

# Fahrleistungs- erhebung 2014 – Inlandsfahrleistung und Unfallrisiko

Berichte der  
Bundesanstalt für Straßenwesen

Verkehrstechnik Heft V 291

The logo consists of the word "bast" in a bold, lowercase, green sans-serif font. The letters are slightly shadowed, giving it a 3D appearance. The logo is positioned in the bottom right corner of the page, partially overlapping a vertical white line that runs down the right side of the cover.

# Fahrleistungs- erhebung 2014 – Inlandsfahrleistung und Unfallrisiko

von

Marcus Bäumer  
Heinz Hautzinger  
Manfred Pfeiffer  
Wilfried Stock

IVT Research GmbH, Mannheim

Barbara Lenz  
Tobias Kuhnimhof  
Katja Köhler

Institut für Verkehrsforschung  
DLR, Berlin

**Berichte der  
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Verkehrstechnik Heft V 291

**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 Öffentlichkeitsarbeit.

Die Hefte der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen** können direkt bei der Carl Schünemann Verlag GmbH, 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 Öffentlichkeitsarbeit.

Ab dem Jahrgang 2003 stehen die **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen (BAST)** zum Teil als kostenfreier Download im elektronischen BAST-Archiv ELBA zur Verfügung.  
<http://bast.opus.hbz-nrw.de>

## Impressum

**Bericht zum Forschungsprojekt FE 82.0584/2013:**  
Fahrleistungserhebung 2014: Begleitung und Auswertung

**Fachbetreuung:**  
Markus Lerner

**Herausgeber**  
Bundesanstalt für Straßenwesen  
Brüderstraße 53, D-51427 Bergisch Gladbach  
Telefon: (0 22 04) 43 - 0  
Telefax: (0 22 04) 43 - 674

**Redaktion**  
Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit

**Druck und Verlag**  
Fachverlag NW in der  
Carl Schünemann Verlag GmbH  
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 0943-9331  
ISBN 978-3-95606-337-4

Bergisch Gladbach, August 2017

## Kurzfassung – Abstract

### **Fahrleistungserhebung 2014 – Inlandsfahrleistung und Unfallrisiko**

Die Schätzung der Fahrleistung von Kraftfahrzeugen auf dem deutschen Straßennetz 2014 (Inlandsfahrleistung) basiert auf einer bundesweiten, automatisierten Verkehrszählung an 520 zufällig ausgewählten Straßenabschnitten während jeweils etwa 24 Stunden. In der Verkehrszählung werden alle Tages- und Jahreszeiten abgedeckt. Die Stichprobe der Straßenabschnitte ist nach Straßenklasse und Ortslage (inner-/außerorts) geschichtet, dabei werden alle Straßenklassen in der Erhebung berücksichtigt. Mithilfe der Abschnittslängen werden die empirisch erhobenen Verkehrsstärkewerte in Fahrleistungen transformiert und auf die Grundgesamtheit aller Abschnitte, d. h. das gesamte Straßennetz und das Gesamtjahr 2014 hochgerechnet. Durch den kombinierten Einsatz von Detektoren und Videotechnik liegen die gezählten Verkehrsstärken nach Fahrzeugart und -nationalität untergliedert vor, sodass Fahrleistungen für 9 Fahrzeugarten („8+1-Messung“) und 38 Nationalitäten geschätzt werden können.

Der Totalwert der Inlandsfahrleistung wird für das Jahr 2014 auf 743,82 Mrd. Fahrzeugkilometer (Fzgkm) geschätzt. Rund 81 % der Inlandsfahrleistung (ca. 601 Mrd. Fzgkm) entfallen auf Personenkraftwagen bzw. Pkw mit Anhänger. Die zweithöchste Fahrleistung findet sich bei Lieferwagen mit 51,8 Mrd. km. Im Schwerverkehr dominieren die Sattelzüge mit 26,2 Mrd. km. Aus der Hochrechnung der Daten der Verkehrszählung ergibt sich für 2014 ein Totalwert der Fahrleistung ausländischer Kraftfahrzeuge auf dem deutschen Straßennetz von knapp 42 Mrd. Fahrzeugkilometern. Der Ausländeranteil an der Inlandsfahrleistung 2014 liegt damit bei 5,6 %. Im Jahr 2002 lag die km-Summe der ausländischen Kfz auf dem deutschen Straßennetz noch bei 27,4 Mrd. km. Der aktuelle Wert von 41,8 Mrd. km entspricht somit einem Zuwachs um 53 %.

Werden die amtlichen Unfallzahlen aus dem Jahr 2014 auf die entsprechenden Jahrestotale der Fahrleistungen von Kraftfahrzeugen bezogen, so lassen sich dadurch Risikokennziffern berechnen. Zum einen ist dies das Risiko der Unfallbeteiligung von Kraftfahrzeugen und zum anderen das Risiko von Kraftfahrzeugbenutzern, bei einem Unfall ver-

letzt oder getötet zu werden. Beide Risikokennziffern lassen sich weiter nach Fahrzeuggruppe und Unfallschwere bzw. Verletzungsschwere differenzieren. Hierbei zeigt sich, dass Busse und vor allem motorisierte Zweiräder ein besonders hohes Risiko aufweisen.

Eine Unterscheidung nach Straßenklasse erlaubt die Schlussfolgerung, dass die Unfallrisiken auf Bundesautobahnen mit Abstand am niedrigsten sind.

Ein Vergleich der Unfallrisikokennziffern des Jahres 2014 mit denjenigen aus dem Jahr 2002 zeigt, dass zum Teil deutliche Verringerungen festzustellen sind. So ist die Gefahr einer Beteiligung an einem Unfall mit Personenschaden über alle Kraftfahrzeuge um 26 % zurückgegangen. Sogar noch stärker ist das Risiko gesunken, als Fahrzeugbenutzer in einem Straßenverkehrsunfall verletzt oder gar getötet zu werden (-29 %).

### **German vehicle mileage survey 2014 – Kilometers travelled in Germany and accident risk**

In order to estimate the vehicle kilometers travelled (VKT) by all motor vehicles on the German road network in 2014 a new method was developed and applied. Basically, the method consists of automatic traffic counts which took place on 520 randomly chosen roads sections all over Germany. In the traffic counts all times of the day and all seasons are covered. The sample of road sections is stratified by road class and location (within/outside built-up areas); all road classes are considered in the survey. By using road section length, traffic counts were transformed into km travelled and expanded to the target population of all road sections. The numbers of vehicles counted can be differentiated with respect to type and nationality of the vehicle. Therefore, km travelled can be calculated for 9 types of vehicles and 38 nationalities.

The annual total VKT is estimated to be 743,800 million vehicle km. Approximately 81% (601,000 million vehicle km) are related to passenger cars followed by vans (51,800 million km) and semi-trailer trucks (26,200 million km). The annual total VKT of foreign motor vehicles on the German road



network amounts to 41,800 million vehicle km (5,6% of all km travelled). Since 2002 the VKT of foreign motor vehicles on German roads has increased by 53%.

By relating the official accident data for 2014 to the corresponding annual totals VKT of motor vehicles it is possible to calculate risk indices (the risk of being involved in an accident involving personal injury, and the injury risk of vehicle users). Both types of risk figures can be classified according to vehicle type and accident or injury severity. With respect to vehicle type it appears that buses and especially powered two-wheelers have a particularly high risk. An analysis of the data broken down by road category shows that by far the lowest accident risk can be found on motorways (Bundesautobahn).

A comparison of the 2014 risk indices with those from 2002 shows a considerable decline. The risk of being involved in an accident involving personal injury has decreased by a total of 26%. Moreover, the risk for vehicle users of being injured or killed in a road accident even has declined by 29%.

## Summary

### German vehicle mileage survey 2014 – Kilometers travelled in Germany and accident risk

#### 1 Objective

One significant variable for transportation planning as well as emissions calculations is the domestic vehicle kilometers traveled (VKT), i.e. the kilometers traveled by all motor vehicles (independent of their nationality) on the German road network in a year. Concepts for estimating VKT in the territory of the Federal Republic of Germany that were used in the past, such as border crossing surveys, are no longer applicable due to changes in the relevant legal context. The goal of the study was to estimate the domestic VKT – as an overall total and broken down by vehicle groups and subsegments of the road network – based on a nationwide traffic count conducted explicitly for this purpose. In particular, the study also aimed to enable a differentiation of kilometers traveled by the nationality of the vehicle.

Another objective of the study was to calculate accident risk indices based on the determined VKT values by applying the official accident figures from 2014 to the respective annual totals for vehicle kilometers traveled by motor vehicles on German roads. This includes the risk of a vehicle being involved in an accident involving personal injury as well as the risk of vehicles users being injured or killed in an accident.

#### 2 Methodology

The traffic count conducted as part of the FLE 2014 was intended to provide

- results for all combinations of road class and location, based from a methodological standpoint on a
- random sample of locations and times of traffic observation.

Like the entire road network, the traffic count also aimed to cover the entire calendar year.

The prerequisite for conducting such a survey is an elaborated sampling concept in conjunction with a

suitable frame for drawing a random sample of count locations. For the latter task, digital road network models, in which the entire road network can be broken down into numerous sections of equal length, were used. From this totality of road sections (traffic direction sections), a random sample can be drawn where the section midpoints represent the locations of the traffic counts. A total of 520 count locations and count days were selected.

As the study period encompasses an entire year and the count applies to the entire German road network, a simple random sample of locations and times would be expected to result in a strong spatial-temporal dispersion of the survey units and, associated with that, organizational problems and high survey costs. For this reason, a “territory-week sample” approach was selected. The approach involves a two-step selection procedure in which the first step (primary selection) selects combinations of territory units and survey periods. The federal territory was divided into 402 districts (date: 12/31/2011) and the survey year into 26 two-week survey periods (fortnights). The selection units of the 1st step (primary units) are therefore combinations of the type “district x fortnight.” To ensure coverage of the entire survey year, the primary selection was designed as a stratified sample, where the district type (2 types) and number of the fortnight (1-26) served as characteristics for stratification. The categorization of the districts is done according to proximity to the border (with/without border to other country). From each of the  $2 \times 26 = 52$  strata (i.e. per combination of district type and fortnight number), 1 primary unit was selected randomly (52 independent drawings of 1 district-fortnight). Altogether the sample of the primary units therefore consists of  $n = 52$  district-fortnights. The decision in favor of 1 primary unit per stratum was based on the idea that the study year should be covered evenly (fortnights) and that districts both far from and near borders should be adequately represented, but not least also on the fact that only 2 survey teams could be deployed simultaneously.

Within the selected primary unit, a random selection of “road section days”, i.e. combinations of the type “road section x calendar day” (secondary selection) was then to be made. Here, the characteristics road class and location were used as the characteristics for stratification. Thus, within each primary unit, 9 strata of secondary units were formed. For each

selected primary unit, a random selection of 1 road section day was made from each of the 9 strata of secondary units (on federal motorways 2 road section days). This resulted in a total sample of 10 road section days for each selected district-fortnight.

The counts were conducted by way of automated observation of the flowing traffic at the randomly selected locations (traffic direction sections) and days (number plate recording via video camera and recording of 8+1 vehicle types via side or overhead radar detector). At each selected section, the count was to continue over a period of (at least) 24 hours, although for organizational reasons the survey time interval did not necessarily have to be between midnight-midnight of the following day.

The sample expansion of the count data was done in three steps:

1. Expansion of the empirical vehicle kilometers traveled data (product of observed traffic volume and section length) – categorized by road class/location combinations – within the randomly selected district-fortnights (estimation functions of the second level: estimation of cluster total values of vehicle kilometers traveled based on individual empirical values).
2. Expansion of the estimation results for each selected district-fortnight – categorized by road class/location combinations – for the respective combination of district type and fortnight number (estimation functions of the first level: estimation of stratum total values of vehicle kilometers traveled based on estimated cluster total values).
3. Aggregation of the vehicle kilometers traveled estimates – categorized by road class/location combinations – across all combinations of district type and fortnight number according to the method of ratio estimation for stratified samples, where the road section length serves as an auxiliary variable (estimation of overall total VKT values based on estimated cluster total values for the analysis variable and known stratum and overall total values for the auxiliary variable).

Moreover, in a final step of post-stratification, a structural adjustment was made to ensure that the sample distribution of the road section hours corresponded to the population distribution with

regard to the characteristics weekday and hour-of-day interval.

To estimate error variances, a subsampling method (replicated subsampling due to DEMING) was used.

### 3 Study results

The annual total domestic VKT is estimated to be 743,800 million vehicle km. If, applying the subsampling method, a 95% confidence interval is calculated for the total value of VKT (total of all vehicle types and road classes), the relative standard error (standard error relative to the point estimate value) of 9.7% comes in rather high, which, however, is due to the comparatively small sample. For the year 2002, the estimated value for VKT was a total of 703.3 billion vehicle kilometers traveled. This amounts to a rise of 5.8% and thus an average annual increase of roughly 0.5%.

At 228.3 billion km, most of the kilometers were clocked on the federal motorway (Bundesautobahn or BAB) network; proportionally, this amounts to roughly 31% of the total VKT. The VKT values for the other road classes are as follows:

- Bundesstrasse (federal road): 168.9 billion VKT,
- Landesstrasse (state road): 137.3 billion VKT,
- Kreisstrasse (county road): 72.0 billion VKT,
- Other roads: 137.3 billion VKT.

Noteworthy here is the relatively high VKT value for the “other” road network, at 137 billion kilometers. This is due to the enormous network length of “other” roads, which in spite of the, in some cases, very low traffic volumes on the measured sections, nevertheless results in a relatively high overall VKT figure.

With respect to location, 324 billion km are driven on the non-urban road network (not incl. BAB) and 191.5 billion km on the urban road network. This results in a distribution of BAB : non-urban : urban of 1 : 1.42 : 0.84, i.e. the non-urban VKT (not incl. BAB) is roughly 40% higher than the VKT on federal motorways (Autobahn). Looking at the ratio of non-urban to urban VKT for the individual road classes, the VKT in the individual categories of the classified road network is significantly higher for non-urban roads than urban ones (e.g. federal road: 119.7 vs. 49.1 billion km). In the “other” road category, by

contrast, the urban and non-urban VKT figures are roughly equivalent.

Approximately 81% (601,000 million vehicle km) are related to passenger cars. The second-highest VKT is related to delivery trucks, at 51.8 billion vehicle kilometers traveled. In heavy traffic, semi-trailers dominate with 26.2 billion vehicle kilometers.

- Powered two-wheelers: 17.5 bn VKT,
- Passenger vehicles: 586.2 bn VKT,
- Passenger vehicles with trailer: 14.8 bn VKT,
- Delivery vehicles: 51.8 bn VKT,
- Other motor vehicles: 3.8 bn VKT,
- Buses: 4.5 bn VKT,
- Trucks w/o trailer: 22.4 bn VKT,
- Trucks w. trailer: 16.6 bn VKT,
- Semi-trailers: 26.2 bn VKT.

Here it must be noted that the total VKT value of motorized two-wheelers was adjusted based on the corresponding values from the 2014 vehicle owner survey due to assumed underestimation in the FLE traffic count.

If one combines the vehicle types for the two categories light and heavy traffic, the heavy traffic proportion of vehicle kilometers traveled in 2014 came to roughly 9.4% (69.8 bn VKT). In the FLE 2002, the total value was 50.8 billion km, which signifies an increase of 37.5%. As expected, at 15.6% the highest share of heavy traffic in the VKT took place on the federal motorways, with a total value of 35.67 billion vehicle kilometers traveled.

In an aggregation of the vehicle kilometers traveled for the individual vehicle groups in the two categories of passenger and goods transport, the goods transport share (semi-trailers, trucks with and without trailer, delivery vans and other trucks) was 16.2% (120.8 billion km). A comparison with the VKT in 2002 shows the most marked increase in the goods transport category. The respective VKT was estimated at 84.9 billion vehicle kilometers traveled. In relation to the value for 2014, the result is an increase of some 42% (passenger transport: +0.7%).

Of these 84.9 billion km (2002), 46.7 billion km were recorded by trucks over 3.5 metric tons of permissible mass (zGM) and tractor units, and 34.7 billion km by trucks up to 3.5 metric tons of

permissible mass. In the present study, the vehicle kilometers traveled by trucks (with and without trailers) and semi-trailers comes to 63.5 billion km and by delivery vans 51.8 billion. Although the comparability with 2002 is not precise due to the different vehicle group delineations, with large trucks and semi-trailers there was an increase of just under 40% over 2002 and roughly 49% for small trucks and delivery vans. The latter may also be related to the substantial increase in online retailing and the associated delivery traffic. One qualifying statement is warranted in this regard: in the 8+1 measurement of 2014, the vehicle kilometers traveled for delivery vans also included motorhomes.

Based on the expansion of the collected count data, the total 2014 value for vehicle kilometers traveled by foreign vehicles on the German road network was approximately 42 billion vehicle kilometers. In 2002 the km total for foreign motor vehicles on the German road network was 27.4 billion km. The current value of 41.8 billion km represents an increase of 53%. Broken down by passenger and goods transport, the passenger transport increase was roughly 23% (from 19.2 to 23.7 billion km) while goods transport vehicle kilometers traveled more than doubled between 2002 and 2014 (from 8.2 to 18.1 billion km).

The nations with the highest vehicle kilometers traveled on German roads are Poland (10.9 billion km), the Netherlands (5.2 billion km), Czech Republic (3.2 billion km) and Austria (3.1 billion km).

The total foreign share of VKT in 2014 was 5.6%. With respect to the road class, at 12.4% the highest foreign share was on federal motorways. At 28.3 billion km, some two-thirds of the vehicle kilometers traveled by foreign vehicles in Germany took place on federal motorways (Autobahns).

Looking at the share of foreign vehicles in the overall vehicle kilometers traveled, there were also quite significant differences between the vehicle types. For both trucks with trailers and semi-trailers, over 25% of the vehicle kilometers traveled were recorded by vehicles registered abroad. The lowest foreign share was posted by passenger vehicles at 3.5%. But because passenger vehicles made up the lion's share of the overall vehicle kilometers traveled, in absolute numbers the VKT of foreign passenger cars was relatively high: At 20.8 billion km, roughly half of all vehicle kilometers driven by foreign vehicles on German roads in 2014 were done by passenger vehicles.



With the exception of motorcycles, the foreign share of VKT on federal motorways is higher for all vehicle types than on the network as a whole. Noteworthy in this regard are buses, for which the foreign share on BAB, at 21%, is nearly four times higher than their overall share. Coming in at 41%, the highest foreign share was held by semi-trailers; with passenger vehicles, 7.7% of vehicle kilometers traveled on German federal motorways were driven by passenger vehicles with foreign registrations. Grouping passenger vehicles and passenger vehicles with trailers, the foreign share on BAB was 7.9%.

The sample design of the FLE traffic count allows for temporal breakdowns of the VKT totals, in particular with regard to weekly and daily values. Regarding the day of the week, Wednesdays and Fridays emerged as the days with the highest vehicle kilometers traveled (roughly 122 billion km each). On weekends and in particular on Sundays (roughly 80 billion km), by contrast, a substantially lower VKT total was determined. The situation was somewhat different on the federal motorways, where Fridays posted the highest vehicle kilometer figures by some margin (39 billion km). Saturdays on BAB showed similarly high VKT totals as the weekdays Monday through Thursday, while Sundays came in with the lowest total at just under 28 billion km.

With regard to the time of day, i.e. the share of VKT occurring at a given hour of the day, results showed a slight traffic increase over the course of the day after the morning traffic peak. The maximum vehicle kilometers traveled were found to be between 4 pm and 6 pm in the afternoon. The vehicle type-based graphs show, for example, that motorized two-wheelers are more frequently on the road during daylight than other vehicle groups. They showed the lowest VKT shares in the early morning and late evening hours. In the first hours of the day (midnight to 5 am), it was primarily trucks with trailers and semi-trailers on the roads.

With regard to the risk indices, they are broken down not only by the characteristics used for the classification of vehicle kilometers traveled, but also by the accident causation status of the vehicle drivers. Moreover, risk indices are calculated by accident category (most severe consequence of the accident) and severity of the injury of the vehicle user, respectively.

Overall the risk of involvement in an accident for motor vehicles was 622 motor vehicles/1 billion

vehicle kilometers traveled. Comparing the total values for the individual road classes, it appeared that the federal motorways were the safest roads, while the highest accident involvement risk was found for the "other" roads. The latter showed a very high risk of involvement in the urban context in particular. For all road classes, the risk of involvement was significantly higher on urban roads than on non-urban roads. This also applied to accidents with slightly and severely injured persons, though not for accidents with fatalities: in this case – with the exception of the "other" road category – the risk in non-urban areas was 2 to 2.5 times higher than in urban areas, which is presumably due to the higher speeds involved.

The breakdown of the risk indices by vehicle type showed the known phenomenon of a high risk of accident involvement for motorized two-wheelers. Compared to the total value for all vehicle types (622 motor vehicles/1 bn km), the risk here was more than four times higher (2,673 motor vehicles/1 bn km). Buses and other vehicles also came in significantly above the average, largely irrespective of the accident category. The overall risk of accident involvement was comparatively low for trucks and semi-trailers, although semi-trailers, like buses, showed a significantly above-average risk of being involved in an accident, with fatalities at 13 motor vehicles/1bn km (for all vehicle groups the risk of involvement in an accident with fatalities was 7 motor vehicles/1 bn km).

