstatistik gibt. Zur Beantwortung dieser Forschungsfrage kommen unterschiedliche statistische Verfahren in Betracht.

Bei einer einfachen Korrelationsanalyse würde man für aufeinander folgende Jahre jeweils die Werte von 2 Variablen, nämlich den SPI für die Pkw-Flotte ( $x$ ) und eine darauf abgestimmte Kenngröße ( $y$ ) für das Unfallgeschehen, z. B. die Zahl der verunglückten Pkw-Insassen, betrachten. Zu klären wäre dann die Frage, ob mit wachsendem Flotten-Sicherheitsniveau  $x$  die Unfall- bzw. Verunglücktenzahl  $y$  sinkt. Mit derart hoch aggregierten Daten fällt es erfahrungsgemäß schwer, valide Zusammenhänge zu identifizieren. Allein durch Berechnung der Korrelation zwischen dem SPI und der jährlichen Zahl der Unfälle bzw. Verunglückten (nach Unfallfolge) kann der Sicherheitsbeitrag der Fahrzeugtechnik nicht hinreichend genau quantifiziert werden. Dies liegt daran, dass die Verunglücktenzahl nicht nur von der Fahrzeugsicherheit, sondern von weiteren Faktoren wie der Straßeninfrastruktur, dem Verhalten der Verkehrsteilnehmer oder dem Wetter im jeweiligen Jahr abhängt.

Eine methodische Verbesserung des skizzierten Ansatzes besteht darin, unter Verwendung statistischer Modelle (Regression) weitere Variable in die Analyse einzubeziehen. Hier ist vorrangig an die jährliche Pkw-Gesamtfahrleistung als begleitende Variable zu denken, da *ceteris paribus* (d. h. bei konstantem Niveau der Passiven und Aktiven Fahrzeugsicherheit) die Unfall- und Verunglücktenzahl mit der Gesamtfahrleistung variiert. Wie sich eine verbesserte sicherheitstechnische Ausstattung der Fahrzeuge (ausgedrückt durch den SPI der Pkw-Flotte) im Unfallgeschehen niederschlägt, kann mithilfe eines solchermaßen erweiterten Analyseansatzes verlässlicher quantifiziert werden. Für Analysen zu durch Pkw verletzte bzw. getötete Radfahrer wäre darüber hinaus die Einbeziehung der jährlichen Fahrradverkehrsleistung sinnvoll. Hierzu gibt es allerdings keine Zeitreihendaten, daher wird im vorliegenden Projekt ersatzweise der Fahrradbestand

Jahr	Pkw-Inländerfahrleistung (in Mrd. km)	Bestand an Fahrrädern und Pedelecs (in Mio.)
2013	611,0367	71,0
2014	611,9404	72,0
2015	619,0991	72,0
2016	625,9151	73,0
2017	630,8367	73,5
2018	630,8429	75,5
2019	632,2536	75,9

Tab. 15: Jährliche Pkw-Inländerfahrleistung 2013 – 2019 (Quelle: KBA 2020) und Fahrradbestand (einschl. Pedelecs) 2013 – 2019 (Quelle: ZIV 2020)

(einschl. Pedelecs<sup>25</sup>) als Kontrollvariable herangezogen. Die verwendeten Zeitreihen zur Pkw-Fahrleistung und zum Fahrradbestand sind in Tabelle 15 dargestellt.

Bezüglich der Pkw-Fahrleistung ist noch darauf hinzuweisen (vgl. hierzu BÄUMER et al. 2017a und b), dass es sich hier um die Inländerfahrleistung handelt, während die im Anschluss dargestellten Unfall- und Daten ja auf dem Inlandskonzept basieren. Hier besteht somit eine kleine Unschärfe in der Analyse.

## 5.2.2 Abstimmung der Unfalldaten auf den zu untersuchenden SPI

Da für jeden Euro NCAP-Baustein ein separater Flotten-SPI gebildet wurde, können bzw. sollten auch die Unfalldaten – als zu erklärende Größe in der Analyse – auf den jeweiligen Baustein zugeschnitten sein. Die zeitliche Entwicklung der bausteinspezifischen SPI's (dargestellt in Tabelle 12) wird deshalb der Entwicklung der Zahl der verunglückten Erwachsenen, Kinder, Fußgänger etc. gegenübergestellt.

In allen Analysen wird der SPI im Pkw-Bestand zum 1. Januar eines Jahres (z. B. 1.1.2014) mit den Verunglücktenzahlen und der Fahrleistung des Vorjahres (im Beispiel 2013) verknüpft.

Unfalljahr	Getötete	Schwer- verletzte	Leicht- verletzte	Summe
2013	1.565	27.287	175.362	204.214
2014	1.556	28.042	178.925	208.523
2015	1.592	28.647	182.415	212.654
2016	1.503	28.809	184.532	214.844
2017	1.420	28.444	181.210	211.074
2018	1.397	27.833	174.915	204.145
2019	1.343	27.271	170.427	199.041

Tab. 16: Verunglückte Pkw-Benutzer (Fahrer und Mitfahrer) ab 12 Jahre gegliedert nach Unfallfolge und -jahr (Quelle: Destatis: Verkehrsunfälle, Fachserie 8, Reihe 7, div. Jahrgänge)

Unfalljahr	Getötete	Schwer- verletzte	Leicht- verletzte	Summe
2013	22	940	6.987	7.949
2014	19	952	7.353	8.324
2015	28	916	7.490	8.434
2016	27	1.007	7.743	8.777
2017	14	1.043	7.647	8.704
2018	23	1.009	7.531	8.563
2019	20	1.016	7.300	8.336

Tab. 17: Verunglückte Pkw-Benutzer bis unter 12 Jahre gegliedert nach Unfallfolge und -jahr (Quelle: Destatis: Verkehrsunfälle, Fachserie 8, Reihe 7, div. Jahrgänge)

### Unfalldaten für den „SPI (Baustein 1)“

In Baustein 1 (Schutz erwachsener Insassen) wird auf der Unfallseite die Zahl der pro Jahr verunglückten Pkw-Benutzer ab 12 Jahre herangezogen, die entsprechenden Werte sind in Tabelle 16 zusammengefasst.

Im Analysemodell besteht somit die abhängige Variable aus der jährlichen Zahl der verunglückten/getöteten/schwer verletzten/leicht verletzten Pkw-Benutzer ab 12 Jahre. Insgesamt werden somit 4 Modelle geschätzt. Die erklärenden Variablen repräsentieren jeweils den SPI in Baustein 1 und die Pkw-Jahresfahrleistung.

### Unfalldaten für den „SPI (Baustein 2)“

Für die Modellschätzungen im Zusammenhang mit Baustein 2 (Schutz von Kindern im Fahrzeug) wird die Zahl der pro Jahr verunglückten Pkw-Benutzer unter 12 Jahre als abhängige Variable herangezogen (Tabelle 17).

<sup>25</sup> Pedelecs werden hier eingeschlossen, weil diese auch in den veröffentlichten Unfalldaten zu Pkw-Radfahrer-Unfällen enthalten sind (siehe DESTATIS, Fachserie 8, Reihe 7, Tabelle 3.1.2).

Die Altersgrenze von 12 Jahren wurde deshalb gewählt, weil in Deutschland bis zu einem Alter von 11 Jahren oder einer Größe von 1,50 m ein Kinderschutzsystem im Pkw verwendet werden muss. Solche Systeme sind auch Bestandteil der Euro NCAP-Bewertung in Baustein 2.

Die zu schätzenden Modelle sind in ihrer Struktur identisch mit denen, wie sie eben für den Baustein 1 beschrieben wurden.

### Unfalldaten für den „SPI (Baustein 3)“

Die Unfalldaten für Baustein 3 umfassen Fußgänger und Radfahrer (einschl. Pedelecs), die bei Kollisionen mit Pkw verunglückt sind (Tabelle 18). Diese Zahlen werden bei Destatis nur für Unfälle mit genau 2 Beteiligten (also 1 beteiligter Pkw und 1 beteiligter Radfahrer bzw. Fußgänger) ausgewiesen.

Zur Modellierung der Zahl der verunglückten Fußgänger kommt wiederum der oben beschriebene Ansatz zur Anwendung.

In den Modellen für verunglückte Radfahrer wird dagegen statt der Pkw-Fahrleistung der Bestand an Fahrrädern (und Pedelecs) als (erklärende) Kontrollvariable einbezogen. Als erklärende Variable fungieren hier somit der SPI in Baustein 3 und der Fahrradbestand. Generell beziehen sich die Euro NCAP-Tests im Baustein 3 schwerpunktmäßig auf den Fußgängerschutz. Erst seit 2018 sind Tests zum Schutz von Radfahrern im Programm. Insofern haben die Analysen zum Zusammenhang zwischen SPI (Baustein 3) und bei Kollisionen mit Pkw verunglückten Radfahrern eher explorativen Charakter.

### Unfalldaten für den „SPI (Baustein 4)“

Der SPI des Bausteins 4 bezieht sich auf Assistenzsysteme zur Unfallvermeidung. Daher erscheint es hier naheliegend, auf der Unfallseite die Zahl der an Unfällen mit Personenschaden beteiligten Pkw-Fahrer heranzuziehen. Dabei kann die Zahl der Hauptverursacher nochmals separat betrachtet werden (Tabelle 19). Die Analyse wird auf Unfälle mit Personenschaden fokussiert, weil diese in besonderem Maße durch Assistenzsysteme vermieden werden sollen. Darüber hinaus ist hier die Dunkelzifferproblematik im Vergleich zu Sachschadensunfällen weniger stark ausgeprägt.

Für die unfallbeteiligten Pkw und die Hauptverursacher wird je ein Modell geschätzt, das genau so aufgebaut ist wie die Modelle zu verunglückten Pkw-Benutzern und Fußgängern.

Unfalljahr	Beteiligte Pkw-Fahrer	
	Insgesamt	davon: Hauptverursacher
2013	359.808	201.194
2014	371.095	206.637
2015	378.156	209.950
2016	381.354	211.460
2017	372.144	206.413
2018	369.050	206.041
2019	357.327	199.369

Tab. 19: An Unfällen mit Personenschaden beteiligte Pkw-Fahrer gegliedert nach Unfalljahr (Quelle: Destatis 2020)

Unfalljahr	Getötete		Schwerverletzte		Leichtverletzte		Summe	
	Fußgänger	Radfahrer	Fußgänger	Radfahrer	Fußgänger	Radfahrer	Fußgänger	Radfahrer
2013	322	138	5.518	6.118	16.044	36.106	21.884	42.362
2014	284	133	5.513	6.847	15.504	39.495	21.301	46.475
2015	317	156	5.599	6.777	16.150	39.392	22.066	46.325
2016	268	166	5.461	6.767	16.442	40.541	22.171	47.474
2017	271	137	5.341	6.444	16.042	39.590	21.654	46.171
2018	246	167	5.147	6.887	16.077	43.051	21.470	50.105
2019	245	172	4.830	6.449	15.719	41.628	20.794	48.249

Tab. 18: Bei Kollisionen mit Pkw verunglückte Fußgänger und Radfahrer (einschl. Pedelecs) gegliedert nach Unfallfolge und -jahr (Quelle: Destatis: Verkehrsunfälle, Fachserie 8, Reihe 7, diverse Jahrgänge)

### 5.2.3 Beschreibende Darstellung der Zusammenhänge

In diesem Kapitel wird im Sinne einer deskriptiven Datenanalyse untersucht, ob es auf der bivariaten Ebene einen Zusammenhang zwischen dem SPI der Pkw-Flotte und dem Unfallgeschehen gibt. Hierfür werden Streudiagramme verwendet, in denen die Gesamtzahl der verunglückten Pkw-Benutzer (Erwachsene, Kinder) und Fußgänger bzw. die Gesamtzahl der unfallbeteiligten Pkw dem zugehörigen SPI gegenübergestellt wird (Bild 10).

Bei den angesprochenen bivariaten Datenanalysen, sind negative Zusammenhänge zu erwarten – je höher der SPI-Wert der Flotte, desto niedriger die Verunglücktenzahl. In drei der fünf in Bild 7 darge-

stellten Diagramme ist dies auch so, der Korrelationskoeffizient liegt hier zwischen  $-0,38$  und  $-0,57$ .

Entgegen den Erwartungen ergibt sich im Hinblick auf verunglückte Kinder und dem SPI Baustein 2 sowie auf verunglückte Radfahrer und dem SPI Baustein 3 eine positive Korrelation. Der Korrelationskoeffizient beträgt hier  $+0,53$  bzw.  $+0,78$ . Dieses Resultat zeigt, dass die bloße Betrachtung von Merkmalspaaren (hier SPI vs. verunglückte Kinder bzw. Radfahrer) dem Unfallgeschehen mit seinen vielen, sich überlagernden Einflussfaktoren nicht immer gerecht wird.

Eine wesentliche Bestimmungsgröße für die Zahl der in Pkw verunglückten Kinder ist die Pkw-Fahrleistung.

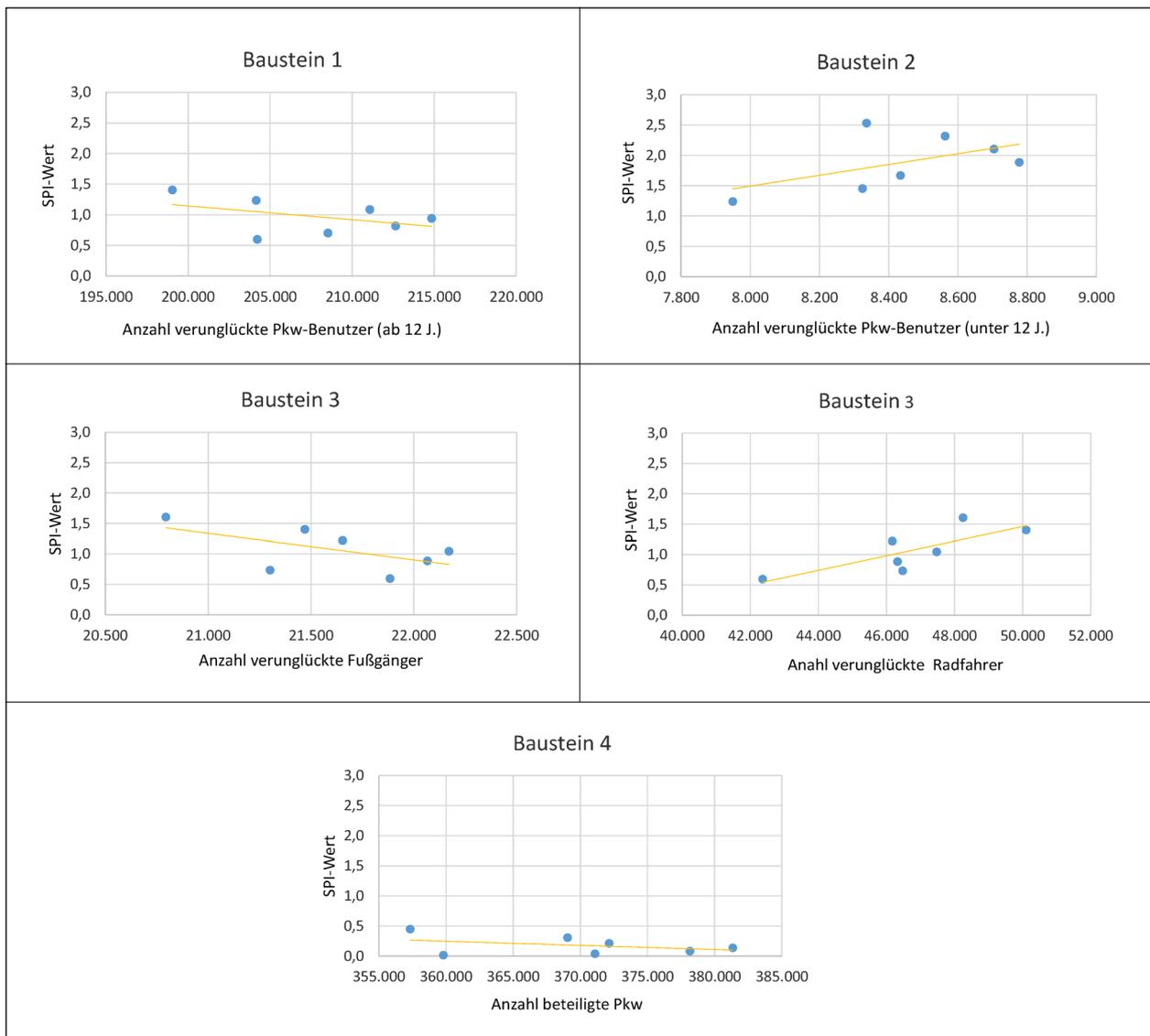


Bild 10: Streudiagramme für die Gesamtzahl der verunglückten Pkw-Benutzer (Erwachsene, Kinder), Fußgänger, Radfahrer, unfallbeteiligten Pkw und dem zugehörigen SPI der Pkw-Flotte

Wie Bild 11 zeigt, nimmt – im Einklang mit den Erwartungen – die Zahl der in Pkw verunglückten Kinder mit der Pkw-Gesamtfahrleistung zu. Die Korrelation zwischen der Zahl der verunglückten Kinder und der Pkw-Fahrleistung beträgt 0,67.

Diese Befunde unterstreichen die Wichtigkeit, für solche Fragestellungen multivariate Analysemethoden anzuwenden, bei denen der Effekt einer Einflussgröße um den Effekt der jeweils anderen Einflussgrößen bereinigt wird. Wie weiter unten noch zu sehen sein wird, ergibt sich in einem statistischen Modell, in das der SPI (Baustein 2) und die Fahrleistung simultan als Erklärungsvariable für die Verunglücktenzahl eingehen, tatsächlich ein negativer Zusammenhang zwischen SPI und der Zahl der in Pkw verunglückten Kinder. Die partielle Korrelation zwischen diesen beiden Größen – also unter Berücksichtigung bzw. Kontrolle des Einflusses der Pkw-Fahrleistung – beträgt -0,56.

Bei den oben genannten multivariaten Analysemethoden handelt es sich um Modelle aus dem Bereich der Zeitreihenökometrie. Dies liegt daran,

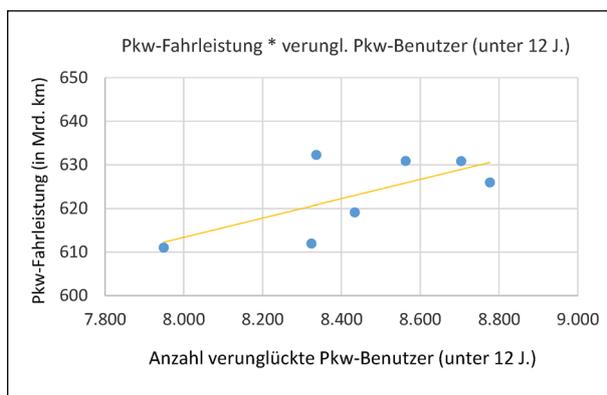


Bild 11: Streudiagramm für die Gesamtzahl der verunglückten Pkw-Benutzer unter 12 Jahre und der Pkw-Fahrleistung (in Mrd. km)

dass die hier verwendeten Daten sämtlich Zeitreihendaten sind. Sowohl die Verunglücktenzahlen (y) als auch die SPI-Werte (x) und die Pkw-Fahrleistungen (z) beziehen sich in zeitlicher Hinsicht auf Kalenderjahre (Zeitraum 2013 bis 2019) und in räumlicher Hinsicht auf die Bundesrepublik Deutschland als Ganzes.

In Regressionsmodellen für Zeitreihendaten ist dem Thema „Trend“ Aufmerksamkeit zu schenken. Wie Bild 12 zeigt, unterliegen alle drei dargestellten Variablen einem mehr oder weniger ausgeprägten Trend (SPI: stark positiver linearer Trend; Pkw-Fahrleistung und Verunglücktenzahl<sup>26</sup>: schwach degressiv wachsender Trend). Nach diesem Befund ist es mit Blick auf die durchzuführenden Regressionsanalysen angezeigt, eine Trendbereinigung durchzuführen. Dazu könnte man vorab die drei Zeitreihen getrennt um den jeweiligen Trend bereinigen. Zu der gewünschten Trendbereinigung führt aber auch die Einbeziehung eines Zeittrends als erklärende Variable. Dieser Weg wird hier besprochen.

## 5.2.4 Log-lineares Regressionsmodell für die Verunglücktenzahl

### Modellansatz

Betrachtet man die Zahl y der bei Unfällen mit Pkw-Beteiligung verunglückten Personen in Abhängigkeit von der Pkw-Gesamtfahrleistung, so liegt ein Regressionsmodell nahe, bei welchem die Verunglücktenzahl keine negativen Werte annehmen

<sup>26</sup> Prinzipiell könnte man bei der Verunglücktenzahl auch von einem quadratischen Trend sprechen, doch sollten Trends möglichst einfach gehalten werden.

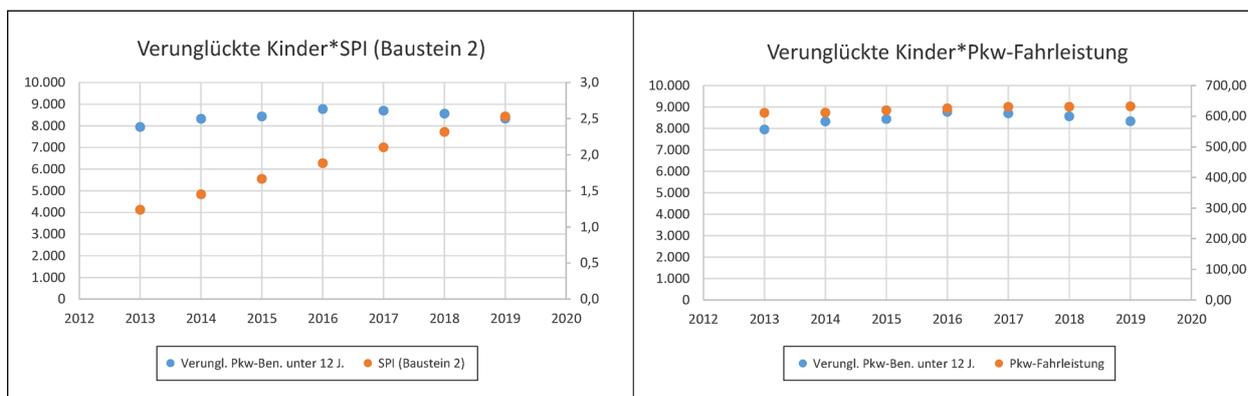


Bild 12: Verunglückte Pkw-Benutzer bis unter 12 Jahre und SPI (Baustein 2) bzw. Pkw-Fahrleistung (in Mrd. km) gegliedert nach Unfalljahr

kann. Auch sollte die Verunglücktenzahl gleich Null sein, wenn die Fahrleistung den Wert Null aufweist.

Bezeichnet man den SPI der Pkw-Flotte mit  $x$  und die Pkw-Gesamtfahrleistung mit  $z$ , so besitzt der multiplikative Ansatz (Cobb-Douglas-Funktion)

$$(1) \quad y = e^{\theta} \cdot x^{\alpha} \cdot z^{\beta} \cdot e^{\varepsilon}$$

die gewünschte Eigenschaft. ( $\varepsilon$  bezeichnet den normalverteilten Störterm des Modells mit  $E(\varepsilon) = 0$ ). Durch Logarithmierung beider Seiten kann der Ansatz linearisiert werden:

$$(1^*) \quad \ln(y_i) = \theta + \alpha \cdot \ln(x_i) + \beta \cdot \ln(z_i) + \varepsilon_i$$

Da das Modell (1\*) linear in den Parametern<sup>27</sup> ist, kann es nach der Methode der kleinsten Quadrate mit herkömmlicher Statistik-Software für multiple lineare Regressionsmodelle geschätzt werden (einschließlich Schätzung der Standardfehler sowie des Bestimmtheitsmaßes). Logarithmisch lineare Regressionsansätze werden in der empirischen Wirtschaftsforschung häufig verwendet, beispielsweise bei Nachfrage- und Produktionsmodellen.

Die Parameter<sup>28</sup> des Modells (1) sind als konstante Elastizitäten zu interpretieren, deren Wert nicht vom Niveau des betreffenden Regressors abhängt. Beispiel: Ist  $\beta = 1,5$ , so führt *ceteris paribus*, d. h. bei gegebenem SPI der Pkw-Flotte, eine 1-prozentige Erhöhung der Pkw-Fahrleistung zu einer rund 1,5-prozentigen Zunahme der Verunglücktenzahl. Entsprechend bedeutet  $\alpha = -0,5$ , dass *ceteris paribus*, d. h. bei gegebener Pkw-Gesamtfahrleistung, eine Zunahme des SPI um 1 Prozent die betreffende Verunglücktenzahl um 0,5 Prozent reduziert.

### Risikotheoretische Diskussion

Zu den Parametern  $\alpha$  und  $\beta$  des Modells (1) für die Verunglücktenzahl lassen sich einige allgemeine risikotheoretische Überlegungen anstellen.

Bei den Regressionsanalysen gilt das Hauptinteresse dem Einfluss des SPI der Pkw-Flotte – als Indikator für den Insassenschutz (Bausteine 1 und 2) bzw. den Schutz von Fußgängern und Fahrradfah-

ren (Baustein 3) – auf die Gesamtzahl der Verunglückten. Nach den in Kapitel 2 zusammengefassten Ergebnissen vorliegender Studien und den ergänzenden Analysen in Kapitel 5.1 kann man erwarten, dass bei gegebener Pkw-Fahrleistung  $z$  die Verunglücktenzahl  $y$  sinkt, wenn das Sicherheitsniveau der Pkw-Flotte – gemessen durch die erklärende Variable  $x$  – steigt. Ein solcher monoton fallender Zusammenhang zwischen  $x$  und  $y$  wird im Modell durch  $\alpha < 0$  repräsentiert.

Betrachtet man die jährliche Gesamtfahrleistung  $z$  der Pkw-Flotte als Expositionsgröße (auf jedem gefahrenen Kilometer besteht die Möglichkeit eines Unfalls und damit auch die Möglichkeit eines Personenschadens), so liegt die Erwartung nahe, dass die jährliche Zahl  $y$  der bei Unfällen mit Pkw-Beteiligung verunglückten Personen *ceteris paribus* mit der Pkw-Fahrleistung  $z$  wächst. Ein monoton steigender Zusammenhang zwischen  $z$  und  $y$  liegt vor, falls  $\beta > 0$ . Mit Blick auf die Form des Zusammenhangs lassen sich drei Fälle unterscheiden.

Im Fall  $\beta = 1$  ist die erwartete Verunglücktenzahl direkt proportional zur Pkw-Gesamtfahrleistung, was einer konstanten (fahrleistungsbezogenen) Verunglücktenrate  $y/z$  entspricht. Bei  $0 < \beta < 1$  wächst  $y$  degressiv mit  $z$ ; zusätzliche Fahrzeugkilometer  $\Delta z$  im Straßennetz erhöhen zwar die Verunglücktenzahl, reduzieren aber die Verunglücktenrate  $y/z$ . Umgekehrt entspricht  $\beta > 1$  einem progressiven Wachstum der Verunglücktenzahl in Abhängigkeit von der Pkw-Fahrleistung, d. h. zusätzliche Fahrzeugkilometer im Straßennetz erhöhen zugleich die Verunglücktenzahl  $y$  und die Verunglücktenrate  $y/z$ . Da im vorliegenden Kontext das gesamte deutsche Straßennetz und der jährliche Pkw-Verkehr insgesamt betrachtet wird, fällt es schwer, sich a priori auf einen der drei möglichen Fälle für  $\beta$  festzulegen<sup>29</sup>.