Compared to foreign vehicles, German motor vehicles showed a substantially higher risk of being involved in an accident with severe or minor injuries. There was no difference with respect to accidents with fatalities. Overall the absolute accident involvement risk was 643 (German vehicles) and 276 motor vehicles/1 bn km (foreign vehicles), respectively. This result may also reflect a tendency on the part of drivers to drive somewhat more cautiously when abroad. The chief explanation here, however, is presumably structural effects (higher heavy traffic and federal motorway shares for foreign motor vehicles).

In terms of the day of the week, however, the structures manifested differently depending on the accident category. With regard to accidents with fatalities and severe injuries, the risk of involvement was highest on Saturdays and Sundays. For accidents with minor injuries the results were the exact opposite, i.e. weekends showed an increased

risk for severe accidents. This may be related to higher driving speeds (little heavy traffic) and a different driving purpose structure (disco accidents) in conjunction with increased occurrence of drives under the influence of alcohol or drugs. Similar explanation patterns applied for the time-of-day differences, where the risk of involvement in accidents involving personal injuries was significantly higher in the nighttime and morning hours. It can be assumed that risk factors such as darkness and fatigue play a significant role here. The lowest risk of severe injuries was found in the morning. The risk of involvement in an accident with fatalities between 1 am and 2 am, for example, is roughly four times higher than in the morning between 8 am and 9 am.

With regard to the casualty rate, in 2014 378 motor vehicle users were injured or killed per 1 billion vehicle kilometers traveled. The casualty rate is therefore substantially below the rate of accident involvement, which can be traced back to the fact that a certain share of cases of accident involvement are due not to single-vehicle accidents or collisions between motor vehicles, but to accidents with pedestrians or cyclists in which the overwhelming majority of casualties – injuries or fatalities – occur to the non-motorized party in the accident. This interpretation is supported by the fact that the casualty rates in urban centers are significantly lower than the accident involvement rates, while in non-urban areas there is scarcely any difference. With regard to the individual road classes, the federal motorways again emerged as the safest roads in terms of casualty rates as well (136 casualties/1 bn VKT). The next-safest roads were the federal roads, where the risk of injury as a motor vehicle user is nearly three times higher than on federal motorways.

As with the accident involvement rate, the highest casualty rate among all vehicle groups was again found among motorized two-wheelers (2,683 casualties/1 bn VKT). Their casualty rate scarcely differed from the accident involvement rate, which means that users of motorized two-wheelers were highly likely to sustain an injury if involved in an accident involving personal injury (incl. fatalities). The second-highest overall risk of injury was found for bus occupants (1,270 casualties/1 bn VKT), which is plausible due to the high average occupancy rate for buses. Unlike with the accident involvement rate, however, buses did not stand out in terms of accidents involving fatalities. This

applied in equal measure to semi-trailers, i.e. buses and semi-trailers showed an above-average risk of involvement in accidents with fatalities (see above), but the fatalities tended to be suffered by the respective other party to the accident.

As regards nationality, the structures in terms of risk of injury are very similar to those of the accident involvement risk. The users of motor vehicles registered in Germany showed a significantly higher risk of a severe or minor injury than the occupants of vehicles with foreign registrations. With fatalities, however, there was no difference. Overall the casualty rate was 391 (German vehicles) and 161 casualties/1 bn VKT (foreign vehicles), respectively. Here again, structural differences (divergent proportions of federal motorway and heavy traffic participation for German and foreign vehicles) were responsible for the differences.

The breakdown of the casualty rate by day of the week showed an increased risk on Saturdays and Sundays. The total number as well as the casualty rate in terms of fatalities and minor injuries were highest on Saturdays. The causes were presumably to be found in the differing traffic composition compared to weekdays (more passenger vehicles, less truck VKT), where the occupancy rate for passenger vehicle traffic is higher on weekends (leisure traffic), which naturally affects the number of casualties. In a final look at the casualty rates at different times of day, the study found very similar structures as for the accident involvement risk, i.e. a substantially higher risk in the late evening and early morning hours (10 pm to 5 am).

A comparison with the results from 2002 shows that between 2002 and 2014, the risk of accident involvement for motor vehicles participating in road traffic in Germany substantially declined (-26%). Moreover, the risk for vehicle users of being injured or killed in a road accident even has declined by 29%.

## 4 Conclusions

The FLE traffic count to determine the vehicle kilometers traveled in 2014 represents the first comprehensive recording of transport activity on the road network of the Federal Republic of Germany. The survey includes all road classes and encompasses the totality of motorized traffic, i.e. all

vehicle types. The survey also covers all times of day and the year and distinguished vehicles with regard to their nationality.

From a statistical standpoint, it is notable that, in contrast to conventional traffic counts, the selection of survey locations (and times) was conducted according to a two-stage random sampling design. In constructing an appropriate sampling frame an innovative approach was developed: based on a digital road network model the entire road network was dissected into a very large number of short (100 meter) road sections; from a complete list of road sections the survey locations have been drawn.

It goes without saying that such an automated traffic count encompassing the whole country and covering a year-long period would generate substantial costs owing to the large-scale deployment of personnel and equipment. For this reason, the sample had to be restricted to 520 count locations, which certainly represented the minimum acceptable sample size with respect to the required precision of VKT estimates (relative standard error). Due to the small scope of the overall sample, at both selection stages just one unit ( $n = 1$ ) was drawn for the vast majority of strata, which is clearly suboptimal for variance estimation. It would be advisable for other studies employing this design to choose a larger sample size wherever possible.

As concerns the survey methodology, the new multi-instrument approach presents the opportunity to conduct traffic counts “around the clock” with classification by vehicle type and nationality. One problematic aspect is the fact that motorized two-wheelers are evidently under-recorded with the current state of survey technology. This applies equally to the overhead detectors used on federal motorways as well as, to a lesser extent, the side radar detectors. Moreover, the nationality distribution resulting from number plate recording continues to show some implausibilities, which is due to the difficulty in distinguishing nationalities with similar number plate syntax and personalized plates. There is therefore some room for improvement in terms of the recording accuracy of the survey instruments.

## Inhalt

<b>Abbildungsverzeichnis</b> . . . . .	13	3.4 Erhebungsverlauf und Datenaufbereitung . . . . .	34
<b>Tabellenverzeichnis</b> . . . . .	13	3.4.1 Erhebungsorganisation und -verlauf . . . . .	34
<b>1 Ausgangslage und Zielsetzung</b> . . . . .	17	3.4.2 Struktur der Analysedatei . . . . .	34
1.1 Fahrleistungen als Gegenstand der Verkehrsstatistik . . . . .	17	3.4.3 Ausreißerbehandlung . . . . .	36
1.2 Fahrleistungserhebungen in der Vergangenheit. . . . .	17	3.5 Hochrechnungsverfahren . . . . .	36
1.3 Das Gesamtvorhaben „Fahrleistungserhebung 2014“ . . . . .	18	3.5.1 Auswahlverfahren in formaler Darstellung . . . . .	36
<b>2 Gesamtkonzept der Fahrleistungserhebung 2014</b> . . . . .	19	3.5.2 Stichprobendaten als empirische Grundlage der Hochrechnung . . . . .	39
<b>3 Verkehrszählung zur Ermittlung der Inlandsfahrleistung</b> . . . . .	20	3.5.3 Fahrleistungskennzahlen als Zielgrößen der Hochrechnung . . . . .	40
3.1 Statistisches Grundkonzept . . . . .	21	3.5.4 Schätzung von Totalwerten . . . . .	42
3.1.1 Auswahl- und Erhebungseinheiten . . . . .	21	3.6 Anpassung des Hochrechnungsverfahrens an das praktizierte Auswahl- und Aufbereitungsverfahren. . . . .	48
3.1.2 Auswahl von Beobachtungsorten . . . . .	21	3.6.1 Geplantes versus praktiziertes Auswahl- und Aufbereitungsverfahren. . . . .	48
3.1.3 Auswahl von Beobachtungszeiten . . . . .	21	3.6.2 Stichprobenmodell zum praktizierten Auswahl- und Aufbereitungsverfahren . . . . .	49
3.1.4 Generierung einer Zufallsstichprobe von Ort-Zeit-Kombination . . . . .	22	3.6.3 Schritte des modifizierten Hochrechnungsverfahrens . . . . .	51
3.1.5 Geschichtete Zufallsauswahl von Ort-Zeit-Kombinationen . . . . .	22	3.6.4 Nachträgliche Schichtung . . . . .	53
3.1.6 Ort-Zeit-Kombinationen als Aufbereitungseinheiten. . . . .	22	3.7 Zahlenbeispiel zum Hochrechnungsverfahren . . . . .	53
3.2 Auswahlverfahren . . . . .	22	3.8 Varianzschätzung . . . . .	59
3.2.1 Erforderlicher Umfang der Erhebung . . . . .	22	3.9 Ergebnisse . . . . .	67
3.2.2 Stichprobendesign . . . . .	23	3.9.1 Inlandsfahrleistung 2014 insgesamt . . . . .	67
3.2.3 Auswahlgrundlage der Sekundärauswahl . . . . .	25	3.9.2 Straßenklasse/Ortslage . . . . .	67
3.2.4 Ergebnis der Stichprobenziehung . . . . .	27	3.9.3 Fahrzeugart . . . . .	69
3.2.5 Standortprüfung . . . . .	30	3.9.4 Nationalität . . . . .	71
3.2.6 Strukturvergleich Stichprobe – Gesamtheit . . . . .	31	3.9.5 Zeitliche Merkmale . . . . .	75
3.3 Erhebungsverfahren . . . . .	32	3.10 Resümee . . . . .	76
3.3.1 Beobachtungstechnik . . . . .	32		
3.3.2 Festlegung des Messstandorts. . . . .	33		



<b>4</b>	<b>Unfallrisiko im Kfz-Verkehr</b> .....	77
4.1	Grundkonzept .....	77
4.2	Datengrundlage: Amtliche Straßenverkehrsunfallstatistik .....	78
4.2.1	Datenaufbereitung .....	78
4.2.2	Unfallbeteiligte Kraftfahrzeuge 2014 .....	79
4.2.3	Verunglückte Kraftfahrzeug- benutzer 2014 .....	81
4.3	Unfallbeteiligungsrate .....	83
4.4	Verunglücktenrate der Kraftfahrzeugbenutzer .....	89
4.5	Vergleich des Unfallrisikos 2002-2014 .....	94
<b>5</b>	<b>Zusammenführung der Ergebnisse zur Inländer- und Inlandsfahrleistung</b> .....	95
5.1	Grundkonzept .....	95
5.2	Vergleich der beiden Schätzungen für die Inlandsfahrleistung inländischer Kfz .....	96
5.3	Ergebnisvergleich differenziert nach Fahrzeugarten .....	96
<b>6</b>	<b>Literatur</b> .....	98
<b>Anhang</b>	.....	101

## Abbildungsverzeichnis

- Bild 1: Gesamtkonzept zur Fahrleistungsermittlung
- Bild 2: Zählstandort „sonstige Straße außerorts“ im Kreis Städteregion Aachen
- Bild 3: Zählstandort „sonstige Straße außerorts“ im Kreis Breisgau-Hochschwarzwald
- Bild 4: Inlandsfahrleistung ausländischer Kfz 2014
- Bild 5: Inlandsfahrleistung ausländischer Kfz auf Bundesautobahnen
- Bild 6: Inlandsfahrleistung 2014 gegliedert nach Wochentag
- Bild 7: Fahrleistung 2014 auf Bundesautobahnen gegliedert nach Wochentag
- Bild 8: Inlandsfahrleistung 2014 gegliedert nach Tageszeit und Straßenklasse
- Bild 9: Inlandsfahrleistung 2014 gegliedert nach Tageszeit und Fahrzeugart

## Tabellenverzeichnis

- Tabelle 1: Sekundärauswahl: Schichtung der Streckenabschnittstage nach Straßenklasse und Ortslage
- Tabelle 2: Sekundärauswahl: Anzahl auszuwählender Streckenabschnittstage je Schicht
- Tabelle 3: Beispiel für einen Stichprobenplan für eine Kreis-Doppelwoche
- Tabelle 4: Anzahl Abschnitte und Summe der Richtungskilometer (ohne Rampen) in der Auswahlgesamtheit gegliedert nach Straßenklasse/Ortslage (Kreise ohne Grenze zum Ausland)
- Tabelle 5: Anzahl Abschnitte und Summe der Richtungskilometer (ohne Rampen) in der Auswahlgesamtheit gegliedert nach Straßenklasse/Ortslage (Kreise mit Grenze zum Ausland)
- Tabelle 6: Länge des bundesdeutschen Straßennetzes gemäß Navteq-Netz und Längengstatistik gegliedert nach Straßenklasse
- Tabelle 7: Stichprobenkreise gegliedert nach Grenznähe
- Tabelle 8: Anzahl Abschnitte und Summe der Richtungskilometer (ohne Rampen) der in die Stichprobe gelangten Gebietseinheiten gegliedert nach Straßenklasse/Ortslage (n = 26 Kreise ohne Grenze zum Ausland)
- Tabelle 9: Anzahl Abschnitte und Summe der Richtungskilometer (ohne Rampen) der in die Stichprobe gelangten Gebietseinheiten gegliedert nach Straßenklasse/Ortslage (n = 26 Kreise mit Grenze zum Ausland)
- Tabelle 10: Fahrtrichtungsabschnittstage in der Stichprobe gegliedert nach Straßenklasse/Ortslage und Wochentag (Kreise ohne Grenze zum Ausland)

- Tabelle 11: Fahrtrichtungsabschnittstage in der Stichprobe gegliedert nach Straßenklasse/Ortslage und Wochentag (Kreis mit Grenze zum Ausland)
- Tabelle 12: V erteilung des Merkmals functional road class in der Stichprobe (n = 520 Fahrtrichtungsabschnittstage) und in der Auswahlgesamtheit (ohne Rampen) gegliedert nach Straßenklasse/Ortslage
- Tabelle 13: Mittlere DTVw-Werte (Pkw und Lkw) aus Verkehrsmodellierung in der Stichprobe (n = 520 Fahrtrichtungsabschnittstage) und in der Auswahlgesamtheit (ohne Rampen) gegliedert nach Straßenklasse/Ortslage (nur Abschnitte mit FC0 bis FC3)
- Tabelle 14: Datenstruktur des Zahlenbeispiels
- Tabelle 15: Basisdaten des Zahlenbeispiels
- Tabelle 16: Hypothetische Struktur- und Erhebungsdaten für den 1. Schritt der Hochrechnung (Zahlenbeispiel)
- Tabelle 17: Struktur- und Erhebungsdaten für die kombinierte Verhältnisschätzung (Zahlenbeispiel)
- Tabelle 18: Separate Verhältnisschätzung (Zahlenbeispiel)
- Tabelle 19: Zufällige Zuordnung von Doppelwochen (DW) zu Unterstichproben (g) getrennt nach Jahreszeitabschnitten (a)
- Tabelle 20: Schematische Darstellung der Paarbildung durch Zusammenfassung von je zwei zeitlich aufeinanderfolgenden Doppelwochen (DW) bei festem Kreistyp
- Tabelle 21: Schema für eine der vielen Möglichkeiten für die Umsetzung des letztgenannten Gruppierungsansatzes
- Tabelle 22: Zahlenbeispiel zur CS-Methode
- Tabelle 23: Schätzung der relativen Varianz des Zielmerkmals
- Tabelle 24: Schätzung der relativen Varianz des Hilfsmerkmals
- Tabelle 25: Schätzung der relativen Kovarianz
- Tabelle 26: Inlandsfahrleistung 2014 gegliedert nach Straßenklasse
- Tabelle 27: 95%-Konfidenzintervalle der Inlandsfahrleistung gegliedert nach Straßenklasse
- Tabelle 28: Inlandsfahrleistung 2014 gegliedert nach Straßenklasse und Ortslage
- Tabelle 29: Inlandsfahrleistung 2014 gegliedert nach Fahrzeugart bzw. Leicht- und Schwerverkehr
- Tabelle 30: 95%-Konfidenzintervalle der Inlandsfahrleistung 2014 gegliedert nach Fahrzeugart
- Tabelle 31: Anteil des Leicht- bzw. Schwerverkehrs an der Inlandsfahrleistung 2014 gegliedert nach Straßenklasse
- Tabelle 32: Inlandsfahrleistung 2014 gegliedert nach Fahrzeugart und Straßenklasse
- Tabelle 33: Inlandsfahrleistung 2014 gegliedert nach Fahrzeugart bzw. Personen- und Güterverkehr
- Tabelle 34: Inlandsfahrleistung 2014 gegliedert nach Nationalität des Fahrzeugs
- Tabelle 35: Inlandsfahrleistung 2014 gegliedert nach Straßenklasse und Nationalität
- Tabelle 36: Inlandsfahrleistung 2014 gegliedert nach Fahrzeugart und Nationalität
- Tabelle 37: Fahrleistung 2014 auf Bundesautobahnen gegliedert nach Fahrzeugart und Nationalität
- Tabelle 38: Anteil ausländischer Fahrzeuge an der Inlandsfahrleistung 2014 gegliedert nach Fahrzeugart und Straßenklasse
- Tabelle 39: Inlandsfahrleistung 2014 gegliedert nach Fahrzeugart und Wochentag
- Tabelle 40: Zuordnung der Arten der Verkehrsbeteiligung gemäß amtlicher Straßenverkehrsunfallstatistik zu Fahrzeuggruppen gemäß Erhebung der Inlandsfahrleistung für Zwecke der Unfallrisikoanalyse

- Tabelle 41: An Unfällen mit Personenschaden beteiligte Kfz 2014 gegliedert nach Fahrzeugart
- Tabelle 42: An Unfällen mit Personenschaden beteiligte Kfz 2014 gegliedert nach Fahrzeugart und Unfallkategorie
- Tabelle 43: An Unfällen mit Personenschaden beteiligte Kfz 2014 gegliedert nach Straßenklasse, Ortslage und Unfallkategorie
- Tabelle 44: Verunglückte Kfz-Benutzer 2014 gegliedert nach Fahrzeugart
- Tabelle 45: Verunglückte Kfz-Benutzer 2014 gegliedert nach Fahrzeugart und Unfallfolge
- Tabelle 46: Verunglückte Kfz-Benutzer 2014 gegliedert nach Straßenklasse, Ortslage und Unfallfolge
- Tabelle 47: Unfallbeteiligte Kfz pro 1 Mrd. Fzgkm 2014 gegliedert nach Straßenklasse, Ortslage und Unfallkategorie
- Tabelle 48: Unfallbeteiligte Kfz pro 1 Mrd. Fzgkm 2014 gegliedert nach Fahrzeugart und Unfallkategorie
- Tabelle 49: Unfallbeteiligte Kfz pro 1 Mrd. Fzgkm 2014 gegliedert nach Fahrzeugart und Verursacherstatus
- Tabelle 50: Unfallbeteiligte Kfz pro 1 Mrd. Fzgkm 2014 gegliedert nach Straßenklasse, Ortslage und Fahrzeugart
- Tabelle 51: Unfallbeteiligte Kfz pro 1 Mrd. Fzgkm 2014 gegliedert nach Nationalität des Kfz und Unfallkategorie
- Tabelle 52: Unfallbeteiligte Kfz pro 1 Mrd. Fzgkm 2014 gegliedert nach Nationalität des Kfz und Straßenklasse
- Tabelle 53: Unfallbeteiligte Kfz pro 1 Mrd. Fzgkm 2014 gegliedert nach Fahrzeugart und Nationalität
- Tabelle 54: Unfallbeteiligte Kfz pro 1 Mrd. Fzgkm 2014 gegliedert nach Nationalität des Fahrzeugs (nur Anrainerstaaten) und Unfallkategorie
- Tabelle 55: Unfallbeteiligte Kfz pro 1 Mrd. Fzgkm 2014 gegliedert nach Wochentag und Unfallkategorie
- Tabelle 56: Unfallbeteiligte Kfz pro 1 Mrd. Fzgkm 2014 gegliedert nach Tageszeit (Stunde) und Unfallkategorie
- Tabelle 57: An Unfällen mit Getöteten beteiligte Kfz pro 1 Mrd. Fzgkm 2014 gegliedert nach Tageszeit (Stunde) und Wochentagstyp
- Tabelle 58: Verunglückte Kfz-Benutzer pro 1 Mrd. Fzgkm 2014 gegliedert nach Straßenklasse, Ortslage und Unfallfolge
- Tabelle 59: Verunglückte Kfz-Benutzer pro 1 Mrd. Fzgkm 2014 gegliedert nach Fahrzeugart und Unfallfolge
- Tabelle 60: Verunglückte Kfz-Benutzer pro 1 Mrd. Fzgkm 2014 gegliedert nach Fahrzeugart und Verursacherstatus des Fahrzeugführers
- Tabelle 61: Verunglückte Kfz-Benutzer pro 1 Mrd. Fzgkm 2014 gegliedert nach Straßenklasse, Ortslage und Fahrzeugart
- Tabelle 62: Verunglückte Kfz-Benutzer pro 1 Mrd. Fzgkm 2014 gegliedert nach Nationalität des Kfz und Unfallfolge
- Tabelle 63: Verunglückte Kfz-Benutzer pro 1 Mrd. Fzgkm 2014 gegliedert nach Nationalität des Kfz und Straßenklasse
- Tabelle 64: Verunglückte Kfz-Benutzer pro 1 Mrd. Fzgkm 2014 gegliedert nach Fahrzeugart und Nationalität des Kfz
- Tabelle 65: Verunglückte Kfz-Benutzer pro 1 Mrd. Fzgkm 2014 gegliedert nach Nationalität des Fahrzeugs (nur Anrainerstaaten) und Unfallfolge beim Kfz-Benutzer
- Tabelle 66: Verunglückte Kfz-Benutzer pro 1 Mrd. Fzgkm 2014 gegliedert nach Wochentag und Unfallfolge
- Tabelle 67: Verunglückte Kfz-Benutzer pro 1 Mrd. Fzgkm 2014 gegliedert nach Tageszeit (Stunde) und Unfallfolge

- Tabelle 68: Veränderung der Beteiligungsrate (unfallbeteiligte Kfz pro 1 Mrd. Fzgkm) für Unfälle mit Personenschaden von 2002 nach 2014 gegliedert nach Fahrzeugart und Unfallkategorie
- Tabelle 69: Veränderung der Verunglücktenrate (Verunglückte pro 1 Mrd. Fzgkm) von 2002 nach 2014 gegliedert nach Fahrzeugart und Unfallfolge
- Tabelle 70: Inländerfahrleistung 2014 gegliedert nach Fahrzeugart
- Tabelle 71: Inlandsfahrleistung 2014 gegliedert nach Fahrzeugart
- Tabelle 72: Export und Import von Fahrleistungen 2014 gegliedert nach Fahrzeugart
- Tabelle 73: Inlandsfahrleistung inländischer Fahrzeuge 2014 gemäß Halterbefragung und Verkehrszählung gegliedert nach Fahrzeugart
- Tabelle 74: Inlandsfahrleistung ausländischer Kfz 2014 gegliedert nach Straßenklasse, Ortslage und Fahrzeugart
- Tabelle 75: Inlandsfahrleistung inländischer Kfz 2014 gegliedert nach Straßenklasse, Ortslage und Fahrzeugart

# 1 Ausgangslage und Zielsetzung

## 1.1 Fahrleistungen als Gegenstand der Verkehrsstatistik

In der Verkehrsstatistik versteht man unter „Fahrleistung“ ganz allgemein die von Fahrzeugen in einem bestimmten Zeitraum in einem bestimmten Verkehrsnetz zurückgelegte Distanz in Fahrzeugkilometern. Die Summe der Fahrleistungen aller Fahrzeuge, welche zu einer bestimmten Fahrzeugesamtheit gehören, wird Gesamtfahrleistung oder Fahrleistungstotalwert genannt; gelegentlich wird aber auch nur kurz von Fahrleistung gesprochen, wenn eigentlich die Gesamtfahrleistung gemeint ist.