### Trendbereinigung

Wie in Kapitel 5.2.3 gezeigt wurde, sind die Zeitreihen der  $y$ -,  $x$ - und  $z$ -Werte mehr oder weniger stark trendbehaftet. Dies ist unter anderem insoweit pro-

<sup>27</sup> Logarithmisch transformiert werden nur die Variablen  $y$ ,  $x$  und  $z$ .

<sup>28</sup> Die Parameter werden auch als Regressionskoeffizienten bezeichnet.

<sup>29</sup> Würde man das Gesamtnetz in kleinere Teilnetze und das Gesamtjahr in kleinere Zeitabschnitte zerlegen, so wären eher begründete Vermutungen über die Größenordnung des Modellparameters  $\beta$  möglich. Für das hier betrachtete Aggregat sollte man sich am Ergebnis der statistischen Parameterschätzung orientieren.

blematisch, als ein Zusammenhang zwischen  $x$  und  $y$  (analog zwischen  $z$  und  $y$ ) eventuell darauf zurückzuführen ist, dass beide einen Trend aufweisen. Um zu vermeiden, dass scheinbare Zusammenhänge (spurious regression) entstehen und sich bei den erklärenden Variablen verzerrte Schätzungen der Regressionsparameter (omitted variable bias) ergeben, wurde der Trend im Regressionsmodell kontrolliert.

Zu diesem Zweck wurde der logarithmisch lineare Modellansatz durch Einbeziehung einer Trendvariablen  $t$  (Parametrisierung  $t = 1, 2, \dots, T$ ) erweitert, welche die Verunglücktenzahl  $y$  beeinflusst:

$$(2) \quad y = e^{\theta} \cdot t^{\lambda} \cdot x^{\alpha} \cdot z^{\beta} \cdot e^{\varepsilon}$$

$$(2^*) \quad \ln(y) = \theta + \lambda \cdot \ln(t) + \alpha \cdot \ln(x) + \beta \cdot \ln(z) + \varepsilon$$

Die Hinzunahme der autonomen Trendvariablen  $t$  wirkt sich, wie erwähnt, vorteilhaft auf die Güte der Schätzung der Modellparameter der erklärenden Variablen  $x$  und  $z$  aus. Entsprechend unserer verkehrswissenschaftlich und sicherheitstechnisch begründeten Modellvorstellung ist  $\alpha < 0$  und  $\beta > 0$  zu erwarten.

In Regressionsmodellen mit Zeitreihendaten<sup>30</sup> ist eine Trendbereinigung vielfach unverzichtbar. So werden makroökonomische Modelle häufig mit einer autonomen Trendvariablen formuliert, welche z. B. die Auswirkung des technischen Fortschritts auf die Produktivität – zusätzlich zum Effekt wachsenden Kapitaleinsatzes – repräsentiert (vgl. GREENE 2000, S. 325-326; SCHIRA 2009, S.554).

In unserem Kontext erlaubt die Trendvariable eine Schätzung der autonomen Veränderung der Sicherheit im Straßenverkehr. Der Parameter  $\lambda$  zeigt dabei je nach Vorzeichen eine Zunahme ( $\lambda > 0$ ) bzw. Abnahme ( $\lambda < 0$ ) der Verunglücktenzahl im Zeitverlauf an, die nicht der Steigerung der Pkw-Gesamtfahrleistung  $z$  bzw. der Erhöhung der Fahrzeugsicherheit, gemessen durch den Indikator  $x$ , zugeschrieben werden kann.

Beispiel:

Trendvariable  $t = 1, 2, \dots, 7$

Parameter  $\lambda = 0,13$  (degressives Wachstum)

Ceteris paribus hängt die erwartete Verunglücktenzahl  $\hat{y}$  wie folgt von  $t$  ab (Trendfunktion):

$$\hat{y} = K \cdot t^{\lambda} = K \cdot t^{0,13} \quad (K = \text{const.})$$

Interpretation von  $\lambda = 0,13$  als Elastizität der Verunglücktenzahl: Wächst die Trendvariable  $t$  um 1 %, so steigt die erwartete Verunglücktenzahl um 0,13 %. Da  $t$  nur ganzzahlige Werte annehmen kann, ist die Vorstellung einer kleinen prozentualen Änderung der Trendvariablen problematisch.

Anschaulicher zu interpretieren ist die relative Veränderung der erwarteten Verunglücktenzahl aufgrund einer Erhöhung der Trendvariablen  $t$  um 1 Einheit. Wegen

$$\hat{y}(t+1)/\hat{y}(t) = (t+1)^{\lambda}/t^{\lambda} = (1 + 1/t)^{\lambda}$$

gilt: Nimmt  $t$  um 1 Einheit (hier Kalenderjahr) zu, so steigt ceteris paribus die erwartete Verunglücktenzahl um

$$100 \times [(1 + 1/t)^{\lambda} - 1] \text{ Prozent.}$$

Bei  $\lambda = 0,13$  ergeben sich im Zeitverlauf die in Tabelle 20 dargestellten relativen Zuwächse der Verunglücktenzahl.

Die Tabellenwerte sind wie folgt zu interpretieren: Vom Jahr 1 auf das Jahr 2 steigt die erwartete Verunglücktenzahl ceteris paribus um 9,4 %. Vom Jahr 6 auf das Jahr 7 steigt die erwartete Verunglücktenzahl ceteris paribus um 2,0 %.

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Regressionsanalysen auf Basis des Modells (2\*) dargestellt. Der Schwerpunkt liegt dabei auf der Ermittlung des Einflusses des SPI der Pkw-Flotte (Bausteine 1 bis 4) auf die Zahl der Verunglückten im Straßenverkehr (insgesamt und untergliedert nach Verletzungsschwere) bzw. die Zahl der unfallbeteiligten Pkw.

$t$	$(1+1/t)^{\lambda}$
1	1,094
2	1,054
3	1,038
4	1,029
5	1,024
6	1,020

Tab. 20: Relative Zuwächse der Verunglücktenzahl über den Zeitparameter  $t$

<sup>30</sup> Zur Zeitreihenökometrie vgl. z. B. ENDERS (2010).

### 5.2.5 Analyseergebnisse zum Zusammenhang zwischen SPI und Verunglücktenzahl

#### SPI\_1: Schutz erwachsener Pkw-Insassen

Aufgrund der Vielzahl an zu schätzenden Regressionsmodellen wird so vorgegangen, dass im Hinblick auf den SPI (Baustein 1) zunächst das Modell für die Gesamtzahl der verunglückten Pkw-Benutzer ab 12 Jahre etwas ausführlicher mit den Parameterschätzwerten für alle Erklärungsvariablen dargestellt wird (Tabelle 21). Bei den Modellen für die Zahl der Getöteten bzw. Schwer-/Leichtverletzten werden dann nur noch die – primär interessierenden – Schätzwerte für den Parameter des (logarithmierten) SPI ausgewiesen. Dies gilt auch für die Modellschätzungen in den übrigen Bausteinen.

In dem Modell für die Gesamtzahl der verunglückten erwachsenen Pkw-Insassen werden 99 % der Varianz der abhängigen Variable durch die drei Einflussgrößen erklärt ( $R^2 = 0,9914$ ). Der Schätzwert für die Konstante (-6,83) kann anschaulich im Kontext des multiplikativen Modells (2) interpretiert werden: Wenn alle drei Einflussgrößen  $x$ ,  $z$  und  $t$  den Wert 1 annehmen, ist wegen  $e^{-6,83} = 0,001$  die erwartete Verunglücktenzahl praktisch Null. Dies ist im Einklang mit unseren Erwartungen, da  $z = 1$  ja der hypothetischen Situation einer gegen Null gehenden Pkw-Gesamtfahrleistung entspricht.

Der entscheidende Schätzwert ist der für den Parameter der Variablen  $\log \text{SPI}_1$  (fett gedruckt), der wegen der Interpretation als Elastizität eine Reduktion der Zahl der verunglückten erwachsenen Pkw-Insassen (ab 12 Jahre) um rund 0,4 % anzeigt, wenn ceteris paribus der SPI (Baustein 1) um 1 % zunimmt. Da die Nullhypothese  $H_0: \alpha \geq 0$  zugunsten von  $H_1: \alpha < 0$  auf jedem üblichen Signifikanzniveau abgelehnt werden kann ( $p = 0,0004/2 = 0,0002$ ), ist es als gesichert zu betrachten, dass ein steigender  $\text{SPI}_1$  der Pkw-Flotte zu einem Rückgang der Verunglücktenzahl führt. Insofern ist  $\text{SPI}_1$  ohne jeden Zweifel ein geeigneter Safety-Performance-Indikator.

Bei der Pkw-Gesamtfahrleistung und der Trendvariable ergibt sich ceteris paribus mit steigenden Merk-

Effekt	Schätzwert	Signifikanz
Konstante	-6,83	0,0708
<b><math>\log \text{SPI}_1</math></b>	<b>-0,44</b>	<b>0,0004</b>
$\log$ Pkw-Fahrleistung	2,94	0,0047
$\log$ Jahr	0,13	0,0009

Tab. 21: Schätzwerte und Signifikanzen der Parameter des log-linearen Modells für die Gesamtzahl der verunglückten Pkw-Benutzer ab 12 Jahre

Modell für...	Parameterschätzwert für $\log \text{SPI}_1$	Signifikanz
Alle Verunglückte	-0,44	0,0004
Getötete	-0,46	0,0493
Schwerverletzte	-0,35	0,0003
Leichtverletzte	-0,45	0,0004

Tab. 22: Parameterschätzwerte für den Faktor „SPI (Baustein 1) der Pkw-Flotte“ in den log-linearen Modellen für die Zahl verunglückter Pkw-Benutzer ab 12 Jahre

malswerten eine Zunahme der Verunglücktenzahl, was nach den Ergebnissen der deskriptiven Datenanalyse zu erwarten war. Mit Ausnahme der Konstante sind alle Parameterschätzwerte auf dem 5-Prozent-Niveau signifikant<sup>31</sup>.

Tabelle 22 enthält in der Zusammenschau die Parameterschätzwerte für den Verkehrssicherheitsindikator  $\text{SPI}_1$  in Bezug auf alle Verunglückte (siehe oben), Getötete, Schwerverletzte und Leichtverletzte.

Alle Schätzwerte weisen ein negatives Vorzeichen<sup>32</sup> auf und sind zum Niveau 5 % signifikant. Dies bedeutet, auch die Zahl der Getöteten bzw. Schwer-/Leichtverletzten ist umso niedriger, je höher der Indikatorwert für den Insassenschutz ausfällt.

#### SPI\_2: Schutz von Kindern im Fahrzeug

Die Parameterschätzwerte für die Erklärungsvariable  $\text{SPI}_2$  in den verschiedenen Regressionsmodellen für die Zahl der in Pkw verunglückten Kinder sind in Tabelle 23 zusammengestellt.

<sup>31</sup> Die Autokorrelation erster Ordnung beträgt -0,285 und der Durbin-Watson-Koeffizient 2,45 (Faustregel für die Interpretation des Koeffizienten: Werte zwischen 1,5 und 2,5 sind akzeptabel, Werte unter 1 oder über 3 deuten auf Autokorrelation hin).

<sup>32</sup> Die Elastizität der Verunglücktenzahl in Bezug auf den Sicherheitsindikator  $\text{SPI}_1$  liegt weitgehend unabhängig vom Grad der Verletzungsschwere in der Größenordnung von -0,4.

Modell für...	Parameterschätzwert für log SPI_2	Signifikanz
Alle Verunglückte	-0,61	0,0153
Getötete	-0,59	0,8801
Schwerverletzte	-0,03	0,9531
Leichtverletzte	-0,69	0,0075

Tab. 23: Parameterschätzwerte für den Faktor „SPI (Baustein 2) der Pkw-Flotte“ in den log-linearen Modellen für die Zahl verunglückter Pkw-Benutzer unter 12 Jahren

Wie bei Baustein 1 sind alle Parameterschätzwerte negativ. Ein signifikanter Einfluss des Sicherheitsindikators SPI (Baustein 2) findet sich aber nur in den Modellen für die stark besetzten Kategorien „alle Verunglückte“ und „Leichtverletzte“. Mit Blick auf den Schutz von Kindern im Fahrzeug erscheint die SPI-Elastizität der Verunglücktenzahl mit -0,6 bzw. -0,7 etwas stärker ausgeprägt als im Fall der erwachsenen Pkw-Insassen, wo die entsprechenden Elastizitäten bei rund -0,4 liegen (vgl. Tabelle 22).

### SPI\_3: Schutz von Fußgängern und Radfahrern

Für bei Kollisionen mit Pkw verunglückte Fußgänger und Radfahrer wurden getrennte Modelle gerechnet. Dabei geht jedoch immer der SPI (Baustein 3) als erklärende Variable ein, da sich in Euro NCAP die Tests zum 3. Baustein sowohl auf den Fußgänger- als auch auf den Radfahrerschutz beziehen. Tabelle 24 enthält die geschätzten Koeffizienten des SPI\_3 für verunglückte Fußgänger, Tabelle 25 die für verunglückte Radfahrer.

Aus den 4 Modellen für verunglückte Fußgänger resultiert nur im Modell für Schwerverletzte ein hochsignifikanter Effekt des SPI\_3 (SPI-Elastizität der Schwerverletztenzahl liegt bei -0,6). Aber auch für die Zahl der verunglückten Fußgänger insgesamt ist die Abhängigkeit vom SPI\_3 statistisch gesichert ( $p = 0,0272$  beim einseitigen Test).