Die Gesamtfahrleistung von Kraftfahrzeugen (Kfz), also die Summe der Kilometer, die von einer bestimmten Kfz-Gesamtheit innerhalb eines festgelegten Zeitraumes auf einem räumlich und sachlich abgegrenzten Straßennetz zurückgelegt werden, ist eine zentrale Kenngröße zur Beschreibung der Inanspruchnahme der Straßenverkehrsinfrastruktur. Aus ökonomischer Sicht stellt die Gesamtfahrleistung die wohl wichtigste Kennzahl der Nachfrage im motorisierten Straßenverkehr dar. Fahrleistungskennzahlen werden in den unterschiedlichsten Zusammenhängen verwendet. So dient die Gesamtfahrleistung in der Verkehrssicherheitsforschung als Bezugsgröße für Unfallzahlen und in der Verkehrsökologie als Indikator für verkehrsbedingte Umweltbelastungen.

Die Gesamtfahrleistung von im Inland zugelassenen Kraftfahrzeugen auf inländischen und ausländischen Straßen wird „Inländerfahrleistung“ genannt. Entsprechend heißt die auf dem inländischen Straßennetz erbrachte Gesamtfahrleistung von im Inland oder Ausland zugelassenen Kraftfahrzeugen „Inlandsfahrleistung“.

Fahrleistungskennzahlen basierend auf empirischen Erhebungen bzw. laufend anfallenden Prozessdaten werden regelmäßig von der Bundesanstalt für Straßenwesen (manuelle und automatische Verkehrszählungen), dem Kraftfahrt-Bundesamt (amtliche Güterkraftverkehrsstatistik sowie seit 2013 die Statistik „Verkehr in Kilometern“) und dem Bundesamt für Güterverkehr (Mautstatistik) veröffentlicht. Das Deutsche Institut für Wirtschaftsforschung (DIW) publiziert in „Verkehr in Zahlen“ jährlich Fahrleistungskennzahlen als Ergebnis von Berechnungen, in welche verschiedene Inputdaten

wie z. B. Kraftstoffverbräuche sowie Ergebnisse früherer Fahrleistungserhebungen einfließen. Allerdings sind die genannten Quellen insoweit von beschränkter Aussagekraft, als sich die betreffenden Fahrleistungskennzahlen nur auf bestimmte Teile des Straßennetzes (BASt) oder bestimmte Fahrzeuggruppen (KBA, BAG) beziehen bzw. nur relativ grob nach einigen wenigen Kraftfahrzeugarten (DIW) aufgliedert sind.

## 1.2 Fahrleistungserhebungen in der Vergangenheit

Es besteht allgemein Einigkeit darüber, dass umfassende Daten zu Kfz-Fahrleistungen in tiefer Gliederung nur durch spezielle Studien mit Repräsentativbefragungen von Kfz-Haltern und Verkehrszählungen als Kernelementen bereitgestellt werden können. Wegen des damit verbundenen Aufwands werden solche Studien allerdings nur in größerem zeitlichen Abstand durchgeführt, sie haben also den Charakter von Einzeluntersuchungen (Fahrleistungserhebungen). Solche speziellen Fahrleistungserhebungen gab es in Deutschland 1990, 1993 und 2002. Durchgeführt wurden die genannten Projekte jeweils im Auftrag der BASt.

Bei der Fahrleistungserhebung 1990 wurde zur Ermittlung der Inländerfahrleistung eine schriftliche Halterbefragung mit Tachostandsablesung an zwei vorgegebenen Stichtagen durchgeführt, ein Erhebungsverfahren, das sich in der Folge zum Standard für derartige Befragungen entwickelte. Mit dem Ziel einer Vertiefung der Resultate zur Inländerfahrleistung und der Ermittlung von Eckwerten zur Inlandsfahrleistung wurden in großem Umfang weitere Primärerhebungen (Zählungen und Befragungen) sowie sekundärstatistische Datenquellen in die Analysen einbezogen.

Während sich die Fahrleistungserhebung 1990 auf das alte Bundesgebiet erstreckte, bezog die Fahrleistungserhebung 1993 auch und vor allem die neuen Bundesländer mit ein. In methodischer Hinsicht wie auch im Hinblick auf die einbezogenen primär- und sekundärstatistischen Daten handelte es sich um eine Replikation der vorausgegangenen Erhebung mit dem Ziel einer Aktualisierung und Vervollständigung des Datenmaterials für das inzwischen wiedervereinigte Deutschland.

Angesichts veränderter demografischer und verkehrlicher Rahmenbedingungen wurde im Jahr



2002 eine weitere Fahrleistungserhebung durchgeführt. Dieses Jahr war insoweit günstig gewählt, als parallel weitere bundesweite und europäische Verkehrserhebungen stattfanden (MiD 2002, KiD 2002 und DATELINE), mit denen Verzahnungen möglich waren. Insgesamt entstand so ein abgestimmter, harmonisierter Datenkranz zum motorisierten Straßenverkehr, der vielfältigen Nutzerinteressen gerecht wurde. Wie bereits in den Vorläuferprojekten mussten verschiedene Datenbestände im Rahmen der Hochrechnungen miteinander verknüpft und ergänzende Modellrechnungen durchgeführt werden, um dem Informationsbedarf der verschiedenen Nutzergruppen gerecht zu werden. Die Fahrleistungserhebung 2002 umfasste zwei Primärerhebungen, nämlich die als „Grunderhebung“ bezeichnete Halterbefragung zur Ermittlung der Inländerfahrleistung (wie schon 1990 und 1993 durchgeführt vom KBA) und die „Erhebung zum grenzüberschreitenden Verkehr“ (Zählungen und Befragungen durchgeführt von IVV-Aachen). Aus der letztgenannten Erhebung wurden die Fahrleistungen im grenzüberschreitenden Verkehr (inländische Kfz im Ausland und ausländische Kfz im Inland) geschätzt, was in Verbindung mit der oben angesprochenen Grunderhebung sowie der Straßenverkehrszählung 2000 die Bestimmung von Eckwerten zur Inlandsfahrleistung erlaubte.

Mit den Daten der bisherigen Fahrleistungserhebungen wurden zusätzlich zu Fahrleistungskennzahlen nach dem Inländer- und Inlandskonzept immer auch Unfallrisikokennzahlen für den motorisierten Straßenverkehr in Deutschland ermittelt.

Die methodischen Grundlagen und statistischen Verfahren der Fahrleistungserhebungen 1990, 1993 und 2002 gehen wesentlich auf das Institut für angewandte Verkehrs- und Tourismusforschung e. V. (IVT) zurück, bei dem jeweils die wissenschaftliche Leitung des Gesamtvorhabens lag.

### 1.3 Das Gesamtvorhaben „Fahrleistungserhebung 2014“

Im Jahr 2013 wurde in dem von DLR Institut für Verkehrsforschung und IVT Research bearbeiteten BAST-Forschungsprojekt „Methodenstudie zur Fahrleistungserhebung“ (FE-Nr. 82.0545/2012) das methodische Vorgehen zur Ermittlung der Inländer- und Inlandsfahrleistungen sowie der fahrleistungsbezogenen Unfallrisikokennziffern überprüft und wo erforderlich weiter- bzw. neu entwickelt.

Für das Gesamtvorhaben „Fahrleistungserhebung 2014“ ergab sich aus der genannten Methodenstudie eine Gliederung in drei Teilprojekte mit den Schwerpunkten

- Halterbefragung zur Ermittlung der Inländerfahrleistung,
- Verkehrszählung zur Ermittlung der Inlandsfahrleistung sowie
- wissenschaftliche Gesamtleitung, Begleitung und Auswertung der Erhebungen.

Die Fahrleistungserhebung 2014 unterscheidet sich von ihren Vorläufern vor allem dadurch, dass die Verkehrszählung sich jetzt auf das gesamte inländische Straßennetz bezieht und nicht auf den grenzüberschreitenden Verkehr beschränkt ist. Dies bedeutet, dass – wie bisher schon die Inländerfahrleistung – nunmehr auch die Inlandsfahrleistung mittels stichprobentheoretisch fundierter Verfahren direkt aus einer auf das entsprechende Untersuchungsziel zugeschnittenen Erhebung hochgerechnet werden kann.

Der Auftrag zur Durchführung einer schriftlich-postalischen Kfz-Halterbefragung zur Ermittlung der Inländerfahrleistung wurde dem Kraftfahrt-Bundesamt (KBA) erteilt. Die Online-Erhebung zur Kfz-Halterbefragung wurde von der Interrogare GmbH betreut.

Die bundesweite Verkehrszählung zur Ermittlung der Inlandsfahrleistung wurde an die Siemens AG (Aufgabenschwerpunkt Durchführung der Verkehrszählung) und im Unterauftrag an die DTV-Verkehrsconsult GmbH (Aufgabenschwerpunkt Erhebungsorganisation und Datenaufbereitung) vergeben.

Mit dem übergreifenden Projekt „Fahrleistungserhebung 2014: Begleitung und Auswertung“ wurde die IVT Research GmbH und im Unterauftrag das DLR Institut für Verkehrsforschung beauftragt. Das Projekt hatte die folgenden Aufgaben und Ziele:

- wissenschaftliche Leitung des Gesamtvorhabens „Fahrleistungserhebung 2014“,
- fachliche Koordination und methodische Unterstützung der beiden Teilprojekte des Gesamtvorhabens (Halterbefragung und Verkehrszählung),
- Aufbereitung und Zusammenführung der Ergebnisse aus den Teilprojekten,

- Auswertung und Hochrechnung der empirischen Befragungs- und Zählraten der „Fahrleistungserhebung 2014“ (Inländer- und Inlandsfahrleistung),
- statistische Schätzung fahrleistungsbezogener Unfallrisikokennziffern,
- zusammenfassende Ergebnisdarstellung und Interpretation der Befunde in ausführlichen Forschungsberichten.

Im hier vorliegenden Bericht werden Methodik und Ergebnisse der Inlandsfahrleistung behandelt. Das methodische Vorgehen bei der Halterbefragung zur Ermittlung der Inländerfahrleistung und die entsprechenden Resultate werden in folgendem Bericht vorgestellt: BÄUMER, M. et al. (2017): Fahrleistungserhebung 2014 – Inländerfahrleistung. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Reihe Verkehrstechnik, Heft V 290, Bergisch Gladbach

### Projektbegleitung

Das Gesamtvorhaben „Fahrleistungserhebung 2014“ wurde von einem von der BASt einberufenen forschungsbegleitenden Ausschuss fachlich unterstützt, in dem folgende Institutionen vertreten waren:

- Bundesamt für Güterverkehr,
- Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur,
- Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung,
- Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH,

- Kraftfahrt-Bundesamt,
- Statistisches Bundesamt.

Hilfestellung in Fragen des Datenschutzes wurde dem Projekt durch die Bundesbeauftragte für den Datenschutz und die Informationsfreiheit zuteil.

## 2 Gesamtkonzept der Fahrleistungserhebung 2014

Die Fahrleistungserhebung 2014 stellt ein System von statistischen Erhebungen und Berechnungen dar: Die angestrebten Ergebnisse zur Inländer- und Inlandsfahrleistung können nur im Rahmen eines Erhebungs- und Hochrechnungssystems gewonnen werden, welches aus mehreren, einander ergänzenden Bausteinen besteht. Bei der Festlegung der entsprechenden Erhebungen und Berechnungen spielt die Unterscheidung nach dem Territorium der Fahrleistungserbringung (Inland/Ausland) und sowie der Zulassung der betreffenden Kraftfahrzeuge (Inland/Ausland) die entscheidende Rolle. Bild 1 zeigt das gewählte Gesamtkonzept zur Ermittlung der für die verschiedenen Fahrleistungskomponenten notwendigen methodischen Ansätze bzw. Datenquellen im Überblick.

Die Inländerfahrleistung – als Eckwert und in Untergliederung nach Halter- und Fahrzeuggruppen – wird für den betreffenden Untersuchungszeitraum (Kalenderjahr 2014) empirisch durch eine primär-

Zulassung des Kraftfahrzeugs	Territorium der Fahrleistungserbringung		Insgesamt
	Inland	Ausland	
Inland	Halterbefragung Verkehrszählung	Halterbefragung (mit Zusatzfragen zu Auslandsfahrleistungen)	<b>Inländerfahrleistung</b> (über Halterbefragung)
Ausland	Verkehrszählung		
<b>Insgesamt</b>	<b>Inlandsfahrleistung</b> (über Verkehrszählung)		

**Bild 1:** Gesamtkonzept zur Fahrleistungsermittlung



statistische Halterbefragung ermittelt, wobei auf das vielfach bewährte Stichprobenverfahren mit dem Kraftfahrt-Bundesamt (KBA) als datenerhebende Organisation zurückgegriffen werden kann.

Die Inlandsfahrleistung (dargestellt in diesem Bericht) – als Eckwert und in Untergliederung nach Fahrzeuggruppen und Teilsegmenten des Straßennetzes – wird durch eine stichprobenartige allgemeine Verkehrszählung ermittelt. Diese Zählung erstreckt sich auf den gesamten Untersuchungszeitraum (Kalenderjahr 2014) und das gesamte außer- und innerörtliche Straßennetz in Deutschland.

Daten über die Auslandsfahrleistungen deutscher Kfz werden im Rahmen der Halterbefragung (KBA) mittels einer Zusatzfrage zum Auslandseinsatz des Kfz zwischen den beiden Tachostandsablesungen gewonnen.

Die empirische Erhebung der Fahrleistungen ausländischer Kfz in Deutschland erfolgt im Rahmen der Verkehrszählung durch Unterscheidung nach der Nationalität des Kfz.

Wie bei den bisherigen Fahrleistungserhebungen werden auch mit den aktuellen Daten der Fahrleistungserhebung nach dem Inlandskonzept Unfallrisikokennzahlen für den motorisierten Straßenverkehr in Deutschland ausgewiesen. Hierbei handelt es sich einerseits um Unfallbeteiligungsraten des Typs  $UBR = (\text{Anzahl unfallbeteiligte Kfz}) / (\text{Kfz-Inlandsfahrleistung})$  und andererseits um Verunglücktenraten der Form  $VR = (\text{Anzahl verunglückte Kfz-Benutzer}) / (\text{Kfz-Inlandsfahrleistung})$ .

Der Erhebung der Inländerfahrleistung wie auch der Inlandsfahrleistung liegt ein umfassendes Datenschutzkonzept zugrunde, welches mit der Bundesbeauftragten für den Datenschutz und die Informationsfreiheit abgestimmt wurde.

### 3 Verkehrszählung zur Ermittlung der Inlandsfahrleistung

Eine wesentliche Größe für die Verkehrsplanung wie auch für Emissionsberechnungen ist die Inlandsfahrleistung, also die Fahrleistung aller Kraftfahrzeuge (unabhängig von ihrer Nationalität) auf dem deutschen Straßennetz in einem Jahr. In der Vergangenheit angewandte Konzepte zur

Schätzung dieser Inlandsfahrleistung für das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland, wie z. B. Grenzstellenerhebungen (vgl. IVV 2004), sind aufgrund veränderter Rahmenbedingungen nicht mehr anwendbar. In der Methodenstudie zur Fahrleistungserhebung 2014 wurde daher eine bundesweite Verkehrszählung zur Erhebung der Inlandsfahrleistung vorgeschlagen (KÖHLER et al. 2013).

Fahrleistungsschätzungen auf der Basis von Zählungen des fließenden Verkehrs sind nicht grundsätzlich neu. So werden bzw. wurden aus den Straßenverkehrszählungen (SVZ, zuletzt 2015), den Messungen der Dauerzählstellen und den Ausländerverkehrszählungen (zuletzt 2008) Fahrleistungstotale hochgerechnet. Die dabei erzielten Ergebnisse beziehen sich jedoch meist nur auf Autobahnen und ggf. noch Bundesstraßen, darüber hinaus werden die jeweiligen Zählorte und -zeiten in der Regel nicht über einen Zufallsmechanismus ausgewählt. Im Gegensatz dazu sollte die im Rahmen der Fahrleistungserhebung 2014 durchzuführende Verkehrszählung

- Ergebnisse für alle Kombinationen von Straßenklasse und Ortslage liefern und in methodischer Hinsicht auf einer
- Zufallsstichprobe von Beobachtungsorten (Zählquerschnitte) und Beobachtungszeiten

basieren. Dabei sollten die erfassten Kraftfahrzeuge nach Fahrzeuggruppe und Nationalität untergliedert werden.

Voraussetzung für die Durchführung einer solchen Erhebung ist ein ausgearbeitetes Stichprobenkonzept in Verbindung mit einer geeigneten Auswahlgrundlage für die Ziehung einer Zufallsstichprobe von Zähl- bzw. Beobachtungsorten. Für Letzteres kommen digitale Straßennetzmodelle in Betracht, wie sie z. B. auch für Zwecke der Navigation verwendet werden. Mithilfe solcher Netzmodelle lässt sich das gesamte Straßennetz in viele, gleich lange Abschnitte unterteilen, aus denen dann eine Zufallsstichprobe von Abschnitten gezogen werden kann, deren Mittelpunkte dann die Zählstandorte repräsentieren. Für eine Gliederung der Ergebnisse ist es essenziell, dass für jeden einzelnen Kapitel die Merkmale Straßenklasse und Ortslage bekannt sind.

Im Projekt „Entwicklung eines methodischen Rahmenkonzepts für Verhaltensbeobachtung im fließenden Verkehr“ im Auftrag der BAST

(HAUTZINGER et al. 2012) wurden die im vorliegenden Zusammenhang relevanten methodischen Grundlagen zur Ziehung von Zufallsstichproben für Erhebungen in Straßennetzen entwickelt. Die entsprechenden Überlegungen werden im Folgenden überblickartig zusammengefasst, im Anschluss daran werden dann das Stichprobenverfahren, die Auswahlgrundlage und die Hochrechnungsmethodik im Detail vorgestellt.

### 3.1 Statistisches Grundkonzept

#### 3.1.1 Auswahl- und Erhebungseinheiten

Bei einer Erhebung im fließenden Verkehr, die von festen Beobachtungsorten<sup>1</sup> aus durchgeführt wird, stellen Vorbeifahrten von Fahrzeugen die Erhebungseinheiten dar, an denen die interessierenden Merkmale – hier Art und Nationalität des Fahrzeugs – erfasst werden können. Vorbeifahrten sind Ereignisse, die zufällig in Raum und Zeit stattfinden und für die es deshalb keine Auswahlgrundlage (im Sinne einer Liste aller Vorbeifahrten an den Straßenquerschnitten des Untersuchungsnetzes während eines Untersuchungszeitraums) gibt, aus welcher eine einfache oder geschichtete Zufallsstichprobe von Vorbeifahrten gezogen werden könnte.

Wie bei Auswahlen aus Ereignisgesamtheiten generell üblich, muss man sich auch im vorliegenden Fall den Zugang zu den Erhebungseinheiten über geeignete Auswahlseinheiten verschaffen, für welche ein vollständiges Verzeichnis vorliegt bzw. geschaffen werden kann. Entsprechend dem in diesem Kontext gebräuchlichen Ansatz der Raum-Zeit-Stichprobe sind Kombinationen von Beobachtungsorten und Beobachtungszeiten als Auswahlseinheiten festzulegen und in einem geeigneten Verzeichnis vollständig aufzulisten. Über eine Zufallsauswahl von Ort-Zeit-Kombinationen aus einer solchen Auswahlgrundlage gewinnt man die angestrebte Stichprobe von Vorbeifahrten und

damit die Datengrundlage für eine Hochrechnung der Fahrleistung im Straßennetz untergliedert nach Merkmalen wie Art und Nationalität des Fahrzeugs.