Demgegenüber findet sich in drei von 4 Modellen für verunglückte Radfahrer ein hochsignifikanter SPI-Effekt (Leichtverletzte, Schwerverletzte und Verunglückte insgesamt). Erwähnenswert ist der Parameterschätzwert für SPI\_3 von -1,02 im Modell für schwer verletzte Radfahrer: Ein Anstieg des SPI\_3 um 1 % geht mit einer Reduktion der Zahl der bei Kollisionen mit Pkw schwer verletzten Radfahrer um 1 % (genauer 1,02 %) einher. Unter den empirisch ermittelten SPI-Elastizitäten ist dies der

Modell für...	Parameterschätzwert für log SPI_3	Signifikanz
Alle verunglückten Fußgänger	-0,30	0,0544
Getötete	-0,51	0,3809
Schwerverletzte	-0,61	0,0042
Leichtverletzte	-0,20	0,1819

Tab. 24: Parameterschätzwerte für den Faktor „SPI (Baustein 3) der Pkw-Flotte“ in den log-linearen Modellen für die Zahl der bei Kollisionen mit Pkw verunglückten Fußgänger

Modell für...	Parameterschätzwert für log SPI_3	Signifikanz
Alle verunglückten Radfahrer	-0,67	0,0083
Getötete	-0,02	0,9900
Schwerverletzte	-1,02	0,0043
Leichtverletzte	-0,61	0,0094

Tab. 25: Parameterschätzwerte für den Faktor „SPI (Baustein 3) der Pkw-Flotte“ in den log-linearen Modellen für die Zahl der bei Kollisionen mit Pkw verunglückten Radfahrer

größte Wert. Mit -0,6 und -0,7 ist die SPI-Elastizität auch bei leicht verletzten Radfahrern sowie bei den verunglückten Radfahrern insgesamt relativ stark ausgeprägt. Von Pkw, die bei den Tests zum Schutz von verletzlichen Verkehrsteilnehmern (die hauptsächlich auf Fußgänger abzielen) gut abschneiden, profitieren also auch Radfahrer im Falle einer Kollision in hohem Maße.

### SPI\_4: Fahrerassistenzsysteme – aktive Sicherheit

Da Fahrerassistenzsysteme primär zur Unfallvermeidung beitragen sollen, werden im Zusammenhang mit dem SPI\_4 nicht Verunglückte, sondern an Unfällen mit Personenschaden beteiligte Fahrzeuge als Zielgröße betrachtet (beteiligte Pkw insgesamt und als Hauptverursacher beteiligte Pkw).

In beiden Fällen sinkt die Zahl der unfallbeteiligten Pkw signifikant mit dem Wert des SPI\_4 (Tabelle 26). Der positive Sicherheitsbeitrag der Verbreitung von Fahrerassistenzsystemen in der Pkw-Flotte ist insoweit also statistisch gesichert. Mit wachsendem SPI\_4 der Pkw-Flotte nimmt die Unfallbeteiligtenzahl allerdings nicht ganz so stark ab wie die Verun-

glücktenzahl bei wachsendem SPI\_1 der Pkw-Flotte (SPI-Elastizität -0,2 versus -0,4; entsprechendes gilt für SPI\_2 und SPI\_3). Hier spielt möglicherweise auch das immer noch vergleichsweise niedrige Niveau des SPI\_4 der Pkw-Flotte eine Rolle.

**Resümee**

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass in allen – insgesamt 18 – log-linearen Modellen ein höherer Wert des Safety Performance Indikators mit einer geringeren Zahl an verunglückten Personen bzw. unfallbeteiligten Pkw einhergeht.

Die hier auf der Basis von Euro NCAP entwickelten Kenngrößen SPI\_1 bis SPI\_4 für die Pkw-Flotte sind somit als Indikatoren der Verkehrssicherheit geeignet. Allerdings ist der positive Sicherheitsbeitrag des jeweiligen SPI zwar überwiegend, aber doch nicht in allen Fällen signifikant, was natürlich auch daran liegt, dass allen Modellschätzungen nur T = 7 Zeitperioden (Jahre) zu Grunde liegen. Inso-

Modell für...	Parameterschätzwert für log SPI_4	Signifikanz
beteiligte Pkw	-0,24	0,0158
Pkw als Hauptverursacher	-0,20	0,0235

Tab. 26: Parameterschätzwerte für den Faktor „SPI (Baustein 4) der Pkw-Flotte“ in den log-linearen Modellen für die Zahl der an Unfällen mit Personenschaden beteiligten Pkw

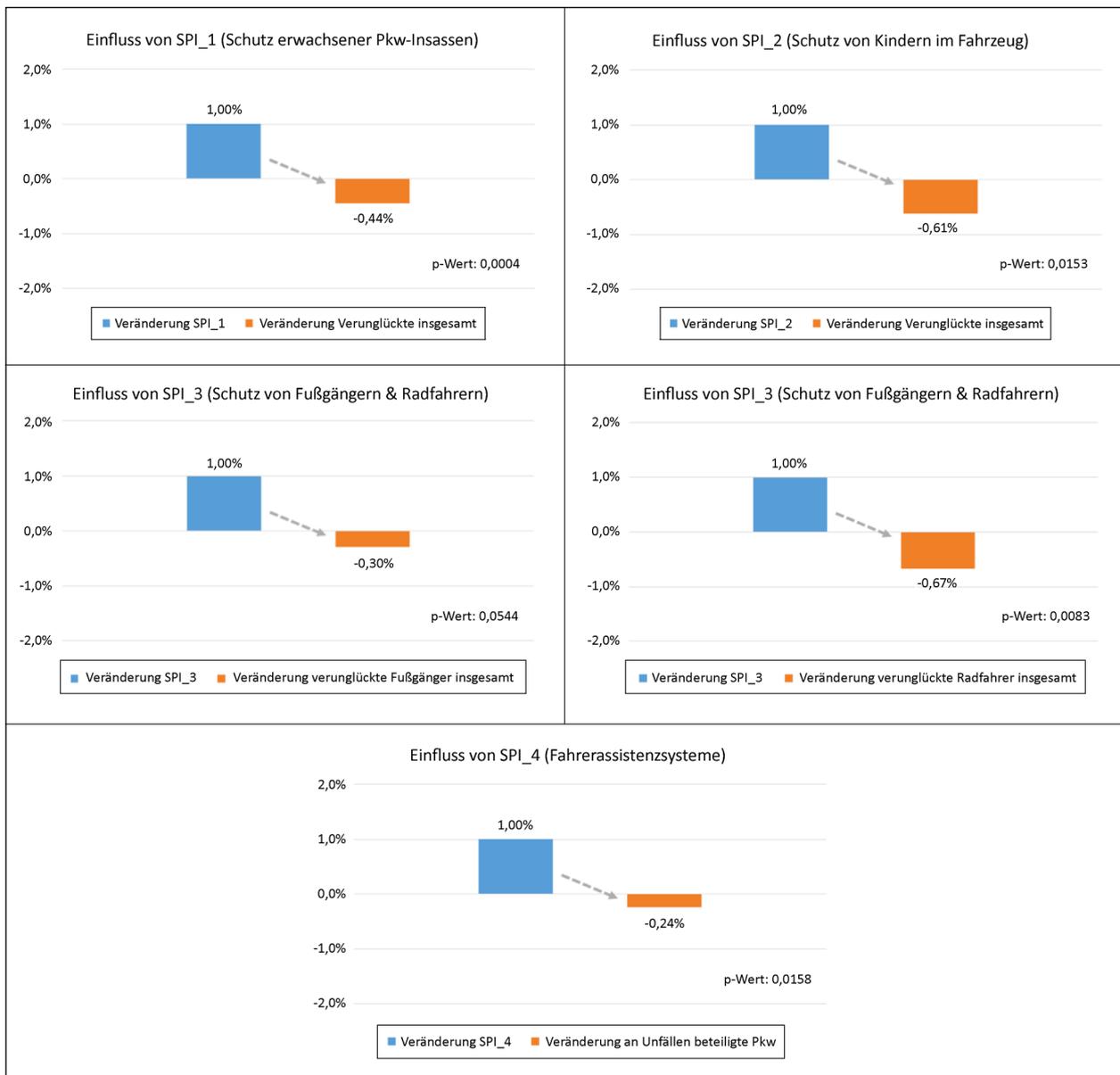


Bild 13: Einfluss der bausteinspezifischen SPI-Werte auf die Zahl der Verunglückten bzw. an Unfällen beteiligten Pkw

fern sollten die Ergebnisse generell vorsichtig interpretiert werden; insbesondere ist dabei auch zu berücksichtigen, dass die Verunglückten- und Beteiligtenzahlen von Jahr zu Jahr gewissen zufälligen Schwankungen unterliegen.

Schließlich sei noch erwähnt, dass die Schätzergebnisse für den SPI streng genommen nur für den empirisch ermittelten Wertebereich valide sind (z. B. 1,24 – 2,53 beim SPI<sub>1</sub>). Ob die ermittelten Zusammenhänge auch für den gesamten theoretisch möglichen SPI-Wertebereich (0 bis 5) gelten, muss an dieser Stelle offenbleiben. Bei einer späteren laufenden Ermittlung der SPI-Werte der Pkw-Flotte wird der empirisch beobachtete Wertebereich natürlich zunehmend breiter.

### 5.2.6 Zusammenhang zwischen Gesamt-SPI und Unfallkosten

Zum Abschluss der Unfallanalysen soll nun noch der Zusammenhang zwischen dem Gesamt-SPI (siehe Tabelle 12) und der Gesamtheit der für Euro NCAP relevanten und im letzten Kapitel separat analysierten Unfallmerkmale betrachtet werden. Da es sich bei diesen Unfallmerkmalen einerseits um verunglückte Personen (Pkw-Benutzer sowie bei Kollisionen mit Pkw verunglückte Radfahrer und Fußgänger) und andererseits um unfallbeteiligte Pkw handelt, können die entsprechenden Anzahlen (Ereignishäufigkeiten) nicht einfach addiert, sondern nur nach einer entsprechenden Monetarisierung, also über die Umrechnung in Unfallkosten, zusammengefasst werden. Hierfür wurden die jahresbezogenen Unfallkostensätze der BASt (Stand: Mai 2020) für Personenschäden (Getötete, Schwer- und Leichtverletzte) und Sachschäden (bei Unfällen mit Personenschaden) herangezogen.

Allerdings bezieht sich der Kostensatz für Sachschäden auf alle Unfälle mit Personenschaden<sup>33</sup>, während für die vorliegende Fragestellung im Hinblick auf Sachschäden nur die Kosten für an Unfällen mit Personenschaden beteiligte Pkw relevant sind. Hier musste somit eine entsprechende Abschätzung vorgenommen werden: In einem ersten Schritt wurde der Anteil der Unfälle mit Personenschaden und Pkw-Beteiligung an allen Unfällen mit Personenschaden (je nach Jahr um die 80 %) auf

den Sachschadenskostensatz übertragen. In einem zweiten Schritt wurde dann über die Zahl der an solchen Unfällen (mit Personenschaden und Pkw-Beteiligung) beteiligten Pkw ein Sachschadenskostensatz pro Pkw ermittelt. Dieser liegt – je nach Jahr – im Bereich zwischen 8.608 und 9.254 €.

Insgesamt ergeben sich die in Tabelle 27 dargestellten Schätzgrößen für die hier relevanten volkswirtschaftlichen Kosten von Straßenverkehrsunfällen (Personen- und Sachschäden).

Die Modellierung erfolgte ebenfalls in Form eines log-linearen Regressionsmodells. Die Unfallkosten stellen nun die abhängige Größe dar, erklärende Variable sind der Gesamt-SPI, die Pkw-Fahrleistung und die Trendvariable. Tabelle 28 enthält die Ergebnisse der Modellschätzung nach Linearisierung des Ansatzes.

Der Schätzwert für den Parameter der Variablen log SPI<sub>gesamt</sub> (fett gedruckt) zeigt mit -0,7 eine relativ hohe Elastizität der Unfallkosten an: Steigt der Gesamt-SPI der Pkw-Flotte um 1 %, sinken die entsprechenden Unfallkosten ceteris paribus um 0,7 %. Der Parameter ist signifikant von Null verschieden (p-Wert 0,0119), während der positive Parameter der Variablen log Pkw-Fahrleistung (d. h. mit der Gesamtfahrleistung steigen ceteris paribus die Unfallkosten) auf dem 5-Prozent-Niveau nicht signifikant ist.

Unfalljahr	Unfallkosten (in Mrd. Euro)
2013	11,607
2014	11,778
2015	12,338
2016	12,166
2017	11,620
2018	11,103
2019	10,730

Tab. 27: Geschätzte Euro NCAP-relevante Unfallkosten 2013 – 2019 (Quellen: Destatis: Verkehrsunfälle, Fachserie 8, Reihe 7, div. Jahrgänge und BASt 2020b)

Effekt	Schätzwert	Signifikanz
Konstante	-17,47	0,2558
<b>log SPI<sub>gesamt</sub></b>	<b>-0,70</b>	<b>0,0119</b>
log Pkw-Fahrleistung	3,05	0,2135
log Jahr	0,21	0,0235

Tab. 28: Schätzwerte und Signifikanzen der Parameter des log-linearen Modells für die Unfallkosten

<sup>33</sup> Im Jahr 2018 z. B. betragen die Sachschadenskosten je Unfall mit Personenschaden 16.684 € (BASt 2020b).

## 6 Zusammenfassung und Ausblick

Das European New Car Assessment Programme (Euro NCAP) ist ein Verbraucherschutzorientiertes Programm zur Bewertung der Sicherheit von – in der Regel – neuen Kraftfahrzeugmodellen. Das Programm gibt es seit 1997, seit 2009 besteht es aus den folgenden 4 Bausteinen:

- Schutz erwachsener Insassen (Baustein 1),
- Schutz von Kindern im Fahrzeug (Baustein 2),
- Schutz schwächerer Verkehrsteilnehmer (Baustein 3),
- Ausstattung mit Fahrerassistenzsystemen (Baustein 4).

In jedem Baustein werden mehrere – jeweils mit Punkten bewertete – Einzeltests durchgeführt, wobei Crashtests eine wichtige Rolle einnehmen. Die Sicherheitsbewertung eines Modells erfolgt anhand von Sternen (0 bis 5). Für jeden Baustein wird zunächst der Anteil erreichter Testpunkte ermittelt und dann über eine vorgegebene Tabelle mit Schwellenwerten in eine Sternbewertung übersetzt. Für jedes Fahrzeugmodell wird daraus eine Gesamtbewertung – ebenfalls in Form von Sternen – erstellt.

Das Hauptziel des vorliegenden Projekts bestand darin, die Testergebnisse aus Euro NCAP soweit möglich auf die gesamte Pkw-Flotte zu übertragen und daraus einen Safety Performance Indikator (SPI) für den Pkw-Bestand mehrerer aufeinander folgender Jahre (Zeitreihe) zu bilden. Dieser SPI soll dazu dienen, das Niveau und die Entwicklung der Fahrzeugsicherheit in der deutschen Pkw-Flotte mit einer oder einigen wenigen Maßzahlen komprimiert zu beschreiben.

Ein weiteres Ziel war es zu untersuchen, ob ein Zusammenhang zwischen der Euro NCAP-Bewertung von Fahrzeugen und dem Unfallgeschehen existiert. Neben Literaturanalysen wurden hierzu statistische Modelle zum Einfluss der durch den SPI ausgedrückten (durchschnittlichen) Fahrzeugsicherheit auf die korrespondierende Zahl der Verunglückten aus der amtlichen Verkehrsunfallstatistik geschätzt.

Als Basis für die Entwicklung des Safety Performance Indikators dienten dabei die folgenden Datenquellen:

- Euro NCAP-Testergebnisse zwischen 2009 und 2019
- Pkw-Bestandsdaten aus dem Zentralen Fahrzeugregister (ZFZR) des Kraftfahrt-Bundesamts (KBA) zwischen 2009 und 2020 (jeweils zum Stichtag 1.1.)

Die Daten für die Unfallanalyse wurden der amtlichen Straßenverkehrsunfallstatistik entnommen (Destatis).

### 6.1 Methodik

Die Fahrzeugbewertungen in Euro NCAP waren im Lauf der Jahre einem stetigen Wandel unterworfen. Dies betrifft die Schwellenwerte zur Zuordnung der Sterne und insbesondere die Art und Zahl der durchgeführten Tests. In verschiedenen Jahren wurden bei einigen Tests die Anforderungen für eine gute Bewertung erhöht oder sie wurden durch neue Testverfahren ersetzt. Darüber hinaus wurden auch gewisse Verfahrenselemente ab einem bestimmten Zeitpunkt ganz aus dem Programm gestrichen.

Dies führt dazu, dass die Euro NCAP-Ergebnisse für in verschiedenen Jahren bewertete Fahrzeugmodelle nicht oder nur bedingt miteinander vergleichbar sind. Die Vergleichbarkeit ist jedoch eine notwendige Voraussetzung, um aus den Euro NCAP-Ergebnissen eine auf den gesamten Pkw-Bestand bezogene SPI-Zeitreihe abzuleiten.

Ein wesentlicher Schritt bei der Entwicklung eines SPI zur Fahrzeugsicherheit bestand daher darin, die Testergebnisse der verschiedenen Jahre im Hinblick auf die im Zeitverlauf geänderten Testprozeduren soweit als möglich vergleichbar zu machen. Hierfür wurde eine Projektgruppe bestehend aus Experten der BAST in den Bereichen Aktive und Passive Fahrzeugsicherheit gebildet, welche die Aufgabe hatte, je Baustein zu quantifizieren, wie sich diese Veränderungen der Testprozeduren auf die Fahrzeugbewertung auswirken. Da unter Veränderungen der Testprozeduren tendenziell Verschärfungen zu verstehen sind, wurden ganz konkret Abschlagsfaktoren bestimmt, mit denen die Bewertungsergebnisse für frühere Testjahre entsprechend abgesenkt wurden. Dabei wurden die Testrahmenbedingungen des Jahres 2020 als Referenz herangezogen, d. h. die korrigierten Testergebnisse entsprechen somit dem hypothetischen Fall, dass in den Jahren 2009 bis 2019 bereits die Testprozeduren des Jahres 2020 gültig gewesen wären.

Die von der Expertengruppe ermittelten Abschlagsfaktoren für die einzelnen Testjahre wurden (je Baustein) auf den Anteil an Testpunkten, den ein Modell erzielt hat, angewendet und dieser dadurch entsprechend abgesenkt. Die abschließende Transformation dieser neu berechneten Anteilswerte in Sterne erfolgte anhand der Schwellenwerte des Jahres 2020.

Der zweite wesentliche Schritt zur Erzeugung eines Safety Performance Indikators (SPI) bestand darin, die – neu berechneten – Euro NCAP-Ergebnisdaten (Anteil erreichter Punkte, Anzahl Sterne) für die einzelnen getesteten Marken und Modelle mit den ZFZR-Beständen (1.1.2014 bis 1.1.2020) zu verknüpfen (matching). Die Verknüpfung der ZFZR-Bestandsdaten mit den (korrigierten) Euro NCAP-Bewertungsdaten erfolgte über einen komplexen Algorithmus, der im Kern auf den Merkmalen Fabrikat- und Modellcode basierte. In diesem Zusammenhang war es auch erforderlich, die in Euro NCAP getestete Baureihe (Modellgeneration) des jeweiligen Modells im Bestand zu identifizieren. Allerdings steht diese Information in den ZFZR-Daten nicht zur Verfügung. Daher musste neben den Merkmalen Marke und Modell auf das Jahr der Erstzulassung zurückgegriffen werden, um eine Verknüpfung mit den Euro NCAP-Daten herstellen zu können. Darüber hinaus wurden auch Facelifts von Fahrzeugen (falls getestet) im Matching-Algorithmus berücksichtigt.

Im Ergebnis konnte im Durchschnitt über die hier betrachteten sieben Bestandsjahre (Stichtage: 1.1.2014 bis 1.1.2020) von den neueren Fahrzeugen (Erstzulassungsjahr ab 2009) rund 70 % eine Euro NCAP-Bewertung zugeordnet werden. Pkw mit Erstzulassung ab 2009, denen keine Bewertung zugeordnet werden konnte (weil nicht getestet oder im ZFZR nicht auffindbar), wurde über ein Imputationsverfahren der Mittelwert der Euro NCAP-Bewertung nach Pkw-Segment und Erstzulassungsjahr zugewiesen. Fahrzeuge, die vor 2009 erstmals für den Verkehr zugelassen wurden und für die keine Euro NCAP-Bewertung identifiziert werden konnte, bekamen in Abstimmung mit dem Auftraggeber und den Experten den Wert 0 Prozent erreichte Punkte bzw. 0 Sterne.

Als Safety Performance Indikator wurde die mittlere bausteinspezifische Sternebewertung herangezogen. Dabei wurden pro betrachtetem Bezugszeitpunkt des Bestands (ab 2014) für die gesamte Pkw-Flotte bausteinspezifische Durchschnittswerte

des Merkmals „Anzahl Sterne gemäß Euro NCAP (0 bis 5)“ berechnet. Diese basieren auf den neu berechneten und vereinheitlichten bausteinspezifischen Fahrzeugbewertungen aus Euro NCAP. Diese Mittelwerte lassen sich als „auf 2020 referenzierte bausteinspezifische Safety Performance Indikatoren der Pkw-Flotte“ charakterisieren und werden nachfolgend als

#### **SPI (Baustein x)** der Pkw-Flotte

bezeichnet.

Es wurden auf diese Weise insgesamt vier Safety Performance Indikatoren gebildet, bei denen es sich, wie erwähnt, um bausteinspezifische Durchschnittswerte der Sicherheitsbewertung der im ZFZR erfassten Pkw handelt. Aus diesen vier Indikatoren wurde dann noch ein Safety Performance Gesamtindikator

#### **SPI (Gesamt)** der Pkw-Flotte

berechnet (gewichteter Mittelwert, bei dem – in Analogie zum Euro NCAP-Verfahren – die Bewertungen der vier Bausteine im Verhältnis 40:20:20:20 gewichtet wurden).

Im Rahmen der Unfallanalyse wurden log-lineare Regressionsmodelle gerechnet, um den Einfluss der vier genannten SPI auf entsprechende Unfallmerkmale zu schätzen. Bei der Modellierung wurde die Pkw-Gesamtfahrleistung als weitere erklärende Variable berücksichtigt. Bei der Analyse des Zusammenhangs zwischen den einzelnen Safety Performance Indikatoren und dem Unfallgeschehen wurden folgende, auf den jeweiligen SPI abgestimmte Daten der amtlichen Straßenverkehrsunfallstatistik verwendet:

- SPI\_1: jährliche Anzahl verunglückter/getöteter/schwer verletzter/leicht verletzter Pkw-Benutzer ab 12 Jahre (2013 bis 2019)
- SPI\_2: jährliche Anzahl verunglückter/getöteter/schwer verletzter/leicht verletzter Pkw-Benutzer bis unter 12 Jahre (2013 bis 2019)
- SPI\_3: jährliche Anzahl verunglückter/getöteter/schwer verletzter/leicht verletzter Radfahrer bzw. Fußgänger (jeweils bei Kollisionen mit einem Pkw) (2013 bis 2019)
- SPI\_4: jährliche Anzahl unfallbeteiligter Pkw bzw. Pkw-Hauptverursacher (bei Unfällen mit Personenschaden) (2013 bis 2019)

## 6.2 Ergebnisse

Bild 14 zeigt das zentrale Ergebnis der Übertragung der Euro NCAP-Bewertungen auf den Pkw-Bestand insgesamt, d. h. die Zeitreihen der vier bausteinspezifischen SPI-Werte sowie des SPI-Gesamtwerts.

Die Ergebnisse zeigen durchweg einen im Zeitverlauf ansteigenden Trend der Indikatoren. Wegen der Bestandsdynamik – an die Stelle schlechter bewerteter älterer Fahrzeuge treten besser bewertete neuere Fahrzeuge – nimmt die mittlere Fahrzeugsicherheit der Pkw-Flotte kontinuierlich zu. Die höchsten Indikatorwerte finden sich beim Baustein 2 (Schutz von Kindern im Fahrzeug), am niedrigsten fallen sie beim Baustein 4 (Ausstattung mit Fahrerassistenzsystemen) aus. Das Niveau der SPI-Werte ist ganz allgemein relativ niedrig (im Verhältnis zum Wertebereich 0 bis 5), was im Wesentlichen zwei Gründe hat:

Hier wirkt sich zum einen die Tatsache aus, dass im Hinblick auf die Abschlagsfaktoren zur Normierung bzw. Vergleichbarmachung der Euro NCAP-Bewertungen (Experten) durchgängig die Testbedingungen des Jahres 2020 als Referenz herangezogen wurden. Hierdurch werden z. B. beim Baustein 4 die Testergebnisse bei den zwischen 2009 und 2012 bewerteten Modellen auf rund ein Drittel ihres ursprünglichen Wertes abgesenkt. Dies spiegelt sich entsprechend in den auf die Pkw-Flotte hochgerechneten Werten wider.

Zum anderen liegt dies natürlich daran, dass sich der Bestand zu einem Stichtag auf viele Erstzulassungsjahre verteilt. Einen starken Einfluss hat in diesem Zusammenhang auch die Festlegung, durch Imputation den Fahrzeugen mit Erstzulassungsjahr vor 2009 eine 0-Sterne-Bewertung zuzuordnen, da vor 2009 – wie bereits ausgeführt – keine (vergleichbaren) Euro NCAP-Ergebnisse verfügbar sind.

Gliedert man die Indikatoren zusätzlich nach Pkw-Segment, so weisen SUV, gefolgt von Geländewagen, Großraum-Vans und der Oberklasse die höchsten Werte beim SPI-Gesamtwert auf. Dass die SUV den höchsten SPI aufweisen, hat allerdings auch damit zu tun, dass es sich um ein relativ neues Segment handelt, in dem der Anteil älterer Fahrzeuge vergleichsweise niedrig ist. Bei der Einordnung der Ergebnisse sollten auch immer die in Kapitel 4 gegebenen Hinweise für deren Interpretation im Blick behalten werden.

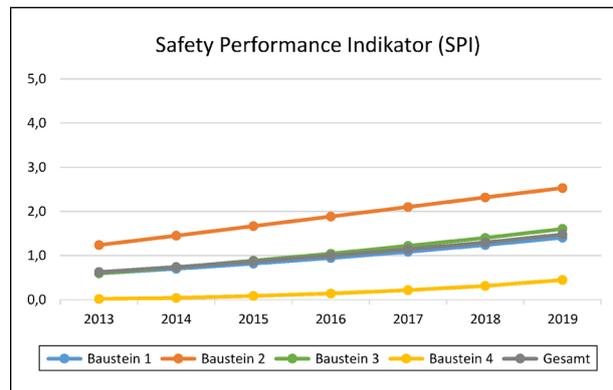


Bild 14: Bausteinspezifische SPI sowie SPI (Gesamt) der Pkw-Flotte gegliedert nach Bestandsstichtag (Quelle: Eigene Berechnungen – Datenbasis: Euro NCAP 2009 – 2019; ZFZR 01.01.2014 – 01.01.2020)

Zur Bewertung der Eignung der auf Euro NCAP-Tests basierenden SPI als Indikatoren der Verkehrssicherheit im realen Straßennetz wurden log-lineare Regressionsmodelle gerechnet, um den Einfluss der vier SPI auf die jeweils entsprechenden Unfallmerkmale (verunglückte Pkw-Insassen (Erwachsene und Kinder), verunglückte Fußgänger und Radfahrer, unfallbeteiligte Pkw) zu quantifizieren. In allen Analysen wurde der SPI im Pkw-Bestand zum 1. Januar eines Jahres (z. B. 1.1.2014) mit den Unfallzahlen und der Fahrleistung des Vorjahres (hier entsprechend dann 2013) verknüpft.