Vor diesem Hintergrund stellen also Ort-Zeit-Kombinationen die Auswahlseinheiten und die diesen Kombinationen zugeordneten Fahrzeug-Vorbeifahrten die Erhebungseinheiten<sup>2</sup> der Verkehrszählung zur Ermittlung der Inlandsfahrleistung dar.

#### 3.1.2 Auswahl von Beobachtungsorten

Für eine Zufallsauswahl von Beobachtungsorten muss für das Untersuchungsnetz zunächst eine Liste aller potenziellen Beobachtungsorte (Auswahlgrundlage) erstellt werden.

Merkmale wie Art und Nationalität des Fahrzeugs können theoretisch an jedem beliebigen Straßenquerschnitt (bundesweit) beobachtet werden. In solchen Situationen kann grundsätzlich eine einstufige Zufallsauswahl von Beobachtungsorten unter Verwendung eines digitalen Straßennetzmodells vorgenommen werden. Dabei werden die Strecken des Netzes entlang ihres Verlaufes in gleichlange Abschnitte unterteilt (z. B. in 5-, 10- oder 100-Meter-Abschnitte<sup>3</sup>). Da die Mittelpunktkoordinaten dieser Abschnitte die potenziellen Beobachtungsstandorte identifizieren, stellt ein vollständiges Verzeichnis der betreffenden Koordinaten die Auswahlgrundlage für eine einstufige Zufallsauswahl von Beobachtungsstandorten dar (hierauf wird ausführlich in Kapitel 3.2.3 eingegangen).

Auf der Basis der so konstruierten Auswahlgrundlage kann eine Zufallsstichprobe von  $n$  Beobachtungsorten gezogen werden. Im Grundsatz ist hier eine Zufallsauswahl „mit Zurücklegen“ durchzuführen, jedoch erscheint dies angesichts des sehr großen Umfangs der Grundgesamtheit von Beobachtungsorten (mehrere Mio. Abschnitte bei einer Zerlegung des gesamten deutschen Straßennetzes in 100-Meter-Abschnitte) nicht zwingend.

#### 3.1.3 Auswahl von Beobachtungszeiten

Für die Auswahl der Beobachtungszeiten ist analog zum Untersuchungsnetz der Untersuchungszeitraum (hier: ein Kalenderjahr) in Zeitintervalle gleicher Länge (z. B. 24 Stunden) zu zerlegen. Aus einer vollständigen Liste dieser Intervalle ist dann eine Zufallsauswahl – ebenfalls mit Zurücklegen – von  $n$  Intervallen vorzunehmen.

<sup>1</sup> Eine Erhebung nach dem alternativen Moving-Observer-Konzept ist im vorliegenden Kontext aus methodischen Gründen nicht als zielführend zu betrachten.

<sup>2</sup> Erhebungseinheiten sind diejenigen Einheiten, auf welche sich die statistische Untersuchung erstreckt (vgl. z. B. KRUG et al. 1999, S. 50 ff.) oder anders ausgedrückt, diejenigen Einheiten, an denen die Erhebungsmerkmale (hier: Art und Nationalität des Fahrzeugs) festgestellt werden.

<sup>3</sup> Da die Streckenlängen in der Regel nicht exakt durch 5, 10 oder 100 teilbar sind, bleibt bei jeder Strecke ein Reststück, welches kleiner als die Abschnittslänge ist.

### 3.1.4 Generierung einer Zufallsstichprobe von Ort-Zeit-Kombination

Kombiniert man die ausgewählten  $n$ -Beobachtungsorte mit den ausgewählten  $n$ -Beobachtungszeitintervallen, so erhält man die benötigte Zufallsstichprobe der  $n$ -Ort-Zeit-Kombinationen.

Innerhalb der auf diesem Wege in die Stichprobe gelangten Auswahlseinheiten (Kombinationen von Beobachtungsort und -zeitintervall) sollten dann nach Möglichkeit alle Erhebungseinheiten (vorbeifahrende Fahrzeuge) beobachtet werden. Zulässig ist es jedoch auch, nach dem Prinzip einer systematischen Zufallsauswahl nur bei jeder  $k$ -ten Fahrzeugvorbeifahrt die Erhebungsmerkmale<sup>4</sup> zu erfassen.<sup>5</sup>

### 3.1.5 Geschichtete Zufallsauswahl von Ort-Zeit-Kombinationen

Zerlegt man die Gesamtheit der möglichen Beobachtungsorte bzw. -zeiten nach bestimmten Merkmalen (z. B. nach Straßenklasse und Ortslage, aber auch nach Wochentagstyp und Quartal) in disjunkte Schichten, so kann eine geschichtete Zufallsauswahl von Ort-Zeit-Kombinationen vorgenommen werden. Eine Schichtung erbringt bekanntermaßen dann eine höhere Genauigkeit der Ergebnisse, wenn das Erhebungsmerkmal (z. B. Nationalität des Kfz) stark mit dem Schichtungsmerkmal (z. B. Straßenklasse und Wochentagstyp) korreliert.

Zusammenfassend stellt jede Ort-Zeit-Kombination im Hinblick auf das Stichprobenverfahren einen Klumpen von Erhebungseinheiten dar. Handelt es sich bei den Zeitintervallen um Kalendertage, kann man die Auswahlseinheiten als „Streckenabschnittstage“ bezeichnen. Die Auswahlgesamtheit (Ge-

samtheit aller Streckenabschnittstage) besteht damit aus der Menge aller  $N = M \cdot T$  Ort-Zeit-Kombinationen, welche aus der Zerlegung des Untersuchungsnetzes in  $M$ -Streckenabschnitte und des Untersuchungszeitraums in  $T$ -Tage resultieren.

### 3.1.6 Ort-Zeit-Kombinationen als Aufbereitungseinheiten

Für die Schätzung von Fahrleistungskennzahlen ist es zweckmäßig, die zunächst auf der Ebene der Fahrzeugvorbeifahrten vorliegenden Individualdaten im Rahmen der Datenaufbereitung zu aggregieren und die Erhebungsergebnisse auf der Ebene der Ort-Zeit-Kombinationen darzustellen.

Ergebnis dieses Aufbereitungsschritts ist die Zahl der Fahrzeugvorbeifahrten am Beobachtungsort im Beobachtungszeitintervall (d. h. die Verkehrsstärke) untergliedert nach den beobachteten Eigenschaften der vorbeifahrenden Fahrzeuge. Durch Multiplikation der empirisch erhobenen Zahl der Vorbeifahrten mit der aus der Auswahlgrundlage bekannten Länge des Streckenabschnitts erhält man das letztlich interessierende Zielmerkmal der Untersuchung, nämlich die auf dem betreffenden Streckenabschnitt im entsprechenden Zeitintervall erbrachte Fahrleistung.

## 3.2 Auswahlverfahren

### 3.2.1 Erforderlicher Umfang der Erhebung

Um zu einer Einschätzung der für eine Erhebung der beschriebenen Art notwendigen Anzahl an Auswahlseinheiten zu kommen, wurden die Daten des von der BAST in Auftrag gegebenen Projekts „Zählungen des ausländischen Kraftfahrzeugverkehrs auf den Bundesautobahnen und Europastraßen 2008“ (LENSING 2010) ausgewertet. Allerdings bezieht sich diese Erhebung nur auf Bundesautobahnen und Europastraßen.

Mit diesen Daten lassen sich vorläufige Schätzungen für die gruppenspezifischen Variationskoeffizienten ermitteln, indem die Verkehrsstärkewerte in der Untergliederung nach Nationalität (deutsch/ausländisch) und Fahrzeugart (Personenverkehr/Güterverkehr) betrachtet werden. Dabei wird eine einstufige Klumpenauswahl unterstellt (bei freier Hochrechnung).

Insgesamt legen die dabei erzielten Ergebnisse den Schluss nahe, dass man bei einer Verkehrs-

<sup>4</sup> Im vorliegenden Zusammenhang geht es um die Erhebung kategorialer Merkmale wie z. B. Fahrzeugnationalität; metrische Merkmale wie z. B. Fahrgeschwindigkeit sind als Erhebungsmerkmale für Fahrleistungsuntersuchungen nicht von Bedeutung.

<sup>5</sup> Werden bei den ausgewählten Ort-Zeit-Kombinationen die dort auftretenden Vorbeifahrten jeweils vollständig erfasst, so liegt eine einstufige Klumpenstichprobe vor. Wird nur ein Teil der Vorbeifahrten im Hinblick auf die Erhebungsmerkmale (z. B. Nationalität des Kfz) erfasst, so handelt es sich um eine zweistufige Stichprobe; die Zahl der Vorbeifahrten sollte nach Möglichkeit aber auch in diesem Fall vollständig registriert werden, um den Hochrechnungsrahmen zu verbessern.

zählung zur Fahrleistungsermittlung mit einem Stichprobenumfang von 250 bis 300 Auswahl-einheiten (Kombinationen von Erhebungsorten und -zeiten) eine hinreichende Schätzgenauigkeit für den Gesamtwert der Inlandsfahrleistung erzielt. Soll diese Schätzgenauigkeit auch für einzelne, vorab festgelegte Subtotale (z. B. Fahrleistung nach Straßenklassen) erreicht werden, ist ein entsprechend höherer Stichprobenumfang zu wählen. Geht man von reduzierten Ansprüchen an die Genauigkeit der Schätzung von Subtotalen der Inlandsfahrleistung aus, so liegt nach dieser Grobabschätzung der erforderliche Stichprobenumfang in der Größenordnung von etwa 600 bis 800 Ort-Zeit-Kombinationen (verteilt über das deutsche Straßennetz und das Erhebungsjahr).

### 3.2.2 Stichprobendesign

Bei einer einfachen Zufallsauswahl von Orten und Zeiten nach dem oben beschriebenen Muster ist eine starke räumlich-zeitliche Streuung der Erhebungseinheiten zu erwarten, da im vorliegenden Fall der Untersuchungszeitraum ein komplettes Jahr umfasst und sich die Beobachtung auf das gesamte deutsche Straßennetz bezieht. Wenn aber von Tag zu Tag die Erhebungsorte weit auseinanderliegen, so führt dies zu erheblichen organisatorischen Problemen und hohen Erhebungskosten.

Aus diesen Gründen wurde im vorliegenden Fall der Ansatz einer „Flächen-Wochen-Stichprobe“ gewählt. Bei einer Flächen-Wochen-Stichprobe handelt es sich um ein (mindestens) zweistufiges Auswahlverfahren, bei dem auf der ersten Stufe (Primärauswahl) Kombinationen von Gebietseinheiten und Erhebungsperioden ausgewählt werden.

#### Primärauswahl

Da sich die Verkehrszählung zur Ermittlung der Inlandsfahrleistung auf Deutschland als Ganzes bezieht und sich über ein komplettes Kalenderjahr erstreckt, bietet es sich an, das Bundesgebiet in 402 Kreise (Stand: 31.12.2011) und das Erhebungsjahr in 26 zweiwöchige Erhebungsperioden (Doppelwochen) zu zerlegen. Auswahl-einheiten der 1. Stufe (Primäreinheiten) sind somit Kombinationen des Typs „Kreis x Doppelwoche“. Die Auswahl-gesamtheit in Stufe 1 umfasst demnach  $26 \times 402 = 10.452$  Primäreinheiten.

Um den Zusammenhang zwischen Verkehrs- und Raumstruktur zu berücksichtigen und eine

Abdeckung des gesamten Erhebungsjahres zu gewährleisten, wurde die Primärauswahl als geschichtete Stichprobe angelegt, wobei Kreistyp (2 Typen) und Nummer der Doppelwoche (1-26) als Schichtungsmerkmale dienten. Die Typisierung der Kreise erfolgt dabei nach der Grenznähe<sup>6</sup>.

Aus jeder der  $2 \times 26 = 52$  Schichten (also pro Kombination von Kreistyp und Doppelwochennummer) wurde eine Primäreinheit zufällig ausgewählt (52 voneinander unabhängige Ziehungen von jeweils einer Kreis-Doppelwoche). Insgesamt besteht die Stichprobe der Primäreinheiten damit aus  $n = 52$  Kreis-Doppelwochen. Die Auswahl von nur einer Primäreinheit pro Schicht muss bei der Genauigkeitsbeurteilung z. B. durch ein Collapsed-strata-Verfahren berücksichtigt werden (COCHRAN 1977, S. 138-140). Die Entscheidung für eine Primäreinheit pro Schicht ist damit begründet, dass einerseits das Untersuchungsjahr gleichmäßig abgedeckt (Doppelwochen) sowie grenzferne und grenznahe Kreise adäquat berücksichtigt werden sollten, andererseits aber nur 2 Erhebungsteams parallel eingesetzt werden konnten.

#### Sekundärauswahl

Innerhalb jeder ausgewählten Primäreinheit ist beim hier verfolgten Stichprobenkonzept aus der Gesamtheit der Sekundäreinheiten eine Zufallsauswahl (Sekundärauswahl) vorzunehmen. Auszuwählen sind innerhalb der in die Stichprobe gelangten Kreis-Doppelwochen also „Streckenabschnittstage“, d. h. Kombinationen des Typs „Streckenabschnitt x Kalendertag“. Durch die Auswahl von Streckenabschnittstagen sind die im Rahmen der Verkehrszählung durchzuführenden Erhebungsaktionen örtlich und zeitlich festgelegt.

Da die Inlandsfahrleistung bei der Ergebnisdarstellung nach Straßenklasse<sup>7</sup> und Ortslage (innerorts, außerorts) gegliedert werden soll, wurden diese beiden Variablen bei der Sekundärauswahl (Aus-

<sup>6</sup> Unter Grenznähe wird hier verstanden, ob der Kreis eine Grenze zum Ausland hat oder nicht. Zu den „grenznahen“ Kreisen zählen auch jene, die vollständig von einem Kreis mit Grenze zum Ausland umschlossen sind (z. B. Cottbus oder Baden-Baden). Durch die Schichtung nach der Grenznähe sollte eine hinreichend genaue Erfassung des „kleinen Grenzverkehrs“ sichergestellt werden.

<sup>7</sup> Bundesautobahn (BAB), Bundesstraße (BS), Landesstraße (LS), Kreisstraße (KS) und Sonstige- bzw. Gemeindestraße (GS).



wahl der Ort-Zeit-Kombinationen) als Schichtungsmerkmale verwendet. Innerhalb jeder Primäreinheit entstehen so jeweils 9 Schichten (S1, S2, ..., S9) von Sekundäreinheiten (s. Tabelle 1).

Da eine Primäreinheit (Kreis-Doppelwoche) in zeitlicher Hinsicht aus 14 Kalendertagen besteht, beläuft sich innerhalb einer Primäreinheit die Zahl der Sekundäreinheiten pro Schicht<sup>8</sup> auf  $14 \times$  (Anzahl Streckenabschnitte des jeweiligen Typs).

Bei jeder ausgewählten Primäreinheit wird beim vorliegenden Stichprobendesign aus jeder der 9 Schichten von Sekundäreinheiten ein Streckenabschnittstag (auf BAB 2 Streckenabschnittstage) zufällig ausgewählt.<sup>9</sup> Insgesamt ergibt sich damit eine Stichprobe von 10 Streckenabschnittstagen je ausgewählter Kreis-Doppelwoche (s. Tabelle 2).

Da aus Kapazitätsgründen bei den Erhebungen in einem Kreis während einer Doppelwoche an ein und demselben Kalendertag immer nur höchstens eine Erhebungsaktion (Zählung an einem ausgewählten Streckenabschnitt) durchgeführt werden kann, muss – aus erhebungsorganisatorischen Gründen – abschließend geprüft werden, wie sich die 10 ausgewählten Streckenabschnittstage nach Wochentagen verteilen (jeder der 7 Wochentage kommt in der Doppelwoche genau 2-mal vor). Ist jeder Wochentag höchstens 2-mal besetzt, wird die Stichprobe der Sekundäreinheiten (Umfang 10) unverändert übernommen. Sind einzelne 2-mal besetzt, wird die gezogene Stichprobe von Sekundäreinheiten so abgeändert, dass auf einen Wochentag höchstens zwei Sekundäreinheiten entfallen. Die Verteilung nach Wochentagen kann erforderlichenfalls im Zuge der Hochrechnung über eine nachträgliche Schichtung der Streckenabschnittstage angepasst werden. Wichtig ist dabei jedoch, dass in der Stichprobe jede Kombination von Straßenklasse, Ortslage und Wochentag mindestens einmal enthalten ist.

Tabelle 3 zeigt beispielhaft ein mögliches Ergebnis der Sekundärauswahl für eine ausgewählte Kreis-Doppelwoche.

Ortslage	Straßenklasse				
	BAB	BS	LS	KS	GS
innerorts	-	S2	S4	S6	S8
außerorts	S1	S3	S5	S7	S9

Tab. 1: Sekundärauswahl: Schichtung der Streckenabschnittstage nach Straßenklasse und Ortslage

Ortslage	Straßenklasse				
	BAB	BS	LS	KS	GS
	Anzahl Streckenabschnittstage				
innerorts	-	1	1	1	1
außerorts	2	1	1	1	1

Tab. 2: Sekundärauswahl: Anzahl auszuwählender Streckenabschnittstage je Schicht

	Woche 1	Woche 2
Montag	LS(io)	BAB
Dienstag	LS(ao)	BS(io)
Mittwoch	-	GS(io)
Donnerstag	BAB	-
Freitag	GS(ao)	KS(ao)
Samstag	-	BS(ao)
Sonntag	KS(io)	-

Tab. 3: Beispiel für einen Stichprobenplan für eine Kreis-Doppelwoche

In der ersten Erhebungswoche würde am Montag ein Abschnitt einer Landesstraße innerorts (LS(io)) gezählt, am darauffolgenden Dienstag ein außerörtlicher Abschnitt derselben Straßenklasse (LS(ao)), der Mittwoch wäre erhebungsfrei usw. An jedem der 10 Zählstage findet eine 24-stündige Beobachtung des betreffenden Abschnitts statt, wobei die vorbeifahrenden Kfz getrennt nach Fahrzeuggruppe und Nationalität zu erfassen sind.

Bei 52 Kreis-Doppelwochen resultieren aus dem beschriebenen Auswahlverfahren bundesweit insgesamt  $52 \times 10 = 520$  zu erhebende Streckenabschnittstage pro Jahr. Pro Straßenklasse-/Ortslage-Kombination ergeben sich über alle Stadt- bzw. Landkreise hinweg jeweils 52 Streckenabschnittstage (Autobahn: 104), die über das gesamte Jahr verteilt sind.

Wie im Folgenden noch genauer dargestellt wird, ist der bisher verwendete Begriff „Streckenabschnitt“ eine Kurzbezeichnung, die als „Fahrtrichtungsabschnitt“ zu verstehen ist (ein Strecken-

<sup>8</sup> Kombination von Straßenklasse und Ortslage.

<sup>9</sup> Die unter Genauigkeitsgesichtspunkten wünschenswerte Auswahl einer größeren Anzahl von Sekundäreinheiten pro Schicht war wegen der damit verbundenen Erhebungskosten nicht realisierbar.

abschnitt besteht im Allgemeinen aus 2 Fahrtrichtungsabschnitten). Ausgewählt werden bei der hier verwendeten Auswahlgrundlage nämlich genau genommen „Fahrtrichtungsabschnittstage“, d. h. Kombinationen des Typs „Fahrtrichtungsabschnitt x Tag“. Für die Verkehrszählung bedeutet dies, dass an einem ausgewählten Beobachtungsort die vorbeifahrenden Fahrzeuge nur für eine Fahrtrichtung (alle Fahrstreifen einer Richtung) erfasst werden. Welche Fahrtrichtung dies ist, ergibt sich aus dem ausgewählten Fahrtrichtungsabschnitt.

### 3.2.3 Auswahlgrundlage der Sekundärauswahl

Als Auswahlgrundlage für die Ziehung einer Stichprobe von Streckenabschnitten dient das Navteq-Netz (Stand: 2. Quartal 2012), welches in Abschnitte der Länge 100 m zerlegt wurde. Die Entscheidung für eine Zerlegung in 100-Meter-Abschnitte stellt einen Kompromiss dar zwischen der Forderung nach einer möglichst hohen Homogenität der Verkehrsstärke auf dem Abschnitt und Praktikabilitätsaspekten (Auffinden geeigneter Befestigungsmöglichkeiten für die Messeinrichtung).

Für jeden Abschnitt sind die Geo-Koordinaten des Start-, End- und (außer bei ganz kurzen Abschnitten) Mittelpunkts hinterlegt (WGS84). Kommt ein Abschnitt in die Stichprobe, stellt grundsätzlich der Abschnittsmittelpunkt den Erhebungsstandort dar.

Das Navteq-Netz besteht aus rund 14 Mio. „Strecken“. Jede Strecke ist richtungsbezogen und beginnt bzw. endet mit einem Knoten, sofern alle Streckenattribute gleich bleiben. Ändert sich jedoch zwischen zwei benachbarten Knoten ein Attribut (z. B. Zahl der Fahrstreifen, zulässige Höchstgeschwindigkeit, Brücke, Tunnel), beginnt eine neue Strecke. Die Zerlegung in 100-Meter-Abschnitte beginnt an jedem Startpunkt einer Strecke von neuem, daher gibt es relativ viele „Restabschnitte“, also Abschnitte, die nicht die Standardlänge 100 m haben (außerorts: 38 % aller befahrbaren Abschnitte; innerorts: 71 %).