Die zeigten in allen 18 untersuchten Fällen deutliche Zusammenhänge zwischen SPI und Unfallgeschehen. Wichtigstes Ergebnis hier: Ein höherer Wert des entsprechenden Safety Performance Indikators geht mit einer geringeren Zahl an verunglückten Personen bzw. unfallbeteiligten Pkw einher.

Es können auf Basis der Berechnungen nun beispielsweise folgende spezifische Aussagen zur „SPI-Elastizität der Verunglücktenzahl“ gemacht werden: Im Regressionsmodell für die (logarithmierte) Gesamtzahl der verunglückten erwachsenen Pkw-Insassen wird der Koeffizient von  $\log \text{SPI}_1$  auf  $-0,4$  geschätzt, was eine (signifikante) Reduktion der Zahl der verunglückten erwachsenen Pkw-Insassen (ab 12 Jahre) um rund 0,4 % anzeigt, wenn der SPI (Baustein 1) um 1 % zunimmt. Sicherheitstechnische Verbesserungen in der Pkw-Flotte schlagen sich also direkt in rückläufigen Opferzahlen im Straßenverkehr nieder.

Zu berücksichtigen ist, dass der Parameterschätzwert für den jeweiligen SPI zwar stets negativ, aber nicht bei allen 18 berechneten Regressi-

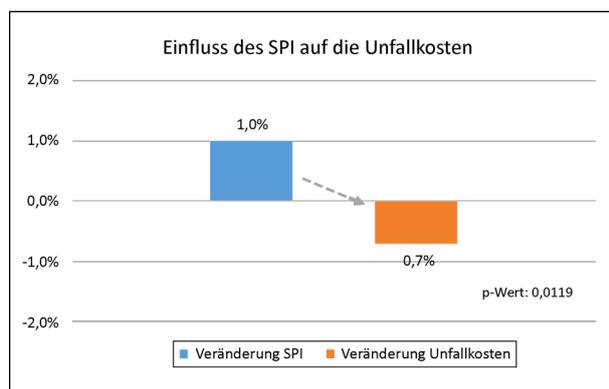


Bild 15: Einfluss des SPI-Gesamtwertes der Pkw-Flotte auf die monetären volkswirtschaftlichen Unfallkosten

onsmodellen auch signifikant ist. Im Wesentlichen kann dies darauf zurückgeführt werden, dass den Modellschätzungen nur die Daten der letzten sieben Jahre als Beobachtungen zu Grunde liegen.

Darüber hinaus wurde der Zusammenhang zwischen dem SPI-Gesamtwert und den resultierenden monetären volkswirtschaftlichen Unfallkosten analysiert.

Hier ergab sich, dass bei einer Zunahme des Gesamt-SPI der Pkw-Flotte um 1 % die entsprechenden Unfallkosten ceteris paribus um 0,7 % sinken (Bild 15).

### 6.3 Ausblick

Im vorliegenden Projekt wurden die Ergebnisse der Euro NCAP-Tests dazu benutzt, Safety Performance Indikatoren für die gesamte deutsche Pkw-Flotte zu den Stichtagen 1.1.2014 bis 1.1.2020 zu bilden. Eine entscheidende Voraussetzung hierfür war die Angleichung der Testergebnisse der verschiedenen Jahre im Hinblick auf die im Zeitverlauf geänderten Testprozeduren unter Verwendung des Euro NCAP-Bewertungsverfahrens des Jahres 2020 als Referenz. Diese Angleichung basiert zu einem großen Teil auf Expertenurteilen, wobei auch die Testprotokolländerungen in 2020 mit einbezogen wurden, obwohl im vorliegenden Projekt nur Euro NCAP-Daten bis einschließlich 2019 betrachtet wurden. Das bedeutet, dass auch die Ergebnisse für 2019 mit Abschlagsfaktoren belegt wurden. Dies wurde in der Konzeption des Projektes aber bewusst so angesetzt, um damit bereits die wesentlichen Voraussetzungen für eine kontinuierliche Fortführung der Zeitreihen für die Jahre 2020/21/22 zu schaffen (SPI für den Pkw-Bestand zum 1.1.2021, zum 1.1.2022 und zum 1.1.2023).

Die nächsten bedeutsamen Änderungen der Testprotokolle stehen im Jahr 2023 an. Hier wird dann wieder eine Anpassung des Verfahrens notwendig sein, um die Konsequenzen der dann wirksam werdenden Veränderungen (ggf. über weitere Expertenurteile) quantifizieren und das Verfahren entsprechend anpassen zu können, um weiterhin zu vergleichbaren Euro NCAP-Testergebnissen zu kommen.

## Literatur

- BASt (2009): Das neue Euro NCAP Rating. Pressemitteilung Nr. 17, 2009. Bergisch Gladbach: BASt.
- BASt (2020a): Gurte, Kindersitze, Helme und Schutzkleidung – 2019. Daten & Fakten kompakt Nr. 02/20. Bergisch Gladbach.
- BASt (2020b): Volkswirtschaftliche Kosten von Straßenverkehrsunfällen in Deutschland. Bergisch Gladbach: BASt.
- BÄUMER, M.; HAUTZINGER, H.; PFEIFFER, M.; STOCK, W.; LENZ, B.; KUHNIMHOF, T. & KÖHLER, K. (2017a): Fahrleistungserhebung 2014 – Inländerfahrleistung. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Reihe Verkehrstechnik, Heft V 290. Bremen: Schünemann.
- BÄUMER, M.; HAUTZINGER, H.; PFEIFFER, M.; STOCK, W.; LENZ, B.; KUHNIMHOF, T. & KÖHLER, K. (2017b): Fahrleistungserhebung 2014 – Inlandsfahrleistung und Unfallrisiko. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Reihe Verkehrstechnik, Heft V 291. Bremen: Schünemann.
- DELANEY, A.; NEWSTEAD, S. & CAMERON, M. (2006a): Study of the Relationship between Injury Outcomes in Police Reported Crash Data and Crash Barrier Test Results: An Extended Analysis of German Data. Report of Sub-Tasks 2.1 and 2.2 of the EU Project SARAC II. Brussels: European Commission.
- DELANEY, A.; NEWSTEAD, S. & CAMERON, M. (2006b): Analysis of Pedestrian Crash Data from Great Britain, Germany and France. Report of Sub-Task 3.4 of the EU Project SARAC II. Brussels: European Commission.
- Destatis (2020): Verkehrsunfälle – Zeitreihen, 2019. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt.
- ENDERS, W. (2010): Applied Econometric Time Series, 3<sup>rd</sup> Ed. Wiley.
- ETSC (2001): Transport Safety Performance Indicators. Brüssel.
- EURO NCAP (2013): Euro NCAP Rating Review 2013. Brüssel.
- EURO NCAP. (2017): Euro NCAP 2025 Roadmap. Leuven.
- EURO NCAP (2020): Euro NCAP Rating Review 2018, Version 1.2. Brüssel.
- FARMER, C.M. (2005): Relationships of Frontal Offset Crash Test Results to Real-World Driver Fatality Rates. Traffic Injury Prevention 1, pp 31-37.
- FOLLMER, R.; GEIS, A.; GRUSCHWITZ, D.; HÖLSCHER, H.; RAUDSZUS, D. & ZLOCKI, A. (2015): Marktdurchdringung von Fahrzeugsicherheitssystemen. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Reihe Mensch und Sicherheit, Heft M 258. Bremen: Schünemann.
- Folksam Insurance Group (2019): Folksam's Report „How Safe is Your Car?“ 2019.
- GREENE, W.H. (2000): Econometric Analysis, 4<sup>th</sup> Ed. New Jersey: Prentice Hall.
- HAKKERT, A.S.; GITELMAN, V. & VIS, M.A. (Hrsg.) (2007): Road Safety Performance Indicators: Theory. Deliverable D3.6 of the EU FP6 Project SafetyNet.
- HAUTZINGER, H. (2006): Updated and Extended Description of Existing Car Safety Rating Methods Based on Real-World Crash Data. Report of Sub-Task 1.2-1 of the EU Project SARAC II. Brussels: European Commission.
- HAUTZINGER, H.; PASTOR, C.; PFEIFFER, M. & SCHMIDT, J. (2007): Analysis Methods for Accident and Injury Risk Studies. EU-Projekt TRACE, Deliverable 7.3.
- HEIDEMANN, D.; HAMACHER, R.; HAUTZINGER, H.; MOTZKUS, A. & OTTE, D. (2000): Auswirkungen der Anforderungen der EG-Richtlinien und des Verbraucherschutz-Testverfahrens (Euro NCAP) an die passive Fahrzeugsicherheit auf das Unfallgeschehen. Forschungsprojekt FE 82.162/1999 der Bundesanstalt für Straßenwesen.
- KATHMANN, T.; JOHANNSEN, M.; SIEGENER, W.; RÖDELSTAB, T.; BÄUMER, M. & PFEIFFER, M. (2019): Sicherung durch Gurte, Helme und andere Schutzsysteme 2018 und 2019. Bericht zum Forschungsprojekt 83.0037. Bundesanstalt für Straßenwesen (unveröffentlicht).
- KBA (2020): Verkehr in Kilometern – Inländerfahrleistung. Unter [https://www.kba.de/DE/Statistik/Kraftverkehr/VerkehrKilometer/verkehr\\_in\\_kilo](https://www.kba.de/DE/Statistik/Kraftverkehr/VerkehrKilometer/verkehr_in_kilo)

- metern\_inhalt.html?nn=2351604. Abgerufen am 8.10.2020.
- KULLGREN, A.; LIE, A. & TINGVALL, C. (2010): Comparison between Euro NCAP Test Results and Real-World Crash Data. *Traffic Injury Prevention* 6, pp 587-593.
- KULLGREN A.; AXELSSON, A.; STIGSON, H. & YDENIUS, A. (2019): Developments in Car Crash Safety and Comparisons between Results from Euro NCAP Tests and Real-World Crashes. Proc. of the 26<sup>th</sup> techn. conf. on ESV, Paper No. 291, Eindhoven.
- KURITZ, S.J. & LANDIS, J.R. (1988): Attributable Risk Estimation from Matched Case-control Data. *Biometrics*, Vol. 44, pp. 355-367.
- LANGWIEDER, K.; FILDES, B.; ERNVALL, T. & CAMERON, M. (2003): SARAC – Safety Ratings Based on Real-World Crashes for Supplementation of New Car Assessment Programs. Proc. of the 18<sup>th</sup> techn. conf. on ESV, Nagoya.
- LEVIN, M.L. (1953): The Occurrence of Lung Cancer in Man. *Acta Unio Internationalis contra Cancrum*. Vol. 9, pp. 531-541.
- LIE, A.; KULLGREN, A. & TINGVALL, C. (2001): Comparison of Euro NCAP Test Results with Folksam Car Model Safety Ratings. Proc. of the 17<sup>th</sup> techn. conf. on ESV, Paper No. 277, Amsterdam.
- LIE, A. & TINGVALL, C. (2002): How Do Euro NCAP Results Correlate with Real-Life Injury Risks? A Paired Comparison Study of Car-to-Car Crashes. *Traffic Injury Prevention* 4, pp 288-293.
- NEWSTEAD, S. & CAMERON, M. (1999): Updated Correlation of Results from the Australian New Car Assessment Program with Real Crash Data from 1987 to 1996. Monash University Accident Research Centre (MUARC), Report No. 152.
- NEWSTEAD, S.; DELANEY, A.; CAMERON, M. & WATSON, L. (2006): Study of the Relationship between Injury Outcomes in Police Reported Crash Data and Crash Barrier Test Results in Europe and Australia. Report of Sub-Tasks 2.1 and 2.2 of the EU Project SARAC II. Brussels: European Commission.
- PAGE, M. & RACKLIFF, L. (2006): Deriving and Validating a Road Safety Performance Indicator for Vehicle Fleet Passive Safety. 50<sup>th</sup> Annual Proceedings, Association for the Advancement of Automotive Medicine, October 16-18, 2006, pp 317-332.
- PASTOR, C. (2007): Paired-Comparison Study: Correlation between Euro NCAP Star Ratings and Accident Data from the National German Police Road Accident Statistics. 2<sup>nd</sup> International Conference on ESAR „Expert Symposium on Accident Research“, pp156-161.
- PASTOR, C. (2013): Correlation between Pedestrian Injury Severity in Real-Life Crashes and Euro NCAP Pedestrian Test Results. Proc. of the 23<sup>rd</sup> techn. conf. on ESV, Paper No. 308, Seoul.
- SCHIRA, J. (2009): Statistische Methoden der VWL und BWL – Theorie und Praxis. 3., aktualisierte Auflage. München: Pearson Studium.
- STRANDROTH, J.; RIZZI, M.; STERNLUND, S.; LIE, A. & TINGVALL, C. (2011): The Correlation between Pedestrian Injury Severity in Real-Life Crashes and Euro NCAP Pedestrian Test Results. *Traffic Injury Prevention* 6, pp 604-613.
- van der ZWEEP, C.; PLA, M.; WISCH, M.; SCHALLER, T.; de HAIR, S. & LEMMEN, P. (2014): Assessment Methodologies for Forward Looking Integrated Pedestrian and Further Extension to Cyclists Safety. Final Publishable Report of the EU Project ASPECSS. Brussels: European Commission.
- van RATINGEN, M.; WILLIAMS, A.; LIE, A.; SEECK, A.; CASTAING, P.; KOLKE, R.; ADRI-AENSSENS, G. & MILLER, A. (2016): The European New Car Assessment Programme: A Historical Review. *Chinese Journal of Traumatology* 2, pp 63-69.
- WOODWARD, M. (2005): *Epidemiology. Study Design and Data Analysis*, 2<sup>nd</sup> edition. Boca Raton u. a.: Chapman & Hall/CRC.
- ZANDER, O.; GEHRING, D.-U. & van RATINGEN, M. (2015): Beyond Safety Legislation: Contribution of Consumer Information Programmes to Enhanced Injury Mitigation of Pedestrians during Accidents with Motor Vehicles. Proc. of the 24<sup>th</sup> techn. conf. on ESV, Paper No. 258, Gothenburg.

ZIV (Zweirad-Industrie-Verband) (2020): Zahlen – Daten – Fakten zum Fahrradmarkt in Deutschland 2019. Präsentation des ZIV-Geschäftsführers Siegfried Neuberger anlässlich der Pressekonferenz am 11. März 2020 in Berlin.

## Bilder

- Bild 1: Euro NCAP-Bewertungen für den VW Golf (Quelle: euroncap.com)
- Bild 2: Optionen zur Konstruktion eines SPI aus Euro NCAP-Daten
- Bild 3: SPI (Baustein 1) der Pkw-Flotte gegliedert nach Pkw-Segment und Bestandsstichtag (Quelle: Eigene Berechnungen – Datenbasis: Euro NCAP 2009 – 2019; ZFZR 2014 – 2020)
- Bild 4: SPI (Baustein 2) der Pkw-Flotte gegliedert nach Pkw-Segment und Bestandsstichtag (Quelle: Eigene Berechnungen – Datenbasis: Euro NCAP 2009 – 2019; ZFZR 2014 – 2020)
- Bild 5: SPI (Baustein 3) der Pkw-Flotte gegliedert nach Pkw-Segment und Bestandsstichtag (Quelle: Eigene Berechnungen – Datenbasis: Euro NCAP 2009 – 2019; ZFZR 2014 – 2020)
- Bild 6: SPI (Baustein 4) der Pkw-Flotte gegliedert nach Pkw-Segment und Bestandsstichtag (Quelle: Eigene Berechnungen – Datenbasis: Euro NCAP 2009 – 2019; ZFZR 2014 – 2020)
- Bild 7: SPI (Gesamt) der Pkw-Flotte gegliedert nach Pkw-Segment und Bestandsstichtag (Quelle: Eigene Berechnungen – Datenbasis: Euro NCAP 2009 – 2019; ZFZR 2014 – 2020)
- Bild 8: SPI (Baustein 3) der Pkw-Flotte 2019 gegliedert nach Pkw-Segment und Jahr der Erstzulassung (Quelle: Eigene Berechnungen – Datenbasis: Euro NCAP 2009 – 2019; ZFZR 1.1.2020)
- Bild 9: SPI (Gesamt) der Pkw-Flotte 2019 gegliedert nach Pkw-Segment und Jahr der Erstzulassung (Quelle: Eigene Berech-

nungen – Datenbasis: Euro NCAP 2009 – 2019; ZFZR 1.1.2020)

- Bild 10: Streuungsdiagramme für die Gesamtzahl der verunglückten Pkw-Benutzer (Erwachsene, Kinder), Fußgänger, Radfahrer, unfallbeteiligten Pkw und dem zugehörigen SPI der Pkw-Flotte
- Bild 11: Streuungsdiagramm für die Gesamtzahl der verunglückten Pkw-Benutzer unter 12 Jahre und der Pkw-Fahrleistung (in Mrd. km)
- Bild 12: Verunglückte Pkw-Benutzer bis unter 12 Jahre und SPI (Baustein 2) bzw. Pkw-Fahrleistung (in Mrd. km) gegliedert nach Unfalljahr
- Bild 13: Einfluss der bausteinspezifischen SPI-Werte auf die Zahl der Verunglückten bzw. an Unfällen beteiligten Pkw
- Bild 14: Bausteinspezifische SPI sowie SPI (Gesamt) der Pkw-Flotte gegliedert nach Bestandsstichtag (Quelle: Eigene Berechnungen – Datenbasis: Euro NCAP 2009 – 2019; ZFZR 01.01.2014 – 01.01.2020)
- Bild 15: Einfluss des SPI-Gesamtwertes der Pkw-Flotte auf die monetären volkswirtschaftlichen Unfallkosten

## Anhang

- Bild 16: Ergebnis der Expertenbewertung der Euro NCAP-Protokolländerungen seit 2009 (Referenzjahr 2020)

## Tabellen

- Tab. 1: Relatives Verletzungsrisiko für Pkw-Fahrer in Abhängigkeit von der Euro NCAP-Bewertung des Fahrzeugs (Quelle: KULLGREN et al. 2019, Tab. 5)
- Tab. 2: Crashworthiness Rating in Abhängigkeit von der Euro NCAP-Bewertung des Fahrzeugs (Quelle: NEWSTEAD et al. 2006, S. 10)
- Tab. 3: Verteilung der Sternanzahl (Gesamtbewertung) der zwischen 2009 und 2019 in

- Euro NCAP getesteten Fahrzeugmodelle (Quelle: Euro NCAP 2009 – 2019)
- Tab. 4: Mittlere Sternezahl (Gesamtbewertung) der zwischen 2009 und 2019 in Euro NCAP getesteten Fahrzeugmodelle gegliedert nach Jahr des Tests (Quelle: Euro NCAP 2009 – 2019)
- Tab. 5: Euro NCAP-Punkteschema 2009 – 2020 (Quelle: euroncap.com)
- Tab. 6: Ergebnis der Expertenbewertung der Euro NCAP-Protokolländerungen seit 2009 (Referenzjahr: 2020)
- Tab. 7: Euro NCAP-Bewertungsschema für den Zeitraum 2020 bis 2022 (Quelle: EURO NCAP 2020, S. 15)
- Tab. 8: Mittlerer Prozentwert (durchschnittlicher Anteil erreichter Punkte) vor und nach der Datenaufbereitung gegliedert nach Baustein und Testjahr (Quelle: Eigene Berechnungen – Datenbasis: Euro NCAP 2009 – 2019)
- Tab. 9: Durchschnittliche Sternezahl vor und nach der Datenaufbereitung gegliedert nach Baustein und Testjahr (Quelle: Eigene Berechnungen – Datenbasis: Euro NCAP 2009 – 2019)
- Tab. 10: Anteil Fahrzeuge im ZFZR mit zuordenbarer Euro NCAP-Bewertung gegliedert nach Bestandsstichtag und Erstzulassungsjahr (Quelle: Eigene Berechnungen – Datenbasis: Euro NCAP 2009 – 2019; ZFZR 2014 – 2020)
- Tab. 11: Mittlerer Anteil Fahrzeuge im ZFZR mit zuordenbarer Euro NCAP-Bewertung gegliedert nach Segment und Erstzulassungsjahr (Quelle: Eigene Berechnungen – Datenbasis: Euro NCAP 2009 – 2019; ZFZR 2014 – 2020)
- Tab. 12: Bausteinspezifische SPI und SPI (Gesamt) der Pkw-Flotte gegliedert nach Bestandsstichtag (Quelle: Eigene Berechnungen – Datenbasis: Euro NCAP 2009 – 2019; ZFZR 2014 – 2020)
- Tab. 13: Auszug aus der Unfalldatentabelle bei KULLGREN et al. 2019 (Quelle: KULLGREN et al. 2019, S. 8)
- Tab. 14: Auszug aus der Tab. 13
- Tab. 15: Jährliche Pkw-Inländerfahrleistung 2013 – 2019 (Quelle: KBA 2020) und Fahrradbestand (einschl. Pedelecs) 2013 – 2019 (Quelle: ZIV 2020)
- Tab. 16: Verunglückte Pkw-Benutzer (Fahrer und Mitfahrer) ab 12 Jahre gegliedert nach Unfallfolge und -jahr (Quelle: Destatis: Verkehrsunfälle, Fachserie 8, Reihe 7, div. Jahrgänge)
- Tab. 17: Verunglückte Pkw-Benutzer bis unter 12 Jahre gegliedert nach Unfallfolge und -jahr (Quelle: Destatis: Verkehrsunfälle, Fachserie 8, Reihe 7, div. Jahrgänge)
- Tab. 18: Bei Kollisionen mit Pkw verunglückte Fußgänger und Radfahrer (einschl. Pedelecs) gegliedert nach Unfallfolge und -jahr (Quelle: Destatis: Verkehrsunfälle, Fachserie 8, Reihe 7, diverse Jahrgänge)
- Tab. 19: An Unfällen mit Personenschaden beteiligte Pkw-Fahrer gegliedert nach Unfalljahr (Quelle: Destatis 2020)
- Tab. 20: Relative Zuwächse der Verunglücktenzahl über den Zeitparameter t
- Tab. 21: Schätzwerte und Signifikanzen der Parameter des log-linearen Modells für die Gesamtzahl der verunglückten Pkw-Benutzer ab 12 Jahre
- Tab. 22: Parameterschätzwerte für den Faktor „SPI (Baustein 1) der Pkw-Flotte“ in den log-linearen Modellen für die Zahl verunglückter Pkw-Benutzer ab 12 Jahre
- Tab. 23: Parameterschätzwerte für den Faktor „SPI (Baustein 2) der Pkw-Flotte“ in den log-linearen Modellen für die Zahl verunglückter Pkw-Benutzer unter 12 Jahren
- Tab. 24: Parameterschätzwerte für den Faktor „SPI (Baustein 3) der Pkw-Flotte“ in den log-linearen Modellen für die Zahl der bei Kollisionen mit Pkw verunglückten Fußgänger
- Tab. 25: Parameterschätzwerte für den Faktor „SPI (Baustein 3) der Pkw-Flotte“ in den log-linearen Modellen für die Zahl der bei Kollisionen mit Pkw verunglückten Radfahrer

Tab. 26: Parameterschätzwerte für den Faktor „SPI (Baustein 4) der Pkw-Flotte“ in den log-linearen Modellen für die Zahl der an Unfällen mit Personenschaden beteiligten Pkw

Tab. 27: Geschätzte Euro NCAP-relevante Unfallkosten 2013 – 2019 (Quellen: Destatis: Verkehrsunfälle, Fachserie 8, Reihe 7, div. Jahrgänge und BASt 2020b)

Tab. 28: Schätzwerte und Signifikanzen der Parameter des log-linearen Modells für die Unfallkosten

## **Anhang**

Tab. 29: Berechnungsschemata zur Angleichung der zahlreichen Revisionen des Testprogramms auf Basis von Experteneinschätzungen

## Anhang

### Experteneinschätzungen zu den Auswirkungen veränderter Testprozeduren auf die Euro NCAP-Testergebnisse

Wie in Kapitel 3.2 erläutert, gibt es für die zahlreichen Revisionen des Testprogramms kein ausreichend „objektives“ (d.h. aus der Testpraxis fundiert ableitbares) Verfahren, mit dem sich diese Veränderungen in die Neuberechnung der Bewertung mathematisch integrieren lassen.

Um eine hinreichend valide quantitative Einschätzung zu erhalten, wie sich diese Veränderungen der Testprozeduren auf die Fahrzeugbewertung auswirken, wurden daher Expertenurteile herangezogen. Da unter Veränderungen der Testprozeduren tendenziell Verschärfungen zu verstehen sind, geht es konkret um die Schätzung von Abschlagsfaktoren, mit denen die Bewertungsergebnisse für frühere Testjahre entsprechend abgesenkt werden. Betrachtet man die Testbedingungen 2020 als Referenzsituation, so entsprechen die korrigierten Testergebnisse dem hypothetischen Fall, dass in den Jahren bis 2019 bereits die Testprozeduren des Jahres 2020 gültig gewesen wären. Das bedeutet, dass auch die Ergebnisse für 2019 mit Abschlagsfaktoren belegt werden.

Die Ergebnisse der Expertenrunde in Form prozentualer Abschläge, welche in Tabelle 6 aufgelistet werden, sind in Bild 16 nochmals visualisiert.

Den Veränderungsfaktoren liegen dabei folgende Überlegungen zugrunde:

- Die Aufnahme neuer Tests in das Testprogramm wird durch die hierfür zusätzlich erreichbaren Punkte abgedeckt. Insbesondere bei Systemen der Aktiven Sicherheit wird angenommen, dass Systeme vor Einführung des zugehörigen Tests in Euro NCAP in den bewerteten Modellen nicht oder nur ganz vereinzelt vorhanden waren. Diese werden somit mit 0 Punkten bewertet. So wurden die Systeme Spurassistent und Notbremsassistent erst 2014 in das Testprogramm aufgenommen (siehe Tabelle 5 bzw. Tabelle 29). Da diese Systeme vor 2014 nur in einigen wenigen Modellen der Oberklasse mit einem sehr geringen Anteil am Gesamtfahrzeugbestand verbaut waren<sup>34</sup>, dürfte ein Einschluss dieser Systeme in die Bewertungen vor 2014 (mit dann 0 Punkten) mit einem nur geringen Fehler behaftet sein.
- Aufhebung von Tests: Für das System ESC werden seit 2016 keine Punkte mehr vergeben, weil es seitdem keine Neufahrzeuge ohne dieses System gibt. Dies wird dadurch berücksichtigt, dass ab dem Testjahr 2016 dem Testergebnis drei fiktive Punkte für ESC zugeschlagen wer-

<sup>34</sup> Zur Marktdurchdringung von Fahrzeugsicherheitssystemen im Bestand (Jahr 2013) vgl. FOLLMER et al. 2015.