Aus der Zerlegung resultiert pro Richtung und 100-Meter-Abschnitt ein Datensatz, insgesamt sind es 24,187 Mio. 100-Meter-Abschnitte, im Folgenden der Einfachheit halber „Abschnitte“ genannt. Knapp 900.000 Abschnitte sind nicht befahrbar, wobei der Terminus „Befahrbarkeit“ zwei verschiedene Aspekte umfasst:

- Über das Attribut „Befahrbarkeit für Verkehrssysteme“ wurden alle Strecken ausgeschlossen, die in beiden Richtungen für Pkw und Lkw unzulässig sind. Dabei wurden nur Strecken berücksichtigt, die zur Kategorie „fourth class roads“ (oder niedriger) gehören. Dadurch wird verhindert, dass eventuell Strecken einer hohen Straßenkategorie (z. B. Autobahnen) als gesperrt markiert werden, weil im verwendeten Navteq-Netzrelease ein Autobahnabschnitt aufgrund einer Baustelle als nicht befahrbar klassifiziert ist. Insgesamt werden also Abschnitte, die z. B. nur für Fahrräder oder Lieferverkehr freigegeben sind, aus der Auswahlgrundlage ausgeschlossen.
- In Navteq bestehen „normale Straßen“ aus einer Strecke mit Hin- und Rückrichtung. Baulich getrennte Fahrbahnen werden jedoch als 2 Strecken behandelt. Eine Autobahnstrecke beispielsweise besteht aus einer Strecke je Fahrbahn, welche beide eine Hin- und eine Rückrichtung haben, von denen dann jeweils eine Richtung „gesperrt“, also nicht befahrbar ist. Entsprechend ist auch bei Einbahnstraßen die Gegenrichtung nicht befahrbar (zur Identifikation einer Einbahnstraße müssen zusätzlich Strecken mit baulich getrennten Fahrbahnen ausgeschlossen werden).

Weiterhin wurden noch rund 24.400 als befahrbar gekennzeichnete Abschnitte von Fährverbindungen entfernt, sodass die endgültige Auswahlgrundlage

#### 23.270.902 Fahrtrichtungsabschnitte

umfasst (davon 51,7 % innerorts). Schließlich wurden im Zuge der Datenaufbereitung noch die „Landesstraßen 2. Ordnung“ im Saarland in Kreisstraßen umcodiert (ab L201 aufwärts).

Für jeden Abschnitt ist eine Vielzahl von Attributen vorhanden, die im Rahmen der Zerlegung des Netzes zum Teil neu erzeugt werden mussten. So sind die für Zwecke der Schichtung und Hochrechnung elementaren Attribute Straßenklasse und Ortslage nicht in den originären Navteq-Daten enthalten. Die Straßenklasse wurde über das Attribut „roadnumber“ (offizielle Bezeichnung, wie z. B. B10) generiert, die Ortslage konnte mit hinreichender Genauigkeit über die Kombination der Attribute Bebauung und Tempolimit bestimmt werden. Eine 100%ig exakte Abbildung lässt sich jedoch in beiden Fällen nicht erreichen. Weitere Attribute neben

Straßenklasse/Ortslage	Abschnitte		Richtungskilometer	
	Anzahl	in %	km-Summe	in %
Bundesautobahn	251.009	1,38	21.281,3	1,64
Bundesstraße innerorts	219.387	1,21	13.187,9	1,02
Bundesstraße außerorts	615.431	3,39	48.196,2	3,72
Landesstraße innerorts	651.146	3,59	38.740,2	2,99
Landesstraße außerorts	1.225.630	6,75	96.130,5	7,43
Kreisstraße innerorts	643.672	3,54	38.657,5	2,99
Kreisstraße außerorts	1.263.906	6,96	101.450,7	7,84
Sonstige Straße innerorts	8.207.584	45,20	519.062,2	40,11
Sonstige Straße außerorts	5.080.948	27,98	417.453,1	32,26
Summe	18.158.713	100,00	1.294.159,5	100,00

Tab. 4: Anzahl Abschnitte und Summe der Richtungskilometer (ohne Rampen) in der Auswahlgesamtheit gegliedert nach Straßenklasse/Ortslage (Kreise ohne Grenze zum Ausland)

Straßenklasse/Ortslage	Abschnitte		Richtungskilometer	
	Anzahl	in %	km-Summe	in %
Bundesautobahn	53.776	1,08	4.623,0	1,28
Bundesstraße innerorts	54.951	1,10	3.375,1	0,93
Bundesstraße außerorts	191.545	3,83	14.792,4	4,08
Landesstraße innerorts	162.282	3,24	9.922,6	2,74
Landesstraße außerorts	338.735	6,77	26.396,5	7,28
Kreisstraße innerorts	174.886	3,50	10.694,6	2,95
Kreisstraße außerorts	367.811	7,35	29.186,7	8,05
Sonstige Straße innerorts	1.919.813	38,38	122.267,3	33,74
Sonstige Straße außerorts	1.738.198	34,75	141.115,7	38,94
Summe	5.001.997	100,00	362.373,9	100,00

Tab. 5: Anzahl Abschnitte und Summe der Richtungskilometer (ohne Rampen) in der Auswahlgesamtheit gegliedert nach Straßenklasse/Ortslage (Kreise mit Grenze zum Ausland)

der Abschnittslänge sind z. B. die Anzahl der Fahrstreifen sowie die Bundesland- und Landkreiszugehörigkeit des Abschnitts. Über die Betrachtung einarmiger Knoten lassen sich auch zu Sackgassen gehörende Abschnitte als solche kennzeichnen. Darüber hinaus wurden Attribute erzeugt, die anzeigen, ob ein Abschnitt überbrückt ist bzw. ob es sich bei der zugehörigen Strecke um eine Einbahnstraße handelt.

Durch Summation der Abschnittslängen gegliedert nach Straßenklasse lassen sich Netzlängen berechnen. So ergibt sich z. B. für Autobahnen (inklusive Rampen) eine km-Summe von knapp 30.400 km. Dabei ist zu beachten, dass in Navteq die Richtungsfahrbahnen separiert sind. Lässt man – wie in der Längenstatistik – die Rampen unbe-

rücksichtigt und halbiert man die verbleibende km-Summe, so resultiert aus den Navteq-Daten eine Länge des bundesdeutschen Autobahnnetzes von 12.952 km.

Die Tabellen 4 und 5 zeigen die Zahl der Abschnitte und die Summe der Richtungskilometer in der Auswahlgrundlage (402 Kreise) untergliedert nach Straßenklasse/Ortslage.

Wie erwähnt, lassen sich aus den Richtungskilometern durch Halbieren (näherungsweise) Netzlängen berechnen. In Tabelle 6 werden die aus Navteq resultierenden Netzlängen (ohne Rampen) mit denen der offiziellen Längenstatistik (Stand: 31.12.2011) verglichen.

Straßenklasse	Navteq	Längenstatistik <sup>1)</sup>
	Netzlänge in km	
BAB	12.952	12.845
Bundesstraße	39.776	39.700
Landesstraße	85.595	86.500
Kreisstraße	89.995	91.700
Sonstige	599.949	-

<sup>1)</sup> Quelle: Verkehr in Zahlen 2012/2013, S. 101

**Tab. 6:** Länge des bundesdeutschen Straßennetzes gemäß Navteq-Netz und Längenstatistik gegliedert nach Straßenklasse

Die Ergebnisse zeigen eine sehr gute Übereinstimmung der aus Navteq berechneten Netzlängen mit denen der Längenstatistik. Insgesamt ergibt sich aus den Navteq-Daten eine Gesamtnetzlänge von rund 828.300 km.

### 3.2.4 Ergebnis der Stichprobenziehung

#### Stufe 1: Primäreinheiten

Die Ziehung in Stufe 1 – für jede der  $2 \times 26 = 52$  Raum-/Zeit-Schichten (Kombinationen von Kreistyp und Doppelwochennummer) wird  $n = 1$  Kreis-Doppelwoche als Untersuchungsgebiet und Untersuchungszeitraum ausgewählt – erfolgt mit großen-proportionalen Auswahlwahrscheinlichkeiten (probability proportional to size; pps-Verfahren).

Innerhalb jeder Raum-/Zeit-Schicht ist dabei die Auswahlchance einer Kreis-Doppelwoche proportional zur Zahl der Streckenabschnittstage, welche auf den Kreis in der betreffenden Doppelwoche entfallen. Da zu jedem Kreis 14 Tage gehören, sind die Auswahlchancen proportional zur Zahl der Streckenabschnitte im jeweiligen Kreis (Summe über alle Straßenklasse-/Ortslage-Kombinationen).

Würde man in Stufe 2 keine geschichtete, sondern eine einfache Zufallsauswahl durchführen, so würde das in Stufe 1 verwendete pps-Verfahren in Verbindung mit dem festen Stichprobenumfang in Stufe 2 (jeweils 10 Sekundäreinheiten pro Primäreinheit) zu einer „selbstgewichtenden“ Stichprobe führen; alle Sekundäreinheiten innerhalb einer Schicht von Primäreinheiten hätten dann dieselbe Auswahlchance (vgl. COCHRAN 1977, S. 292-297 sowie KRUG, NOURNEY und SCHMIDT 1999, S. 147 und 151-152). Da in Stufe 2 aus den oben genannten Gründen die Stichprobenziehung tatsächlich aber getrennt nach Schichten (Straßenklasse/Ortslage) erfolgt und die Stichprobenumfänge sich zwischen den Schichten unterscheiden, sind die Fahrleistungsschätzer nicht selbstgewichtend.

Das Ergebnis der Ziehung auf der 1. Auswahlstufe (Kreisstichprobe) ist in Tabelle 7 dargestellt. Analog zur Darstellung für die Auswahlgesamtheit sind in den Tabellen 8 und 9 die Zahl der Fahrtrichtungsabschnitte und die zugehörige Summe der Rich-

Nr. Doppelwoche	von bis	Lkr. ohne Grenze		Lkr. mit Grenze		Grenze
		Kreiskennziffer	Name	Kreiskennziffer	Name	
1	1.1. - 14.1.	7331	Alzey-Worms	9780	Oberallgäu	Österreich
2	15.1. - 28.1.	16056	Eisenach, Stadt	12073	Uckermark	Polen
3	29.1. - 11.2.	9472	Bayreuth	5334	Städteregion Aachen	Belgien
4	12.2. - 25.2.	8117	Göppingen	10041	Regionalverband Saarbrücken	Frankreich
5	26.2. - 11.3.	5315	Köln, Stadt	9275	Passau	Österreich
6	12.3. - 25.3.	3351	Celle	7334	Germersheim	Frankreich
7	26.3. - 8.4.	5158	Mettmann	8315	Breisgau-Hochschwarzwald	Frankreich
8	9.4. - 22.4.	3241	Region Hannover	8335	Konstanz	Schweiz
9	23.4. - 6.5.	9362	Regensburg, Stadt	9180	Garmisch-Partenkirchen	Österreich
10	7.5. - 20.5.	3152	Göttingen	7337	Südliche Weinstraße	Frankreich
11	21.5. - 3.6.	8128	Main-Tauber-Kreis	12067	Oder-Spree	Polen
12	4.6. - 17.6.	9471	Bamberg	3456	Grafschaft Bentheim	Niederlande
13	18.6. - 1.7.	12068	Ostprignitz-Ruppin	9374	Neustadt a.d. Waldnaab	Tschechien
14	2.7. - 15.7.	14713	Leipzig, Stadt	9189	Traunstein	Österreich
15	16.7. - 29.7.	16062	Nordhausen	10045	Saarpfalz-Kreis	Frankreich
16	30.7. - 12.8.	8327	Tuttlingen	14521	Erzgebirgskreis	Tschechien
17	13.8. - 26.8.	1053	Herzogtum Lauenburg	13075	Vorpommern-Greifswald	Polen
18	27.8. - 9.9.	9184	Lkr. München	14628	Sächsische Schweiz-Osterzgebirge	Tschechien
19	10.9. - 23.9.	15090	Stendal	7340	Südwestpfalz	Frankreich
20	24.9. - 7.10.	8135	Heidenheim	1059	Schleswig-Flensburg	Dänemark
21	8.10. - 21.10.	3352	Cuxhaven	9272	Freyung-Grafenau	Tschechien
22	22.10. - 4.11.	5170	Wesel	5366	Euskirchen	Belgien
23	5.11. - 18.11.	2000	Hamburg	12052	Cottbus	Polen
24	19.11. - 2.12.	6534	Marburg-Biedenkopf	7235	Trier-Saarburg	Luxemburg
25	3.12. - 16.12.	7137	Mayen-Koblenz	8316	Emmendingen	Frankreich
26	17.12. - 30.12.	13072	Rostock	9475	Hof	Tschechien

**Tab. 7:** Stichprobenkreise gegliedert nach Grenznähe



Straßenklasse/Ortslage	Abschnitte		Richtungskilometer	
	Anzahl	in %	km-Summe	in %
Bundesautobahn	32.886	1,78	2.769,3	2,13
Bundesstraße innerorts	26.449	1,43	1.561,8	1,20
Bundesstraße außerorts	59.283	3,21	4.638,9	3,57
Landesstraße innerorts	60.622	3,28	3.624,6	2,79
Landesstraße außerorts	116.584	6,31	9.179,0	7,06
Kreisstraße innerorts	57.313	3,10	3.476,4	2,67
Kreisstraße außerorts	115.661	6,26	9.326,4	7,17
Sonstige Straße innerorts	907.522	49,13	56.852,3	43,70
Sonstige Straße außerorts	471.036	25,50	38.660,7	29,72
Summe	1.847.356	100,00	130.089,5	100,00

**Tab. 8:** Anzahl Abschnitte und Summe der Richtungskilometer (ohne Rampen) der in die Stichprobe gelangten Gebietseinheiten gegliedert nach Straßenklasse/Ortslage (n = 26 Kreise ohne Grenze zum Ausland)

Straßenklasse/Ortslage	Abschnitte		Richtungskilometer	
	Anzahl	in %	km-Summe	in %
Bundesautobahn	22.539	1,20	1.929,1	1,42
Bundesstraße innerorts	21.929	1,17	1.339,3	0,99
Bundesstraße außerorts	76.727	4,08	5.952,0	4,38
Landesstraße innerorts	66.139	3,52	4.044,4	2,98
Landesstraße außerorts	141.199	7,50	10.995,0	8,09
Kreisstraße innerorts	66.363	3,53	4.067,2	2,99
Kreisstraße außerorts	145.059	7,71	11.557,9	8,50
Sonstige Straße innerorts	721.398	38,34	45.732,5	33,65
Sonstige Straße außerorts	620.166	32,96	50.283,1	37,00
Summe	1.881.519	100,00	135.900,4	100,00

**Tab. 9:** Anzahl Abschnitte und Summe der Richtungskilometer (ohne Rampen) der in die Stichprobe gelangten Gebietseinheiten gegliedert nach Straßenklasse/Ortslage (n = 26 Kreise mit Grenze zum Ausland)

tungskilometer der in die Stichprobe gelangten Gebietseinheiten (2 x 26 = 52 Kreise) ausgewiesen (gegliedert nach Straßenklasse/Ortslage).

## Stufe 2: Sekundäreinheiten

Pro Primäreinheit werden im Zuge einer geschichteten Zufallsauswahl 2 BAB-Abschnitte und je ein Abschnitt der restlichen 8 Straßenklasse-/Ortslage-Kombinationen ausgewählt. Den jeweils 10 Beobachtungsorten, die zu einer ausgewählten Kreis-Doppelwoche gehören, wird dann zufällig ein Erhebungstag innerhalb der betreffenden Doppelwoche zugeordnet. Aus Kapazitätsgründen erfolgt dies unter der Nebenbedingung, dass in

jedem Kreis in der 14-tägigen Erhebungsperiode pro Kalendertag höchstens eine Zählaktion (0 bis 24 Uhr) durchgeführt wird.

Im Zusammenhang mit dem Schichtungskonzept bei den Sekundäreinheiten stellt sich die Frage, ob in jedem der 52 zufällig ausgewählten Landkreise alle Kombinationen von Straßenklasse und Ortslage vorhanden sind. Dies ist der Fall bei allen ausgewählten Landkreisen mit Ausnahme der Kreise Celle, Stendal, Freyung-Grafenau und Marburg-Biedenkopf. Hier gibt es jeweils keine BAB-Abschnitte.

Der Umstand, dass es Erhebungsgebiete (Kreise) gibt, auf deren Territorium sich keine Bundesauto-

bahnen befinden, führt dazu, dass in der Auswahlgesamtheit der Stufe 1 in einigen Primäreinheiten eine bestimmte Kategorie von Sekundäreinheiten – nämlich Fahrtrichtungsabschnittstage, die zu BAB gehören – nicht vorkommt. Da auf Stufe 2 des Auswahlverfahrens die Straßenklasse zusammen mit der Ortslage als Schichtungsmerkmal dient, ist dies gleichbedeutend damit, dass in einigen Primäreinheiten eine der insgesamt neun Schichten von Sekundäreinheiten – nämlich die BAB-Schicht – nicht besetzt, d. h. „leer“, ist.

Aus stichprobentheoretischer Sicht ist dies unproblematisch: Kommt eine Primäreinheit mit einer solchen „Leerschicht“ in die Auswahl, so bleibt diese Leerschicht bei der Erhebung unberücksichtigt; anstelle von 10 werden innerhalb der betreffenden Primäreinheit nur 8 Sekundäreinheiten (eine Einheit pro besetzter Schicht) ausgewählt und in die Erhebung einbezogen. In die Schätzfunktionen der zweiten Stufe fließen jeweils die Daten zu denjenigen Schichten von Sekundäreinheiten ein, die in der jeweiligen Primäreinheit auch tatsächlich besetzt sind.

Bei diesem Vorgehen würde sich im konkreten Fall die Zahl der in die Erhebung einbezogenen BAB-Fahrtrichtungsabschnittstage von 104 auf 96 reduzieren (in 4 der 52 ausgewählten Kreise kommt die Straßenklasse BAB nicht vor). Um gleichwohl bei BAB den ursprünglich geplanten Stichprobenum-

fang von 104 Fahrtrichtungsabschnittstagen einzuhalten, wurde für jeden in die Stichprobe gelangten Kreis ohne BAB ein Nachbarkreis mit BAB als „Ersatzgebiet“ ausgewählt. Im Ersatzgebiet werden zwei BAB-Fahrtrichtungsabschnittstage erhoben, die im Rahmen der Hochrechnung dann dem Kreis ohne BAB zugeordnet werden.

Da in drei der vier fraglichen Kreise ein unmittelbar angrenzender Nachbarkreis ebenfalls in der Stichprobe ist, wurden diese Nachbarkreise als Ersatzgebiete herangezogen (Celle: BAB-Abschnitte aus Lkr. Region Hannover; Stendal: BAB-Abschnitte aus Lkr. Ostprignitz-Ruppin; Freyung-Grafenau: BAB-Abschnitte aus Lkr. Passau). Im Kreis Marburg-Biedenkopf wurden die BAB-Abschnitte dem benachbarten Lahn-Dill-Kreis entnommen, da dieser im Hinblick auf Zahl und Struktur der Streckenabschnitte (ohne Autobahn) dem Kreis Marburg-Biedenkopf ähnlich ist.

Dabei waren die beiden „Ersatz-Fahrtrichtungsabschnittstage“ derjenigen Doppelwoche zugeordnet, in welcher im ursprünglichen Kreis (ohne BAB) die planmäßige Erhebung stattfand.

Die Tabellen 10 und 11 zeigen die Verteilungen der Auswahleinheiten der 2. Stufe (Fahrtrichtungsabschnittstage) nach Straßenklasse/Ortslage und Wochentag (für Kreise ohne bzw. mit Grenze zum Ausland; ohne Berücksichtigung etwaiger Feiertage).

Straßenklasse/Ortslage	Wochentag							Summe
	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So	
	Anzahl Fahrtrichtungsabschnittstage							
Bundesautobahn	7	10	7	8	4	11	5	52
Bundesstraße innerorts	4	5	4	3	3	4	3	26
Bundesstraße außerorts	4	1	4	3	6	3	5	26
Landesstraße innerorts	3	4	2	4	5	4	4	26
Landesstraße außerorts	6	3	3	2	4	5	3	26
Kreisstraße innerorts	4	3	5	3	3	2	6	26
Kreisstraße außerorts	3	6	3	4	4	4	2	26
Sonstige Straße innerorts	5	2	3	3	5	4	4	26
Sonstige Straße außerorts	5	4	2	5	3	3	4	26
Summe	41	38	33	35	37	40	36	260

Tab. 10: Fahrtrichtungsabschnittstage in der Stichprobe gegliedert nach Straßenklasse/Ortslage und Wochentag (Kreise ohne Grenze zum Ausland)

Straßenklasse/Ortslage	Wochentag							Summe
	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So	
	Anzahl Fahrtrichtungsabschnittstage							
Bundesautobahn	7	8	8	6	8	9	6	52
Bundesstraße innerorts	3	3	5	3	5	3	4	26
Bundesstraße außerorts	3	4	3	5	3	3	5	26
Landesstraße innerorts	4	4	4	3	3	3	5	26
Landesstraße außerorts	4	4	5	3	3	4	3	26
Kreisstraße innerorts	3	5	2	3	2	6	5	26
Kreisstraße außerorts	4	3	3	6	3	3	4	26
Sonstige Straße innerorts	4	4	3	4	5	3	3	26
Sonstige Straße außerorts	4	3	4	2	5	4	4	26
Summe	36	38	37	35	37	38	39	260

Tab. 11: Fahrtrichtungsabschnittstage in der Stichprobe gegliedert nach Straßenklasse/Ortslage und Wochentag (Kreise mit Grenze zum Ausland)

### 3.2.5 Standortprüfung

Im Zuge der Prüfung der für die Verkehrszählung ausgewählten Streckenquerschnitte vor Ort hat sich gezeigt, dass die als Auswahlgrundlage herangezogenen Navteq-Daten im Einzelfall mit Ungenauigkeiten behaftet sein können. Gegebenenfalls wurde dann für einen zufällig ausgewählten Zählabschnitt ein Ersatzstandort zur Verfügung gestellt. Dies war z. B. dann der Fall, wenn die vor Ort tatsächlich vorgefundene Ortslage oder Straßenklasse des Abschnitts nicht der Angabe in der Auswahlgrundlage entsprach. Teilweise rührt dies auch von zwischenzeitlich erfolgten Veränderungen im Straßenraum her (Umwidmung von Straßen, Versetzung von Ortsschildern). Darüber hinaus wurde in einigen Fällen ein Ersatzstandort gezogen, weil der ausgewählte Abschnitt nicht auf einer öffentlich befahrbaren Straße lag (Privatstraße, militärisches Gelände, Wegenutzung nur mit Ausnahmegenehmigung).

Des Weiteren ist in den Navteq-Daten die Zuordnung der Abschnitte zu Kreisen nicht 100%ig exakt. So sind z. B. 28 bzw. 88 Abschnitte von Landes- bzw. Kreisstraßen der Gebietseinheit Hamburg zugeordnet, obwohl die Abschnitte tatsächlich zu Nachbarkreisen gehören. Als Folge hiervon gibt es die entsprechenden Schichten in der Primäreinheit Hamburg nicht. Um auch hier keine Zählstage zu „verlieren“, wurden die entsprechenden Abschnitte (Kreis- und Landesstraßen) aus dem Nachbarkreis Harburg gezogen.

Ein spezielles Problem im Hinblick auf die Stichprobenauswahl und die Hochrechnung stellen die „sonstigen Straßen“ dar, weil es sich hier um eine sehr heterogene Kategorie handelt. In den Navteq-Daten reicht die Spannweite bei den sonstigen Straßen vom Feldweg bis zur mehrstreifigen Stadtstraße mit relativ hoher Verkehrsstärke. In Navteq gibt es kein wirklich geeignetes Kriterium zur weiteren Unterteilung dieser Straßenklasse. Es steht zwar das Merkmal „speedcategory“ zur Verfügung, anhand dessen man ggf. für die Zählung ungeeignete Abschnitte identifizieren könnte (Ausprägung 15: „forest roads, pedestrian zones, private roads, gravel roads or other roads not suitable for general traffic“). Allerdings ist auch innerhalb dieser Kategorie die Heterogenität noch beträchtlich, wie die beiden folgenden Beispiele von Zählstandorten zeigen (siehe Bild 2 und 3).

Obwohl es sich beim ersten Standort formal um eine öffentlich befahrbare Straße handelt, dürfte diese nach gängiger Auffassung wohl nicht als Landstraße gewertet werden. Der zweite Standort erfüllt demgegenüber die gängigen Erwartungen an eine sonstige Straße, obwohl dieser Standort – wie erwähnt – ebenfalls zur „speedcategory 15“ gehört.

Rund 16 % der zu sonstigen Straßen gehörenden Abschnitte in der Auswahlgrundlage weisen beim Navteq-Merkmal „speedcategory“ die Ausprägung 15 auf. Die Gesamtlänge der betreffenden Fahrtrichtungsabschnitte beläuft sich auf ca. 100.000 km.



Quelle: Siemens AG/ DTV-Verkehrsconsult GmbH

**Bild 2:** Zählstandort „sonstige Straße außerorts“ im Kreis Städteregion Aachen



Quelle: Siemens AG/ DTV-Verkehrsconsult GmbH

**Bild 3:** Zählstandort „sonstige Straße außerorts“ im Kreis Breisgau-Hochschwarzwald

Mangels geeigneter Ausschlusskriterien wurden die in Rede stehenden Abschnitte in der Auswahlgrundlage belassen. Der extremen Heterogenität der Abschnitte „sonstiger Straßen“ wurde bei der Fahrleistungsschätzung durch Verwendung sog. robuster Verfahren Rechnung getragen.

### 3.2.6 Strukturvergleich Stichprobe – Gesamtheit

Im Hinblick auf die Einschätzung der „Repräsentativität“ der Stichprobe bietet es sich an, die zufällig gezogenen 520 Fahrtrichtungsabschnitte hinsichtlich gewisser Strukturmerkmale mit der Auswahlgesamtheit zu vergleichen. Eine hierfür infrage kommende Variable ist das Merkmal functional road class (FC)<sup>10</sup>. Aufgrund der stark disproportionalen Aufteilung des Stichprobenumfangs auf die Schichten macht ein solcher Vergleich nur innerhalb der einzelnen Schichten (Kombinationen von Straßenklasse und Ortslage) Sinn. Die Ergebnisse sind in Tabelle 12 dargestellt.

Als zweites Merkmal sollen nun noch die in den Navteq-Daten hinterlegten DTVw-Werte (durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke an Werktagen) für Pkw und Lkw betrachtet werden. Diese geben für jeden 100-Meter-Abschnitt die mittlere werktägliche Verkehrsstärke pro Richtung und Strecke an und stammen aus dem bundesweiten PTV-Verkehrsmodell. Allerdings werden bei der entsprechenden Verkehrsumlegung Strecken der functional class 4 nicht berücksichtigt. Da die sonstigen Straßen zum Großteil zur Kategorie FC4 gehören (siehe oben), wird diese Straßenklasse in Tabelle 13 mit den über die jeweiligen Abschnitte gemittelten DTVw-Werten nicht betrachtet. Im Großen und Ganzen spiegelt die Stichprobe nach diesen Ergebnissen die Strukturen der Gesamtheit recht gut wider. Bei außerörtlichen sonstigen Straßen sind die Abschnitte von Straßen mit höherer Verbindungsfunktion etwas überrepräsentiert (FC1, FC2, FC3 im Vergleich zu FC4). Ähnliches gilt für außerörtliche Kreisstraßen (FC2 im Vergleich zu FC3), weshalb dort auch die durchschnittlichen DTVw-Werte in der Stichprobe höher ausfallen. Bei diesen Vergleichen ist jedoch zu beachten, dass es sich bei der Stichprobe um ungewichtete Rohdaten handelt, bei denen aufgrund der disproportionalen Aufteilung des Stichprobenumfangs auf die Schichten die grenznahen Kreise (bzw. deren Abschnitte) deutlich überrepräsentiert sind. Dies gilt auch für Kreise mit vielen 100-Meter-Abschnitten (wegen pps-Auswahl auf

<sup>10</sup> Es werden dabei 5 Kategorien nach Verbindungsfunktion unterschieden: FC0 (main roads), FC1 (first class roads), FC2 (second class roads), FC3 (third class roads) und FC4 (fourth class roads).



Straßenklasse/Ortslage	FC0		FC1		FC2		FC3		FC4	
	S	G	S	G	S	G	S	G	S	G
	Zeilenprozent									
Bundesautobahn	96,2	92,0	3,9	7,8	0	0,2	0	0	0	0
Bundesstraße innerorts	0	1,3	92,3	89,3	3,9	7,9	3,9	1,4	0	0,1
Bundesstraße außerorts	1,9	3,5	86,5	91,7	11,5	4,3	0	0,4	0	0,1
Landesstraße innerorts	0	0	1,9	2,4	84,6	84,1	11,5	12,6	1,9	0,9
Landesstraße außerorts	0	0	3,9	2,7	82,7	85,9	11,5	10,8	1,9	0,6
Kreisstraße innerorts	0	0	0	0,4	21,2	17,8	71,2	73,7	7,7	8,2
Kreisstraße außerorts	0	0	0	0,3	21,2	14,6	69,2	77,5	9,6	7,6
Sonstige Straße innerorts	0	0	0	0,2	1,9	2,0	1,9	4,8	96,2	93,0
Sonstige Straße außerorts	0	0	1,9	0,2	3,9	0,8	9,6	3,5	84,6	95,5

G = Auswahlgesamtheit; S = Stichprobe (ungewichtete Rohdaten)

**Tab. 12:** Verteilung des Merkmals functional road class in der Stichprobe (n = 520 Fahrtrichtungsabschnittstage) und in der Auswahlgesamtheit (ohne Rampen) gegliedert nach Straßenklasse/Ortslage

Straßenklasse/Ortslage	DTVw Pkw pro Richtung		DTVw Lkw pro Richtung	
	S	G	S	G
	Mittelwert (Kfz/Tag)			
Bundesautobahn	18.181	20.410	4.258	4.565
Bundesstraße innerorts	4.665	5.533	287	378
Bundesstraße außerorts	4.661	4.793	449	461
Landesstraße innerorts	2.641	2.418	122	126
Landesstraße außerorts	1.915	1.986	128	124
Kreisstraße innerorts	1.233	1.251	57	51
Kreisstraße außerorts	1.362	865	71	46

G = Auswahlgesamtheit; S = Stichprobe (ungewichtete Rohdaten)

**Tab. 13:** Mittlere DTVw-Werte (Pkw und Lkw) aus Verkehrsmodellierung in der Stichprobe (n = 520 Fahrtrichtungsabschnittstage) und in der Auswahlgesamtheit (ohne Rampen) gegliedert nach Straßenklasse/Ortslage (nur Abschnitte mit FC0 bis FC3)

Stufe 1 des Auswahlverfahrens). Im Zuge der Hochrechnung werden diese Disproportionalitäten ausgeglichen.

### 3.3 Erhebungsverfahren

#### 3.3.1 Beobachtungstechnik

Die Zählungen fanden mittels automatisierter Videobeobachtung des fließenden Verkehrs an den zufällig ausgewählten Fahrtrichtungsabschnitten und Tagen statt. An jedem ausgewählten Abschnitt sollte über (mindestens) 24 Stunden gezählt werden, wobei aus erhebungsorganisatorischen Gründen das Erhebungsintervall nicht notwendigerweise

zwischen 0 und 24 Uhr liegen musste. Es wurde jedoch festgelegt, dass jede Zählung mindestens 12 Stunden des eigentlichen (ausgewählten) Zähl-tages überdecken soll.

Im Rahmen der Beobachtung wurde die Zeichenfolge des Kfz-Kennzeichens gelesen<sup>11</sup> (mittels Front- und Heckkamera) und daraus die Nationalität des Fahrzeugs ermittelt. Um dem Datenschutz Rechnung zu tragen, wurde nur die Nationalität, nicht aber das komplette Kennzeichen gespeichert. Bei der Kennzeichenerfassung lassen sich 38 ver-

<sup>11</sup> Versicherungskennzeichen werden dabei nicht erkannt.

schiedene Nationalitäten (inkl. Deutschland) unterscheiden. Eine Übersicht findet sich in WIENERT et al. 2015, S. 11. Für die Datenanalyse ergibt sich bei der Nationalität noch eine weitere Kategorie, die unbekannte bzw. nicht erkannte Nationalitäten sowie nicht erkannte Kennzeichen beinhaltet.

Mit den Videokameras ist auch eine Fahrzeugklassifizierung möglich, bei der allerdings nur zwei Fahrzeugarten (Car = Pkw-ähnlich und Truck = Lkw-ähnlich) unterscheidbar sind. Daher kamen zum Zweck der Fahrzeugklassifizierung zusätzlich entsprechende Detektoren (Seitenradargeräte bzw. – auf Autobahnen – Überkopf-Radardetektoren) zum Einsatz. Die Verknüpfung der Daten erfolgte über einen „Zeitstempel“. Auf diese Weise war (überwiegend) die weithin gebräuchliche „8+1-Klassifizierung“ der Kraftfahrzeuge möglich.

Grundsätzlich kann man bei einer solchen Vorgehensweise den kompletten Querschnitt, also alle Richtungen, erfassen, da die Fahrzeuge sowohl beim Herannahen als auch beim Entfernen vom Zählquerschnitt aufgezeichnet werden (Front- und Heckkamera). An Querschnitten mit mehreren Fahrbahnen (vor allem Autobahnen) war dies aufgrund des enorm hohen Gerätebedarfs jedoch nicht möglich. In diesen Fällen wurde nur die Fahrbahn der ausgewählten Fahrtrichtung<sup>12</sup> (inklusive Krafträder) erhoben und auf die Erfassung der Gegenrichtung verzichtet.

### 3.3.2 Festlegung des Messstandorts

Aufgrund der jeweiligen örtlichen Gegebenheiten sind nicht alle zufällig ausgewählten Straßenabschnitte als Standort für eine Zählung bzw. Beobachtung geeignet (Platzmangel im Tunnel, fehlende Befestigungsmöglichkeiten, Sicherheitsaspekte etc.). Generell wurde deshalb vor Durchführung der Zählungen in einer Gebietseinheit (Stadt- bzw. Landkreis) eine Vorab-Recherche aller ausgewählten Erhebungsstandorte des Gebietes vorgenommen. Zu erwähnen wäre noch, dass für alle Standorte eine behördliche Genehmigung für die Durchführung der Zählung eingeholt werden musste.

Bei der Entscheidung für den endgültigen Erhebungsstandort wurde so vorgegangen, dass der

eigentlich ausgewählte Querschnitt bis zum jeweils nächstgelegenen Knoten in die eine oder andere Richtung verschoben werden konnte. Dabei sollte gewährleistet sein, dass im Vergleich zum ursprünglichen Standort durch die Verschiebung nicht in größerem Umfang Verkehrsströme hinzukommen oder wegfallen (z. B. durch Ein- bzw. Ausfahrten von stark frequentierten Tiefgaragen etc.). Der endgültige Standort konnte dann unter erhebungstechnischen Gesichtspunkten gewählt werden.

Generell sollte eine Verschiebung des Standortes nur längs der Hauptrichtung erfolgen. Die Gegenrichtung sollte nicht als Ersatzstandort gewählt werden, da sich hier die Verkehrsstärke und insbesondere der Ausländeranteil am Kfz-Verkehr deutlich unterscheiden kann (man denke z. B. an grenznahe Abschnitte an Freitagen, insbesondere auf Fernverkehrsstraßen). Dieses Prinzip ist insbesondere für Autobahnen relevant, d. h. eine Verschiebung des Standortes innerhalb des durch die beiden nächstgelegenen Anschlussstellen begrenzten Autobahnabschnitts war möglich. Da die Erhebung an Autobahnabschnitten ohnehin nur auf über die Autobahn führenden Brücken durchgeführt werden konnte (Begehungsverbot), ergibt sich als Erhebungsort auf Autobahnen die zum ursprünglichen Standort nächstgelegene (und für die Platzierung von Zählgeräten geeignete) Brücke. Falls im Umfeld des zufällig ausgewählten Querschnitts (d. h. auf dem gesamten Autobahnabschnitt zwischen den beiden nächsten Anschlussstellen) keine (geeignete) Brücke vorhanden ist, kommen die in Fahrtrichtung benachbarten Abschnitte infrage. Endet der aktuelle (ungeeignete) Abschnitt mit einem Autobahnkreuz oder -dreieck, sollte dem vorhergehenden der Vorzug gegeben werden und umgekehrt.

Wenn sich der eigentliche Standort als völlig ungeeignet erwies, d. h. keine geeignete Verschiebung möglich war, wurde ein – ebenfalls zufällig ausgewählter – Reserveort bereitgestellt. So wurden z. B. für die beiden im Kreis Nordhausen gezogenen BAB-Abschnitte (A 38) Ersatzstandorte im Nachbar-kreis Göttingen ausgewählt (ebenfalls A 38), da im Kreis Nordhausen bei allen über die A 38 führenden Brücken die Geländer eine Befestigung der Messeinrichtungen nicht zuließen. Aus demselben Grund konnten beide für Januar 2014 vorgesehenen BAB-Messungen im Kreis Eisenach (A 4) und eine BAB-Messung im Kreis Rostock (A 20, Dezember 2014) zunächst nicht durchgeführt werden. Diese Zählungen wurden mit entsprechenden Standortverschiebungen im Februar 2015 nachgeholt.

<sup>12</sup> Diese entspricht dem ausgewählten Fahrtrichtungsabschnitt.

### Sonderfälle

In 5 Fällen war der ausgewählte Streckenabschnitt am Erhebungstag komplett oder teilweise gesperrt (Baustelle, Wintersperre). Die betreffenden Streckenabschnittstage wurden dem Stichprobendesign entsprechend dennoch in die Erhebung einbezogen und die Verkehrsstärke mit null angegeben.

Bei Auftreten von – gegebenenfalls auch länger anhaltendem – Stau am Zählquerschnitt wurde die Erhebung wie geplant durchgeführt.

Diese Sonderfälle in der Stichprobe zu belassen ist aus methodischer Sicht besonders wichtig, da sich die Hochrechnung der Zählwerte auf das gesamte physikalisch vorhandene Straßennetz bezieht und nicht nur auf die jeweils nutzbaren Strecken. In der Realität steht immer ein Teil des Straßennetzes durch Sperrungen, Stau oder Arbeitsstellen temporär nicht oder nur eingeschränkt zur Erbringung von Fahrleistung zur Verfügung. Dies muss sich auch in den Zählstandorten widerspiegeln, weil ansonsten die Hochrechnung eine systematische Überschätzung der Fahrleistung ergeben würde.

## 3.4 Erhebungsverlauf und Datenaufbereitung

### 3.4.1 Erhebungsorganisation und -verlauf

Die Durchführung der Verkehrszählung erfolgte im Rahmen eines separaten Untersuchungsauftrages durch die Firmen Siemens AG und DTV-Verkehrsconsult GmbH, Aachen. Siemens war für die Bereitstellung der Messtechnik und die Durchführung der Messungen – einschließlich Auf- und Abbau der Kameras und Detektoren – verantwortlich. DTV-Verkehrsconsult war zum einen für die Prüfung und Dokumentation der Zählstandorte sowie für die Beschaffung der notwendigen Ausnahmegenehmigungen zuständig. In diesem Zusammenhang wurde für jeden einzelnen Erhebungsstandort ein „Steckbrief“ erstellt, auf dem auch eine etwaige Verschiebung des Standorts oder die Auswahl eines Ersatzstandorts vermerkt ist. Zum anderen oblag DTV-Verkehrsconsult die Datenaufbereitung auf der Einzelfahrzeug-Ebene, bei der die Daten der verschiedenen Messeinrichtungen (Kamera, Detektor) zu jeweils einem Datensatz zusammengefügt werden mussten. Details zu dieser sehr komplexen Aufgabe finden sich in den entsprechenden Projektberichten von Siemens und DTV-Verkehrs-

consult (WIENERT et al. 2015). Zu den Aufgaben von DTV-Verkehrsconsult gehörte weiterhin die Aggregation der Einzeldaten (Vorbeifahrten von Fahrzeugen) zu stündlichen Verkehrsstärkewerten für die in die Verkehrszählung einbezogenen Fahrtrichtungsabschnitte.

Die Zählungen konnten planmäßig zum 1. Januar 2014 begonnen werden. Allerdings stand aufgrund der vergleichsweise kurzen Vorlaufzeit nicht die komplette Messausrüstung von Beginn an zur Verfügung. Dies hatte zur Folge, dass anfangs nicht alle Systeme parallel im Einsatz waren, sodass für einige wenige Zähltagge entweder nur Detektordaten (d. h. ohne Nationalitätenerkennung) oder nur Kameradaten (d. h. ohne differenzierte Fahrzeugklassifizierung) zur Verfügung stehen.

Darüber hinaus erstreckt sich in einigen Fällen (Zähltagen) die Zählung nicht über die Mindestdauer von 24 Stunden (wegen Geräteausfall, teilweise bedingt durch Vandalismus).

### 3.4.2 Struktur der Analysedatei

Bei den aus der Verkehrszählung resultierenden Daten stellen die einzelnen Kombinationen von Zählabschnitten und Zählstunden die Aufbereitungseinheiten dar. Die Analysedatei weist Rechteckform auf, wobei die Zeilen der Datei den Fahrtrichtungsabschnittsstunden entsprechen und die Spalten die Zählergebnisse (stündliche Verkehrsstärkewerte für die Hauptrichtung) beinhalten. Dabei gehört zu jeder Kombination aus Fahrzeuggruppe und Nationalität eine Verkehrsstärkevariable. Aus den Detektoren resultiert eine 8+1-Klassifikation der Fahrzeuge. Liegt kein Detektorwert vor, wird die Fahrzeugartenerkennung der Kamera benutzt (Car, Truck, unknown). Somit gibt es insgesamt 12 verschiedene Ausprägungen des Merkmals Fahrzeugart. Bei 39 Kategorien der Variable Nationalität (inkl. „ohne“) resultieren  $12 \times 39 = 468$  Verkehrsstärkemerkmale, welche dann beliebig aggregiert werden können.