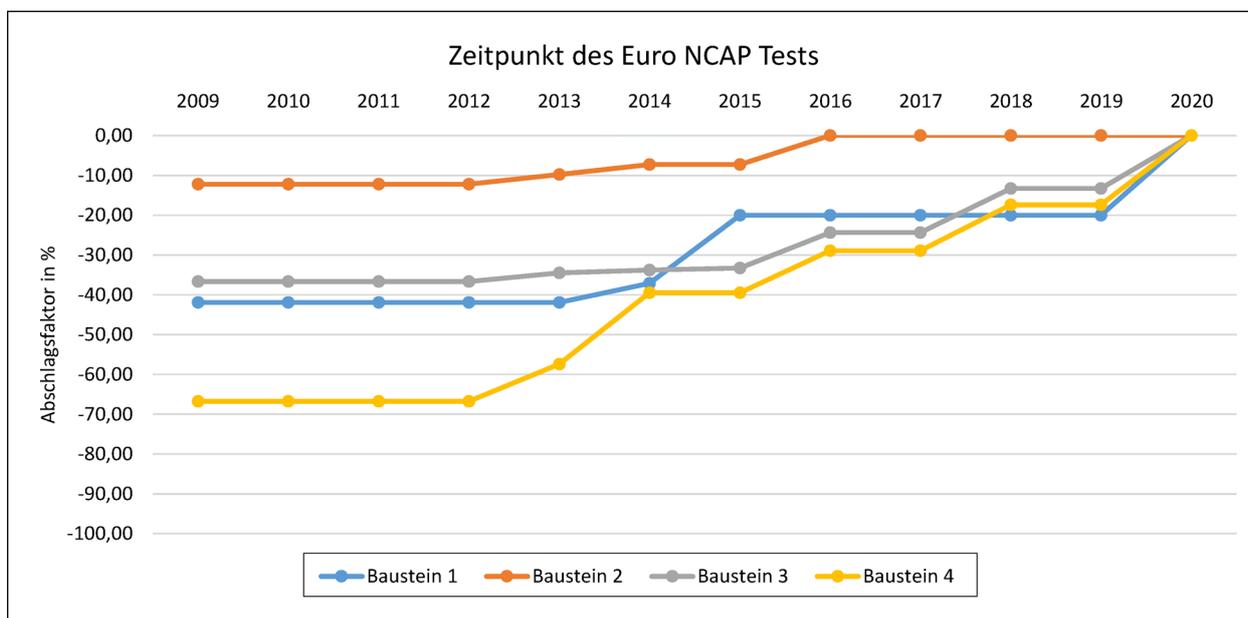


Bild 16: Ergebnis der Expertenbewertung der Euro NCAP-Protokolländerungen seit 2009 (Referenzjahr 2020)

den (rot markiert in Tabelle 29). Dasselbe gilt zukünftig auch für das System AEB City (4 fiktive Punkte ab 2020).

- Der Verschärfung bestehender Tests wurde durch prozentuale Abschlagsfaktoren (Expertenurteil) auf die Einzel-Testergebnisse der jeweiligen Jahre (je nach Zeitpunkt der Protokolländerung) Rechnung getragen.

Die konkrete Berechnung der in Bild 16 dargestellten Werte erfolgt nach dem in Tabelle 29 detailliert aufgelisteten Berechnungsschema. Hierbei werden zunächst je Baustein und Testjahr die testspezifischen Abschläge mit dem erreichbaren Punktwert für den jeweiligen Test gewichtet. Durch Summation über alle Tests des Bausteins ergibt sich pro Testjahr ein neuer maximal erreichbarer Gesamtpunktwert (Adjusted max. Score). Diese Werte werden schließlich pro Baustein auf die maximal erreichbare Punktezahl im Jahr 2020 bezogen (max. Points Referenz 2020), woraus sich dann die dargestellten Veränderungsfaktoren ergeben (Abwertung in % insgesamt).

Diese Abschlagsfaktoren können dann wie in Kapitel 3.2 beschrieben auf den Anteil erreichter Punkte (sog. Prozentwert) angewendet werden, um damit abzuschätzen zu können, wie die zwischen 2009 und 2019 getesteten Modelle unter den 2020 geltenden Testkriterien und Testbedingungen abgeschnitten hätten.



## Schriftenreihe

### Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

#### Unterreihe „Fahrzeugtechnik“

#### 2015

F 100: **Verhaltensbezogene Kennwerte zeitkritischer Fahrmanöver**  
Powelleit, Muhrer, Vollrath, Henze, Liesner, Pawellek € 17,50

F 101: **Altersabhängige Anpassung von Menschmodellen für die passive Fahrzeugsicherheit**  
Wagner, Segura, Mühlbauer, Fuchs, Peldschus, Freßmann € 19,00

F 102: **6th International Conference on ESAR „Expert Symposium on Accident Research“**  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 103: **Technische Möglichkeiten für die Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen von Nutzfahrzeugen**  
Süßmann, Lienkamp  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 104: **Abbiege-Assistenzsystem für Lkw – Grundlagen eines Testverfahrens**  
Schreck, Seiniger € 14,50

F 105: **Abgasverhalten von in Betrieb befindlichen Fahrzeugen und emissionsrelevanten Bauteilen – Feldüberwachung**  
Schmidt, Georges € 14,50

F 105b: **Examination of pollutants emitted by vehicles in operation and of emission relevant components – In-service conformity**  
Schmidt, Johannsen  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 106: **Untersuchung des Abgasverhaltens von in Betrieb befindlichen Fahrzeugen und emissionsrelevanten Bauteilen – Austauschkatalsatoren**  
Schmidt, Johannsen € 13,50

F 106b: **Examination of pollutants emitted by vehicles in operation and of emission relevant components – Replacement catalytic converters**  
Schmidt, Johannsen  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 107: **Sicherheitsaspekte beim Laden von Elektrofahrzeugen**  
Vogt, Link, Ritzinger, Ablingyte, Reindl € 16,50

F 108: **Interoperabilität zwischen öffentlichem Verkehrsmanagement und individuellen Navigationsdiensten – Maßnahmen zur Gewährleistung**  
von der Ruhren, Kirschfink, Ansorge, Reusswig, Riegelhuth, Karina-Wedrich, Schopf, Sparmann, Wöbbeking, Kannenberg € 17,50

F 109: **Ermittlung des Umfangs von Abweichungen bei Durchführung der Abgasuntersuchung zwischen Messung am Auspuff und Abfrage des On-Board-Diagnosesystems**  
Schröder, Steickert, Walther, Ranftl  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 110: **Wahrnehmung und Bewertung von Fahrzeugaußengeräuschen durch Fußgänger in verschiedenen Verkehrssituationen und unterschiedlichen Betriebszuständen**  
Altinsoy, Landgraf, Rosenkranz, Lachmann, Hagen, Schulze, Schlag  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 111: **Geräuschminderung von Dünnschichtbelägen**  
Schulze, Kluth, Ruhnau, Hübelt  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

#### 2016

F 112: **Ersatz von Außenspiegeln durch Kamera-Monitor-Systeme bei Pkw und Lkw**  
Schmidt, Hoffmann, Krautscheid, Bierbach, Frey, Gail, Lotz-Keens € 17,50

F 112b: **Final Report Camera-Monitor-Systems as a Replacement for Exterior Mirrors in Cars and Trucks**  
Schmidt, Hoffmann, Krautscheid, Bierbach, Frey, Gail, Lotz-Keens  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 113: **Erweiterung der Software TREMOD um zukünftige Fahrzeugkonzepte, Antriebe und Kraftstoffe**  
Bergk, Heidt, Knörr, Keller € 15,50

F 114: **Barrierefreiheit bei Fernlinienbussen**  
Oehme, Berberich, Maier, Böhm € 17,50

F 115: **Statischer und dynamischer Fahrsimulator im Vergleich – Wahrnehmung von Abstand und Geschwindigkeit**  
Frey  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

#### 2017

F 116: **Lang-Lkw – Auswirkung auf Fahrzeugsicherheit und Umwelt**  
Süßmann, Förg, Wenzelis  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 117: **7th International Conference on ESAR „Expert Symposium on Accident Research“ – Reports on the ESAR-Conference 2016 at Hannover Medical School**  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 118: **Bedeutung kompensativer Fahrerstrategien im Kontext automatisierter Fahrfunktionen**  
Voß, Schwalm € 16,50

F 119: **Fahrzeugtechnische Eigenschaften von Lang-Lkw**  
Förg, Süßmann, Wenzelis, Schmeiler  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 120: **Emissionen von über 30 Jahre alten Fahrzeugen**  
Steven, Schulte, Hammer, Lessmann, Pomsel  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 121: **Laufleistungsabhängige Veränderungen der CO<sub>2</sub>-Emissionen von neuen Pkw**  
Pellmann, Schmidt  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

## 2018

**F 122: Revision der Emissionsmodellierung für leichte Nutzfahrzeuge – Bedarfsanalyse auf Basis einer Vorstudie**  
Auf der Maur, Strassburg, Knörr, Heidt, Wuethrich  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

**F 123: Motorradsschutzhelme – Identifizierung ihres Verbesserungspotenzials unter Berücksichtigung des Motorradunfallgeschehens**  
Pollak, Schueler, Bourdet, Deck, Willinger € 19,50

**F 124: Aufbau eines Qualitätsmanagementsystems für die Erfassung und Weiterverarbeitung von Daten für IVS-Dienste**  
Heinrich, Pollesch, Schober, Stamatakis, Grzebellus, Radike, Schneider, Stapelfeld, Huber  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

**F 125: Untersuchung zu Elektrokleinstfahrzeugen**  
Bierbach, Adolph, Frey, Kollmus, Bartels, Hoffmann, Halbach € 19,50

## 2019

**F 126: Einfluss zunehmender Fahrzeugautomatisierung auf Fahrkompetenz und Fahrkompetenzerwerb**  
Weißgerber, Grattenthaler, Hoffmann € 15,50

**F 127: Erhöhung der Verkehrssicherheit älterer Kraftfahrer durch Verbesserung ihrer visuellen Aufmerksamkeit mittels „Sehfeldassistent“**  
Kupschick, Bürglen, Jürgensohn € 16,50

**F 128: Potenzieller gesellschaftlicher Nutzen durch zunehmende Fahrzeugautomatisierung**  
Rösener, Sauerbier, Zlocki, Eckstein, Hennecke, Kemper, Oeser  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

**F 129: Anforderungen an die dynamische Leuchtweitenregelung zur Vermeidung der Blendung entgegenkommender Verkehrsteilnehmer**  
Kosmas, Kobbert, Khan € 15,50

**F 130: Infrastrukturbedarf automatisierten Fahrens – Grundlagenprojekt**  
Dierkes, Friedrich, Heinrich, Hoffmann, Maurer, Reschka, Schendzielorz, Ungureanu, Vogt  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

**F 131: Fahrerassistenz- und Fahrerinformationssysteme (FAS/FIS) – Personale Voraussetzungen ihres Erwerbs und Nutzung durch ältere Kraftfahrerinnen und -fahrer**  
Hargutt, Kenntner-Mabiala, Kaussner, Neukum  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

## 2020

**F 132: Handbuch Barrierefreiheit im Fernbuslinienverkehr**  
Boenke, Grossmann, Nass, Schäfer € 17,50

**F 133: Lkw-Notbremsassistentensysteme**  
Seiniger, Heini, Bühne, Gail € 15,50

**F 134: Stationär-Geräusch von elektrisch angetriebenen Fahrzeugen**  
Altinsoy, Lachmann, Rosenkranz, Steinbach € 19,00

**F 135: Abweichungen von der akzeptierten Fahrleistungsschwelle in automatisierten Fahrsituationen**  
Voß, Schwalm € 18,00

## 2021

**F 136: Kamera-Monitor-Systeme als Fahrerinformationsquelle**  
Leitner, Oehme, de Silva, Blum, Berberich, Böhm  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

**F 137: Konzept für die Erzeugung eines ISO-konformen UML-Modells und Generierung eines GML-Applikationsschemas für DATEX II zur Verbesserung der Interoperabilität**  
Lauber, Steiger, Kopka, Lapolla, Freudenstein, Kaltwasser  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

**F 138: Grundlagen zur Kommunikation zwischen automatisierten Kraftfahrzeugen und Verkehrsteilnehmern**  
Schaarschmidt, Yen, Bosch, Zwickert, Schade, Petzold € 16,50

**F 139: Einfluss von Notbremsystemen auf die Entwicklung von Lkw-Auffahrunfällen auf Bundesautobahnen**  
Straßgütl, Sander € 14,50

**F 140: Reibwertprognose als Assistenzsystem**  
Leschik, Sieron, Gregull, Müller, Trapp, Brandenburg, Haalman, Terpstra  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

**F 141: Methoden für die Bewertung der Mensch-Maschine-Interaktion beim teilautomatisierten Fahren**  
Schömig, Wiedemann, Julier, Neukum, Wiggerich, Hoffmann € 18,00

**F 142: Schräglagenangst**  
Scherer, Winner, Pleß, Will, Neukum, Stanglmayr, Bäumler, Siebke, Prokop € 14,50

## 2022

**F 143: Unfallverletzungen in Fahrzeugen mit Airbags**  
Holtz, Heidt, Müller, Johannsen, Jänsch, Hammer, Büchner  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

**F 144: Entwicklung eines Verfahrens zur Generierung eines Safety Performance Indikators aus der Bewertung von Euro NCAP**  
Bäumer, Hautzinger, Pfeiffer  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

---

Fachverlag NW in der Carl Ed. Schünemann KG  
Zweite Schlachtpforte 7 · 28195 Bremen  
Tel.+(0)421/3 69 03-53 · Fax +(0)421/3 69 03-48

Alternativ können Sie alle lieferbaren Titel auch auf unserer Website finden und bestellen.

[www.schuenemann-verlag.de](http://www.schuenemann-verlag.de)

Alle Berichte, die nur in digitaler Form erscheinen, können wir auf Wunsch als »Book on Demand« für Sie herstellen.