Wie bereits erwähnt, gibt es eine gewisse Zahl von Fahrzeugen, für die keine 8+1-Fahrzeugklassifizierung (TOPO.box oder Xtralis) vorliegt. Diese Fahrzeuge können somit nur nach den Kategorien Car und Truck (sowie unbekannt) aus den Kameradaten differenziert werden. In den Fällen (Zählstunden), wo beide Systeme (Detektor und Kamera) parallel im Einsatz waren, wurden daher – für jede Nationalität – die entsprechenden Anzahlen für

„Cars“ bzw. „Trucks“ gemäß der vorliegenden 8+1-Verteilung der jeweiligen Zählstunde aufgeteilt (Anzahl „Car“ nach Anteil Motorräder, Pkw, Pkw mit Anhänger, Lieferwagen; Anzahl „Truck“ nach Anteil Lkw ohne Anhänger, Lkw mit Anhänger, Busse, Sattelzugmaschinen). Die Aufteilung der Fahrzeuge mit unbekannter Fahrzeugart erfolgte (pro Nationalität) gemäß der Verteilung des „Gesamtverkehrs“ (falls in der jeweiligen Erhebungsstunde Fahrzeuge der jeweiligen Nationalität vorhanden sind, die gemäß TOPO.box oder Xtralis als Pkw, Pkw mit Anhänger, Lieferwagen, Motorrad, Lkw ohne Anhänger, Lkw mit Anhänger, Sattelzug oder Bus klassifiziert sind). Bei dieser Aufteilung innerhalb der einzelnen Erhebungsstunde ergibt sich wiederum ein gewisser Rest (Bsp.: Es wurden vier dänische „Cars“, aber keine Pkw, Lieferwagen, Pkw mit Anhänger oder Motorräder aus Dänemark in dieser Erhebungsstunde gezählt). Hier wurde für die Aufteilung die aggregierte Verteilung des Leicht-, Schwer- und Gesamtverkehrs nach Straßenklasse, Ortslage und Stundenintervall benutzt. In der Konsequenz führen die beschriebenen Aufteilungen zu Verkehrsstärkewerten mit Nachkommastellen.

Darüber hinaus gibt es 20 Erhebungsstandorte an Autobahnen, für die gar keine 8+1-Fahrzeugklassifizierung vorliegt (nur 2+0 Kameramessung). Hier wurden zur Imputation die Daten der jeweils nächstgelegenen Dauerzählstelle benutzt, indem die „cars“, „trucks“ und „unbekannt“ gemäß der tages- und stundenscharfen Verteilung des Leicht-, Schwer- bzw. Gesamtverkehrs aus der jeweils nächstgelegenen Dauerzählstelle aufgeteilt wurden. Es versteht sich, dass die entsprechenden stundenscharfen Aufteilungsfaktoren für alle Nationalitäten identisch sind.

Aus einer separat durchgeführten Vergleichsmessung zwischen TOPO.box und Xtralis geht hervor, dass der Xtralis-Detektor deutlich weniger motorisierte Zweiräder erkennt als der TOPO.box-Sensor. Daher wurde an den BAB-Standorten mit Xtralis-Messung eine Korrektur dieser Untererfassung vorgenommen, wobei die Korrekturfaktoren aus der genannten Vergleichsmessung abgeleitet wurden. In den entsprechenden Zählstunden wurden – sofern mindestens ein motorisiertes Zweirad erfasst wurde – 0,36 % der Pkw und 0,63 % der Lieferwagen den motorisierten Zweirädern zugeschlagen.

Auch im Hinblick auf das Merkmal Nationalität gibt es einen Anteil von Fahrzeugen, die keinem Her-

kunftsland zugeordnet werden konnten. Besonders hoch ist dieser Anteil bei Motorrädern und sonstigen Kfz. Nach Abschluss der Bereinigung der Fahrzeugart wurden pro Zählstunde und Fahrzeuggruppe die Fahrzeuge mit fehlender Nationalität gemäß der Verteilung der Nationalitäten bei Kfz mit Nationalitätenkennung aufgeteilt. Die auf Basis der Daten der jeweiligen Zählstunde nicht zuordenbaren Fahrzeuge (z. B. vier Pkw ohne Nationalität, aber kein weiterer Pkw mit bekannter Nationalität in dieser Erhebungsstunde) wurden anhand der aggregierten Verteilung der Nationalität nach Fahrzeugart, Straßenklasse-/Ortslage und Grenzfläche aufgeteilt.

Neben einigen allgemeinen Angaben wie dem Datum des Zähltags enthält die Datei noch einige Indikatoren, welche eine Einschätzung der Qualität der Messung – bezogen auf den kompletten Zähltag – ermöglichen sollen.<sup>13</sup> Es handelt sich um die folgenden fünf Kriterien (vgl. WIENERT et al. 2015):

- Anteil der Detektorwerte an der Gesamtfahrzeuganzahl (in %): Dieser Wert sollte möglichst bei 100 % liegen. Je niedriger der Wert, desto mehr kommen zu den von den Detektoren erfassten Fahrzeugen noch weitere Fahrzeuge aus den Kamerasystemen hinzu.
- Übereinstimmung Detektor/Frontkamera bezüglich der registrierten Vorbeifahrten (in %): Werte möglichst nahe bei 100 % zeigen an, dass die beiden wesentlichen Erfassungssysteme unabhängig voneinander eine vergleichbare Anzahl an Fahrzeugen erfasst haben.
- Anteil der aus dem Detektor ermittelten Fahrzeugarten (in %): Dieser Wert gibt an, bei wie vielen Fahrzeugen die Fahrzeugart aus dem Detektor direkt ermittelt werden konnte. Auch hier sollte der Wert möglichst bei 100 % liegen.
- Anteil der mit mindestens 2 Erfassungssystemen erfassten Fahrzeuge (in %): Auch dieser Prozentwert zeigt an, wie gut die einzelnen Erfassungssysteme aufeinander abgestimmt sind und somit ein erfolgreiches Matching der Detektor- und Kameradaten ermöglicht haben. Der Wert dieses Indikators sollte ebenfalls möglichst nahe bei 100 % liegen.

<sup>13</sup> Für die Hochrechnung und Auswertung wurden darüber hinaus noch Daten aus der Stichprobendatei zugespielt (insbesondere Straßenklasse, Ortslage und Abschnittslänge).



- Anteil der Fahrzeuge (in %), bei denen die Kennzeichenerfassung keine eindeutige Zuordnung zur Nationalität erbracht hat (mehrere Alternativen). Dieser Wert sollte möglichst nahe bei 0 % liegen.

### 3.4.3 Ausreißerbehandlung

Für die Identifikation von Ausreißern wurden die Erhebungsstandortbezogenen ungewichteten Gesamtverkehrsstärkewerte pro 24 Stunden benutzt (Anzahl Kfz/Anzahl Erhebungsstunden  $\times$  24). Für jede Schicht (Straßenklasse-/Ortslage-Kombination) wurde für dieses Merkmal der Interquartilsabstand ( $x_{0,75} - x_{0,25}$ ) berechnet. Überschreitet in einer Schicht der Maximalwert der Verkehrsstärke die Summe aus oberem Quartilswert und dreifachem Quartilsabstand (Schwellenwert), ist dies ein Indiz für Ausreißer (nach oben).

Das Vorgehen nach diesem gebräuchlichen (deskriptiven) Verfahren der Ausreißeridentifikation soll an einem kurzen Beispiel illustriert werden.

Beispiel Schicht „Autobahnen“:

- |                              |                                 |
|------------------------------|---------------------------------|
| a) Unterer Quartilswert:     | 13.992 Kfz/24h,                 |
| b) Oberer Quartilswert:      | 28.033 Kfz/24h,                 |
| c) Interquartilsabstand:     | 14.041 Kfz/24h,                 |
| d) 3 x Interquartilsabstand: | 42.123 Kfz/24h,                 |
| Summe b) + d):               | 70.156 Kfz/24h (Schwellenwert). |

Der in der Stichprobe festgestellte Maximalwert der (Richtungs-)Verkehrsstärke auf BAB liegt bei 68.890 Kfz/24h, der Schwellenwert wird also nicht überschritten. Somit liegt in der Schicht „Autobahnen“ kein Hinweis auf Ausreißer vor.

Führt man diese Berechnungen für alle 9 Kombinationen von Straßenklasse und Ortslage durch, so stellt man bei außerörtlichen Kreisstraßen und insbesondere bei sonstigen Straßen (inner- und außerorts) Überschreitungen des jeweiligen Schwellenwertes fest. Bei den übrigen Kombinationen von Straßenklasse und Ortslage liefert das Verfahren keine Hinweise auf Ausreißer in den Verkehrsstärkedaten.

Um im Sinne einer „robusten“ Schätzung der Inlandsfahrleistung den Einfluss extremer Stichprobenwerte auf das Hochrechnungsergebnis für die oben genannten Schichten zu begrenzen, wurden die Daten „winsorisiert“: Verkehrsstärkewerte,

welche die betreffende schichtspezifische Kappungsgrenze (cut off) K überschreiten, wurden durch den Wert K ersetzt.

Zur Bestimmung von K wurden Regressions- und Residuenanalysen durchgeführt. Als Ergebnis dieser Analysen wurden die folgenden Kappungsgrenzen ermittelt:

- außerörtliche Kreisstraßen:  $K = 3.000$  Kfz/24h,
- sonstige Straßen:  $K = 1.500$  Kfz/24h.

Bei Erhebungsstandorten mit höheren Verkehrsstärken wurden die Werte entsprechend herabgesetzt (Winsorisierung). Dies betrifft 5 Standorte auf außerörtlichen Kreisstraßen und 10 Standorte auf sonstigen Straßen. Insgesamt wurden also bei 15 von 520 Erhebungsstandorten (2,9 %) die empirisch ermittelten Verkehrsstärkewerte nach unten korrigiert. Durch die Winsorisierung bleibt der Stichprobenumfang ( $n = 520$ ) erhalten. Was sich verringert, ist die Stichprobensumme der Fahrzeugkilometer.

## 3.5 Hochrechnungsverfahren

Das Hochrechnungsverfahren ist auf das zweistufige Auswahlverfahren der bundesweiten Verkehrszählung abzustimmen. Im Folgenden wird deshalb das Grundmodell des Auswahlverfahrens nochmals in formaler Darstellung zusammenfassend beschrieben.

### 3.5.1 Auswahlverfahren in formaler Darstellung

#### Stufe 1: Geschichtete Auswahl von „Kreis-Doppelwochen“ nach einem pps-Verfahren

Da das Untersuchungsgebiet<sup>14</sup> in 402 Kreise und der Untersuchungszeitraum in 26 Doppelwochen gegliedert ist, besteht die Auswahlgesamtheit der 1. Stufe aus  $N = 402 \times 26 = 10.452$  Einheiten (Primäreinheiten, Kombinationen von Kreis und Doppelwoche).

<sup>14</sup> Genau genommen handelt es sich hier um das „Untersuchungsnetz“, d. h. um das Straßennetz auf dem Territorium der Bundesrepublik Deutschland.

Die Auswahlgesamtheit der 1. Stufe ist in G-Schichten zerlegt. Der Umfang einer beliebigen Schicht g wird mit  $N_g$  bezeichnet ( $g = 1, \dots, G$ ). Es gilt  $\sum N_g = N$ . Schichtungsmerkmale auf Stufe 1 sind das sachlich-räumliche Merkmal Kreistyp (grenznah, grenzfern) und das zeitliche Merkmal Nummer der Doppelwoche (1 bis 26). Die Zahl der Schichten beträgt somit  $G = 2 \times 26 = 52$ . Da 75 Kreise als „grenznah“ und 327 Kreise als „grenzfern“ eingestuft sind, besitzen jeweils 26 Schichten den Umfang 75 bzw. 327 ( $75 \times 26 + 327 \times 26 = 10.452$ ). Es gilt also  $N_g \in \{75, 327\}$ .

In Stufe 1 werden in jeder Schicht g aus den  $N_g$  Primäreinheiten  $n_g$  Einheiten zufällig ausgewählt. Gemäß Stichprobenplan der Verkehrszählung ist der Stichprobenumfang der g-ten Schicht von Primäreinheiten wie folgt festgesetzt:

$$n_g = n^* = 1 \quad (g = 1, \dots, G).$$

Insgesamt werden bei der Verkehrszählung auf Stufe 1

$$n = \sum n_g = G \cdot 1 = 52 \text{ Primäreinheiten}$$

ausgewählt. Der Auswahlatz

$$f_{1g} = 1/N_g$$

in der g-ten Schicht der 1. Auswahlstufe ist somit  $1/75 = 1,33 \%$  für die 26 Schichten, bei denen der Kreistyp „grenznah“ vorliegt und  $1/327 = 0,31 \%$  für die übrigen 26 Schichten, bei welchen das Merkmal Kreistyp die Ausprägung „grenzfern“ besitzt.

- Anmerkung

Das Ziehungsverfahren der 1. Stufe ist ganz allgemein so anzulegen, dass innerhalb der Schichten  $g = 1, \dots, G$  jeweils eine Ziehung mit Zurücklegen durchgeführt wird, wobei die Auswahlchance  $p_{gi}$  einer bestimmten Kreis-Doppelwoche (kurz „gi-te Primäreinheit“) bei jeder der  $n_g$ -Ziehungen proportional zur „Größe“ der Primäreinheit ist, d. h. proportional zur Zahl der Streckenabschnittstage (Sekundäreinheiten), welche auf den betreffenden Kreis und die betreffende Doppelwoche entfallen. Formal kann die Auswahlchance wie folgt dargestellt werden:

$$p_{gi} = M_{gi}/M_g.$$

wobei  $M_{gi}$  die Zahl Sekundäreinheiten in der gi-ten Primäreinheit ist und  $M_g = \sum_i M_{gi}$  die Ge-

samtzahl der Sekundäreinheiten innerhalb der g-ten Schicht von Primäreinheiten ( $i = 1, \dots, N_g$ ;  $g = 1, \dots, G$ ) bezeichnet.<sup>15</sup>

Da bei der Verkehrszählung  $n_g = 1$  gilt, ist die Inklusionswahrscheinlichkeit  $\pi_{gi}$  der gi-ten Primäreinheit, d. h. die Wahrscheinlichkeit, dass diese Einheit in die Stichprobe gelangt, gleich der Auswahlchance:

$$\pi_{gi} = p_{gi} \quad (g = 1, \dots, G; i = 1, \dots, N_g).$$

- Anmerkung

Falls  $n_g = \bar{n} > 1$ , so gilt beim oben beschriebenen Ziehungsverfahren für die Inklusionswahrscheinlichkeit

$$\pi_{gi} = 1 - (1 - p_{gi})^{\bar{n}}$$

(vgl. STENGER 1971, S. 183).

Zusammenfassend ist zur Auswahlstufe 1 festzustellen, dass sich die Verkehrszählung zur Ermittlung der Inlandsfahrleistung auf insgesamt 52 Raum-Zeit-Einheiten bezieht: In jeder der 26 Doppelwochen des Untersuchungszeitraums wird der Kfz-Verkehr in 2 Kreisen erhoben; dabei ist einer der beiden Kreise grenznah, der andere grenzfern.

Unter Effizienz Gesichtspunkten<sup>16</sup> resultiert aus einer Schichtung der Auswahlgesamtheit dann der größte Nutzen, wenn für jede auszuwählende Einheit eine Schicht gebildet wird (vgl. FOREMAN 1991, S. 224-225). Für das Auswahlverfahren auf Stufe 1 trifft dies zu, da hier die Zahl der Schichten gleich dem Stichprobenumfang ist ( $G = n = 52$ ). Wenn wie hier aus jeder Schicht von Primäreinheiten eine Einheit zufällig ausgewählt wird, so hat dies allerdings den Nachteil, dass die Fehlervarianz nicht mit „klassischen“ Verfahren geschätzt werden kann.

<sup>15</sup> Es handelt sich innerhalb der Schichten also um ein sog. pps-Verfahren (sampling with probability proportional to size). Dieses Auswahlverfahren bietet sich für Stufe 1 an, wenn wie hier aus den in die Auswahl gelangten Primäreinheiten in Stufe 2 jeweils eine feste Anzahl von Sekundäreinheiten ausgewählt wird (vgl. COCHRAN 1977, S. 292-297 und KRUG et al. 1999, S. 151 f.).

<sup>16</sup> Angesprochen ist hier der Zielkonflikt zwischen Erhebungsgenauigkeit und Erhebungskosten.

## Stufe 2: Geschichtete Auswahl von „Streckenabschnittstagen“ mit gleichen Auswahlwahrscheinlichkeiten

Der  $g_i$ -ten Primäreinheit (Kreis-Doppelwoche) sind  $M_{g_i}$  Sekundäreinheiten (Streckenabschnittstage<sup>17</sup>) zugeordnet. Die Gesamtheit der  $M_{g_i}$  Sekundäreinheiten in der  $g_i$ -ten Primäreinheit ist in  $L$  Schichten gegliedert. Der Umfang der  $h$ -ten Schicht von Sekundäreinheiten ( $h = 1, \dots, L$ ) innerhalb der  $g_i$ -ten Primäreinheit wird mit  $M_{g_i h}$  bezeichnet, der entsprechende Stichprobenumfang mit  $m_{g_i h}$ . Die  $j$ -te Sekundäreinheit innerhalb der  $h$ -ten Schicht von Sekundäreinheiten, welche zur  $g_i$ -ten Primäreinheit gehören, wird im Folgenden kurz „ $h$ -te Sekundäreinheit innerhalb der  $g_i$ -ten Primäreinheit“ genannt.

Schichtungsmerkmale auf Stufe 2 sind Straßenklasse und Ortslage, geschichtet wird hier also nur nach sachlich-räumlichen Merkmalen der Streckenabschnittstage. Innerhalb einer Primäreinheit umfasst die jeweils erste Schicht von Sekundäreinheiten ( $h = 1$ ) diejenigen Streckenabschnittstage, bei denen die Straßenklasse BAB vorliegt. Aus der Kombination der Streckenabschnittsmerkmale Ortslage (innerorts, außerorts) und Straßenklasse (Bundesstraße, Landesstraße, Kreisstraße, Gemeindestraße) ergeben sich weitere  $2 \times 4 = 8$  Schichten von Sekundäreinheiten, die mit  $h = 2, \dots, 9$  durchnummeriert werden. Insgesamt hat man es innerhalb jeder Primäreinheit also mit  $L = 9$  Schichten von Sekundäreinheiten zu tun.

- Anmerkung

Bei 2-stufiger Auswahl wird überwiegend nur auf der 1. Stufe geschichtet. Wenn allerdings getrennte Hochrechnungen für bestimmte Kategorien von Sekundäreinheiten gefordert sind (im hier vorliegenden Fall ist dies die Schätzung der Inlandsfahrleistung getrennt nach Straßenklasse und Ortslage), so bietet sich auch auf Stufe 2 eine Schichtung – ggf. mit unterschiedlichen Auswahlwahrscheinlichkeiten je Schicht – an.<sup>18</sup> Die höhere Komplexität des Auswahlverfahrens führt meist dazu, dass die Stichprobe nicht mehr selbstgewichtig ist (vgl. hierzu FOREMAN 1991, S. 235-238).

Falls in Stufe 1 die  $g_i$ -te Primäreinheit in die Auswahl kommt, werden in Stufe 2 aus den  $M_{g_i h}$  Sekundäreinheiten der  $h$ -ten Schicht  $m_{g_i h}$  Einheiten mittels einfacher Zufallsauswahl (Ziehen ohne Zurücklegen) ausgewählt ( $h = 1, \dots, L$ ). Gemäß Stichprobenplan der Verkehrszählung sind die schicht-

spezifischen Stichprobenumfänge  $m_{g_i h}$  auf Stufe 2 wie folgt festgelegt:

$$m_{g_i h} = 2 \quad \text{für } h = 1$$

und

$$m_{g_i h} = 1 \quad \text{für } h = 2, \dots, 9.$$

Außer in der Schicht  $h = 1$ , wo zwei Einheiten (hier BAB-Streckenabschnittstage) ausgewählt werden, kommt bei der Verkehrszählung also auch auf Stufe 2 pro Schicht jeweils nur eine Einheit in die Auswahl.

Der Auswahlatz  $f_{2g_i h}$  in der  $h$ -ten Schicht von Sekundäreinheiten innerhalb der  $g_i$ -ten Primäreinheit beträgt

$$f_{2g_i h} = 2/M_{g_i h} \quad \text{für } h = 1$$

und

$$f_{2g_i h} = 1/M_{g_i h} \quad \text{für } h = 2, \dots, 9.$$

Auf Stufe 2 variieren also die Auswahlätze<sup>19</sup> zwischen den  $L = 9$  Schichten von Sekundäreinheiten (Kombinationen von Straßenklasse und Ortslage). Sie sind – wie man sieht – aber auch je nach Primäreinheit verschieden, da auf die einzelnen Kreise des Untersuchungsgebiets unterschiedlich viele Streckenabschnitte der jeweiligen Straßenklasse-/Ortslage-Kombination entfallen.

Kommt die  $g_i$ -te Primäreinheit in die Stichprobe, so werden innerhalb dieser Primäreinheit insgesamt

$$m_{g_i} = m^* = 2 + 8 \times 1 = 10 \text{ Sekundäreinheiten}$$

ausgewählt. Da auf Stufe 1 insgesamt  $n = 52$  Primäreinheiten ausgewählt werden und auf Stufe 2 innerhalb jeder ausgewählten Primäreinheit jeweils

<sup>17</sup> Das Straßennetz auf dem Territorium der zum Untersuchungsgebiet gehörenden Kreise ist jeweils in Streckenabschnitte gegliedert, wobei der Begriff „Streckenabschnitt“ im Sinne von „Fahrtrichtungsabschnitt“ zu verstehen ist. Ganz entsprechend ist jede Doppelwoche des Untersuchungszeitraums in 14 Kalendertage untergliedert. Eine Kombination von Streckenabschnitt und Kalendertag wird kurz „Streckenabschnittstag“ genannt.

<sup>18</sup> Damit eine Schichtung auf Stufe 2 möglich ist, müssen die Schichtungsmerkmale in der Auswahlgrundlage verfügbar sein. Im vorliegenden Fall trifft dies zu, da Straßenklasse und Ortslage zum Katalog der aus dem Netzmodell bekannten Streckenabschnittsmerkmale gehören.

<sup>19</sup> Wegen der einfachen Zufallsauswahl in den Schichten sind die schichtspezifischen Auswahlätze als (bedingte) Inklusionswahrscheinlichkeiten der Sekundäreinheiten zu interpretieren.

$m^* = 10$  Sekundäreinheiten in die Auswahl kommen, liefert das zweistufige Auswahlverfahren der bundesweiten Verkehrszählung letztlich eine Stichprobe von

$$m = n \cdot m^* = 52 \cdot 10 = 520$$

Sekundäreinheiten. Der Gesamtstichprobenumfang auf der letzten Auswahlstufe ist durch den Stichprobenplan also fest vorgegeben, wie dies aus erhebungsorganisatorischer und forschungsökonomischer Sicht gefordert war.

### 3.5.2 Stichprobendaten als empirische Grundlage der Hochrechnung

Für die in die Auswahl gelangten  $m = 520$  Streckenabschnittstage wird das Merkmal Verkehrsstärke, d. h. die Zahl der Vorbeifahrten von Kraftfahrzeugen<sup>20</sup> am Erhebungsort<sup>21</sup> innerhalb eines 24-Stunden-Zeitraums untergliedert nach Art und Nationalität des Fahrzeugs durch apparative Beobachtung empirisch erhoben. Erhebungseinheiten der Verkehrszählung sind genau genommen eigentlich Kfz-Vorbeifahrten<sup>22</sup>, Erhebungsmerkmale sind Art und Nationalität des vorbeifahrenden Fahrzeugs<sup>23</sup>. Mit Blick auf die Hochrechnung ist es aber zweckmäßig, die originären Erhebungsdaten zu aggregieren und auf der Ebene der Sekundäreinheiten, d. h. der Streckenabschnittstage darzustellen.

Die Fahrleistung, welche auf einen in die Stichprobe gelangten Streckenabschnittstag entfällt, wird nicht direkt erhoben, sondern ergibt sich vielmehr im Rahmen der Datenaufbereitung als Produkt aus empirisch erhobener Verkehrsstärke (Anzahl Kfz)

<sup>20</sup> In die Erhebung sind alle Richtungsfahrstreifen eines Streckenabschnitts und alle auf diesen Fahrstreifen stattfindenden Vorbeifahrten von Kraftfahrzeugen einbezogen.

<sup>21</sup> Erhebungsort ist jeweils eine bestimmte Beobachtungsstelle (Messquerschnitt) innerhalb des in die Auswahl gelangten Streckenabschnitts.

<sup>22</sup> Fasst man Kfz-Vorbeifahrten als Tertiäreinheiten auf, so liegt innerhalb der ausgewählten Sekundäreinheiten (Streckenabschnittstage) auf der 3. Auswahlstufe also eine Vollerhebung vor. Die Tertiär- bzw. Erhebungseinheiten der Verkehrszählung haben Ereignischarakter.

<sup>23</sup> Das zusätzlich erhobene Merkmal Zeitpunkt der Vorbeifahrt spielt ebenso wie das Datum des Erhebungstags insoweit eine Rolle, als es Aufgliederungen der Fahrleistung nach zeitlichen Merkmalen erlaubt (z. B. Quartal, Wochentag, Tageszeit).

<sup>24</sup> Entsprechend der hier gewählten Zerlegung des Straßennetzes haben bis auf die kürzeren „Restabschnitte“ alle Streckenabschnitte die konstante Länge 0,1 km.

und a priori bekannter Länge des Streckenabschnitts<sup>24</sup> (in km). Die empirischen Werte des Merkmals Fahrleistung beziehen sich somit auf einzelne Streckenabschnittstage und haben die Dimension Kfz-km.

Folgende Symbole werden für die Einzelwerte der Fahrleistung in der Gesamtheit und der Stichprobe verwendet:

$Y_{gijh}, y_{gijh}$  Fahrleistung, welche auf den  $h$ -ten Streckenabschnittstag innerhalb der  $g$ -ten Kreis-Doppelwoche entfällt

$Y_{gijh}$  in der Gesamtheit  
( $g = 1, \dots, G; i = 1, \dots, N_g; h = 1, \dots, L; j = 1, \dots, M_{gih}$ )

$y_{gijh}$  in der Stichprobe  
( $g = 1, \dots, G; i = 1, \dots, n_g; h = 1, \dots, L; j = 1, \dots, m_{gih}$ )

Die Indices  $g$  und  $h$  beziehen sich auf die in den Auswahlstufen 1 und 2 gebildeten Schichten: Der Index  $g$  bezeichnet eine bestimmte Kombination von Kreistyp und Doppelwochennummer, der Index  $h$  eine bestimmte Kombination von Straßenklasse und Ortslage.

Die Indices  $i$  und  $j$  dienen der Kennzeichnung der einzelnen Einheiten innerhalb der auf den Auswahlstufen 1 und 2 gebildeten Schichten. Da bei der Verkehrszählung auf Stufe 1 aus jeder Schicht  $g$  jeweils nur eine Kreis-Doppelwoche ausgewählt wird, nimmt in der Stichprobe der Index  $i$  stets den Wert 1 an. Auf Stufe 2 wird aus den Schichten  $h = 2, \dots, 9$  jeweils eine Einheit ausgewählt, aus der Schicht  $h = 1$  werden dagegen zwei Einheiten gezogen. Der Index  $j$  nimmt dementsprechend für  $h = 2, \dots, 9$  stets den Wert 1 an, für  $h = 1$  dagegen die Werte 1 und 2.

Für jeden Streckenabschnittstag ( $g, i, h, j$ ) in der Stichprobe ( $g = 1, \dots, G; i = 1; h = 1, \dots, L; j = 1, \dots, m_{gih}$ ) liegt als Ergebnis der Erhebung und Datenaufbereitung nicht nur die Fahrleistung  $y_{gijh}$  sämtlicher Kfz (alle Fahrzeugarten, alle Nationalitäten) vor. Es gibt in der Stichprobe vielmehr für jede Kombination von Fahrzeugart  $r$  und Fahrzeugnationalität  $s$  einen Fahrleistungswert

$$y_{gijh}(r,s) \quad (r = 1, \dots, R; s = 1, \dots, S)$$

d. h. insgesamt  $R \cdot S$  verschiedene (spezifische) Fahrleistungsvariable. Die entsprechenden Einzelwerte in der Gesamtheit werden mit



$Y_{gijh}(r,s)$  ( $r = 1, \dots, R; s = 1, \dots, S$ )

bezeichnet

( $g = 1, \dots, G; i = 1, \dots, N_g; h = 1, \dots, L; j = 1, \dots, M_{gih}$ ).

Wie bereits ausgeführt, werden die fahrzeugart- und fahrzeugnationalitätsspezifischen Fahrleistungsvariablen  $y_{gijh}(r,s)$  im Rahmen der Aufbereitung der Stichprobendaten wie folgt gebildet:

$$y_{gijh}(r,s) = u_{gijh}(r,s) \cdot a_{gijh}$$

Hierbei bezeichnet

$u_{gijh}(r,s)$  die empirisch erhobene Verkehrsstärke (Fahrzeugart  $r$  und Fahrzeugnationalität  $s$ ) für den  $h$ -ten Streckenabschnittstag innerhalb der  $g$ -ten Kreis-Doppelwoche

und

$a_{gijh}$  die aus der Auswahlgrundlage bekannte Streckenabschnittslänge für den  $h$ -ten Streckenabschnittstag innerhalb der  $g$ -ten Kreis-Doppelwoche.

Bei den  $u$ - und  $a$ -Werten handelt es sich um Einzelwerte in der Stichprobe ( $g = 1, \dots, G; i = 1, \dots, N_g; h = 1, \dots, L; j = 1, \dots, m_{gih}$ ).

Sind die Einzelwerte der Verkehrsstärke sowie der Streckenabschnittslänge in der Gesamtheit gemeint, so werden hierfür die Symbole

$U_{gijh}(r,s)$  und  $A_{gijh}$

verwendet ( $g = 1, \dots, G; i = 1, \dots, N_g; h = 1, \dots, L; j = 1, \dots, M_{gih}$ ). Während die  $U$ -Werte unbekannt sind, können die  $A$ -Werte der Auswahlgrundlage entnommen werden. Da sich die Länge eines Streckenabschnitts von Tag zu Tag nicht ändert, sind die  $A$ -Werte für alle Streckenabschnittstage, welche zum selben Streckenabschnitt des Straßennetzes gehören, identisch.

### 3.5.3 Fahrleistungskennzahlen als Zielgrößen der Hochrechnung

Bei den im vorliegenden Forschungskontext interessierenden Fahrleistungskennzahlen handelt es sich zum einen um Totalwerte und zum anderen um Verhältniszahlen. Als Kennzahlen der Gesamtheit sind die betreffenden Total- und Verhältniszahlen naturgemäß unbekannt und deshalb Zielgrößen der Hochrechnung.

### Gliederung von Fahrleistungskennzahlen

Ziel der bundesweiten Verkehrszählung ist die empirische Ermittlung der Inlandsfahrleistung 2014 (in Kfz-km). Bei der Ergebnisdarstellung interessiert neben der Inlandsfahrleistung insgesamt auch – und in gewisser Weise sogar vorrangig – die Fahrleistung gegliedert nach einem oder mehreren der Merkmale

- Straßenklasse,
- Ortslage,
- Fahrzeugart und
- Fahrzeugnationalität.

Die Gliederungsmerkmale Straßenklasse und Ortslage sind Schichtungsmerkmale auf Stufe 2 des Auswahlverfahrens. Entsprechende Fahrleistungskennzahlen haben auf der Ebene der Sekundäreinheiten deshalb den Charakter von Schichttotalwerten (z. B. jährliche Gesamtfahrleistung auf BAB als Schichttotalwert) bzw. stellen Summen von gewissen Schichttotalwerten dar (z. B. jährliche Gesamtfahrleistung innerorts als Summe von vier Schichttotalwerten).

Demgegenüber sind die Gliederungsmerkmale Fahrzeugart und Nationalität keine Schichtungs-, sondern Erhebungsmerkmale, d. h. Merkmale der im Rahmen der Verkehrszählung beobachteten Kfz-Vorbeifahrten. Bei Fahrleistungskennzahlen, die sich auf einzelne Fahrzeugarten  $u$  und/oder Fahrzeugnationalitäten  $v$  beziehen, sind deshalb die entsprechenden spezifischen Fahrleistungsvariablen gemäß Kapitel 3.5.2 zu verwenden.

Gegenstand der Schätzung sind zumeist Fahrleistungstotalwerte, welche sich auf das Untersuchungsgebiet und den Untersuchungszeitraum als Ganzes beziehen. Aggregiert wird in all diesen Fällen über die  $G = 52$  „Raum-Zeit-Schichten“ der ersten Auswahlstufe (Kombinationen von Kreistyp und Doppelwochennummer). Die genannten Schichten decken die Grundgesamtheit in räumlicher Hinsicht vollständig ab, in zeitlicher Hinsicht ist die Abdeckung demgegenüber nicht komplett, da der Untersuchungszeitraum nur 364 Tage umfasst (26 Doppelwochen zu je 14 Tagen, d. h. insgesamt 364 Tage). Die Hochrechnung der Stichprobe liefert deshalb zunächst „vorläufige“ Fahrleistungsschätzwerte  $\hat{Y}$ , die noch mit dem Faktor  $365/364 = 1,0027$  multipliziert werden müssen, um die jeweiligen „endgültigen“ Schätzwerte  $\hat{Y}_{2014}$  für die Inlandsfahrleistung 2014 zu erhalten.

- Anmerkung

Auf den Faktor 365/364 könnte man bei der Hochrechnung z. B. dann verzichten, wenn eine der 26 Doppelwochen des Untersuchungszeitraums nicht 14, sondern 15 Kalendertage umfassen würde. In diesem Fall wäre das Kalenderjahr 2014 vollständig durch den Untersuchungszeitraum abgedeckt ( $25 \times 14 + 1 \times 15 = 365$ ).

Neben Fahrleistungstotalwerten sollen auch fahrleistungsbezogene Verhältniswerte ermittelt werden. Insbesondere interessiert hier die Fahrleistung ausländischer Kraftfahrzeuge im Verhältnis zur Fahrleistung aller (in- und ausländischen) Kraftfahrzeuge. Der auf ausländische Fahrzeuge entfallende Fahrleistungsanteil soll wie der Fahrleistungstotalwert nach den Merkmalen Straßenklasse, Ortslage und Fahrzeugart untergliedert werden.

### Totalwerte

Ganz allgemein erhält man Fahrleistungstotalwerte durch Aggregation von Einzelwerten  $Y_{gijh}(r,s)$  der Fahrleistung. Beispielsweise kann bei gegebener Fahrzeugart  $r$  und Fahrzeugnationalität  $s$  über sämtliche Einheiten  $j = 1, \dots, M_{gijh}$  innerhalb einer Schicht von Streckenabschnittstagen summiert werden; es ergibt sich dann folgendes Subtotal:

$Y_{gih}(r,s)$  Summe der Fahrleistungen (Fahrzeugart  $r$  und Fahrzeugnationalität  $s$ ), welche auf die  $h$ -te Schicht von Streckenabschnittstagen innerhalb der  $g$ -ten Kreis-Doppelwoche entfällt ( $g = 1, \dots, G$ ;  $i = 1, \dots, N_g$ ;  $h = 1, \dots, L$ ), d. h.  $Y_{gih}(r,s) = \sum_j Y_{gijh}(r,s)$ .

Summiert man zusätzlich über sämtliche Kreis-Doppelwochen der Gesamtheit, d. h. über  $i = 1, \dots, N_g$  und  $g = 1, \dots, G$ , so ergibt sich das Subtotal

$Y_{\cdot h}(r,s)$  Summe der Fahrleistungen (Fahrzeugart  $r$  und Fahrzeugnationalität  $s$ ), welche insgesamt auf die  $h$ -te Schicht von Streckenabschnittstagen entfällt ( $h = 1, \dots, L$ ), d. h.  $Y_{\cdot h}(r,s) = \sum_g \sum_i Y_{gih}(r,s)$ .

Subtotale der Form  $Y_{\cdot h}(r,s)$  sind auf jeden Fall von Interesse, da die entsprechende Fahrleistungssumme (Fahrzeugart  $r$  und Fahrzeugnationalität  $s$ ) eine bestimmte Kombination  $h$  von Straßenklasse und Ortslage betrifft und sich auf das Untersuchungsgebiet und den Untersuchungszeitraum als Ganzes bezieht. So könnte z. B.

$Y_{\cdot 1}(2,1)$

die Fahrleistung von Pkw ( $r = 2$ ) deutscher Nationalität ( $s = 1$ ) auf Bundesautobahnen ( $h = 1$ ) bezeichnen. Es interessieren aber auch Zusammenfassungen von gewissen Straßenklasse-/Ortslage-Kombinationen; so wäre z. B. unter der Summe

$Y_{\cdot 2}(2,1) + Y_{\cdot 3}(2,1)$

die Fahrleistung inländischer Pkw auf Bundesstraßen insgesamt ( $h = 2$ : Bundesstraßen innerorts;  $h = 3$ : Bundesstraßen außerorts) zu verstehen.

Thematisch relevante Fahrleistungstotalwerte können sich auch auf mehrere oder alle Fahrzeugarten sowie mehrere oder alle Fahrzeugnationalitäten beziehen. So ist z. B. das Subtotal

$Y_{\cdot 1}(\cdot, \cdot) = \sum_u \sum_v Y_{\cdot 1}(r,s)$

d. h. die Gesamtfahrleistung (alle Fahrzeugarten, alle Nationalitäten) auf Bundesautobahnen ( $h = 1$ ) sicherlich eine interessierende Fahrleistungskennzahl. Gleiches gilt zweifelsohne auch für das Gesamttotal

$Y_{\cdot \cdot}(\cdot, \cdot) = \sum_h Y_{\cdot h}(\cdot, \cdot)$

d. h. die gesamte Inlandsfahrleistung (alle Straßenklasse-/Ortslage-Kombinationen, alle Fahrzeugarten, alle Nationalitäten).

### Verhältniswerte

Neben einzelnen Totalwerten interessiert auch das Verhältnis zweier Fahrleistungstotalwerte. Obschon es grundsätzlich möglich ist, irgendwelche zwei Fahrleistungstotalwerte zueinander ins Verhältnis zu setzen, geht es im vorliegenden Zusammenhang doch vorrangig um Fahrleistungsanteile ausländischer Kfz.

Von besonderem Interesse sind die Verhältniswerte

$Q_{\cdot h}(r,s) = Y_{\cdot h}(r,s) / Y_{\cdot h}(\cdot, \cdot)$

( $h = 1, \dots, L$ ;  $r = 1, \dots, R$ ;  $s = 1, \dots, S$ ). Die Kennzahl  $Q_{\cdot h}(r,s)$  gibt für die Straßenklasse-/Ortslage-Kombination  $h$  und die Fahrzeugart  $r$  an, welcher Anteil an der betreffenden Fahrleistung auf die Fahrzeugnationalität  $s$  entfällt.

Wird nur grob zwischen Fahrzeugen deutscher ( $s = 1$ ) und ausländischer ( $s = 2$ ) Nationalität unterschieden, so stehen die Verhältniswerte



$$Q_{h,r}(r,2) = Y_{h,r}(r,2)/Y_{h,r}(r,1),$$

d. h. die nach Straßenklasse-/Ortslage-Kombinationen  $h$  und Fahrzeugarten  $r$  differenzierten „Ausländerfahrleistungsanteile“ im Mittelpunkt des Interesses.

### 3.5.4 Schätzung von Totalwerten

#### Grundkonzept

Im Kern besteht bei zweistufiger Auswahl das Hochrechnungsverfahren darin, dass die Schätzfunktionen der zweiten Stufe (hier Hochrechnung der Fahrleistungen, welche für die in Stufe 2 ausgewählten Streckenabschnittstage ermittelt werden, auf sämtliche Streckenabschnittstage einer in Stufe 1 ausgewählten Kreis-Doppelwoche) und der ersten Stufe (hier Hochrechnung der Fahrleistungen, welche für die in Stufe 1 ausgewählten Kreis-Doppelwochen ermittelt werden, auf sämtliche Kreis-Doppelwochen der Gesamtheit) kombiniert werden (vgl. KRUG, NOURNEY und SCHMIDT 1999, S. 151).

Die Hochrechnung erfolgt dabei

- getrennt nach Fahrzeugarten und Fahrzeugnationalitäten (d. h. getrennt nach den verschiedenen „spezifischen“ Fahrleistungsvariablen),
- getrennt nach Straßenklasse-/Ortslage-Kombinationen (d. h. getrennt nach den  $L = 9$  Schichten von Sekundäreinheiten) sowie
- getrennt nach den Kombinationen von Kreistyp und Doppelwochen-Nummer (d. h. getrennt nach den  $G = 52$  Schichten von Primäreinheiten).

Als stichprobentheoretisches Standardverfahren bietet sich im vorliegenden Kontext ein Vorgehen in mehreren Schritten an, wobei in jedem Schritt das Zielmerkmal „Fahrleistung“ nach Fahrzeugart und Fahrzeugnationalität differenziert wird:

- Hochrechnung der empirischen Fahrleistungsdaten – getrennt nach Straßenklassen-/Ortslage-Kombinationen – innerhalb der zufällig ausgewählten Kreis-Doppelwochen (Schätzfunktionen der zweiten Stufe: Schätzung von Klumpentotalwerten der Fahrleistung auf Basis von empirischen Einzeldaten),
- Hochrechnung der Schätzergebnisse für jede ausgewählte Kreis-Doppelwoche – getrennt

nach Straßenklasse-/Ortslage-Kombinationen – auf die betreffende Kombination von Kreistyp und Doppelwochennummer (Schätzfunktionen der ersten Stufe: Schätzung von Schichttotalwerten der Fahrleistung auf Basis von geschätzten Klumpentotalwerten)

- Aggregation der Fahrleistungsschätzungen – getrennt nach Straßenklasse-/Ortslage-Kombinationen – über alle Kombinationen von Kreistyp und Doppelwochennummer nach dem Verfahren der Verhältnisschätzung für geschichtete Stichproben<sup>25</sup>, wobei die Streckenabschnittslänge als Hilfsmerkmal dient (Schätzung von Gesamttotalwerten der Fahrleistung auf Basis von geschätzten Schichttotalwerten des Zielmerkmals und bekannten Schicht- bzw. Gesamttotalwerten des Hilfsmerkmals).

Bei der im abschließenden Hochrechnungsschritt durchzuführenden Verhältnisschätzung erhält man grob gesprochen die Schätzung für einen Gesamttotalwert der Fahrleistung, indem das auf Stichprobenbasis geschätzte Verhältnis<sup>26</sup> zwischen mittlerer Fahrleistung pro Streckenabschnitt (in Kfz-km) und mittlerer Streckenabschnittslänge (in km) mit dem aus der Auswahlgrundlage bekannten Totalwert der Streckenabschnittslänge (in km) multipliziert wird. Je nach Art der konkreten Umsetzung des skizzierten Grundgedankens kommt man zur kombinierten bzw. separaten Verhältnisschätzung (vgl. KRUG, NOURNEY und SCHMIDT 1999, S. 182-185).

Als Besonderheit ist in diesem Zusammenhang zu erwähnen, dass das Hilfsmerkmal Streckenabschnittslänge für die in die Stichprobe gelangten Einheiten nicht empirisch erhoben werden muss,

<sup>25</sup> Ganz allgemein sind bei Klumpenstichproben Verhältnisschätzung und pps-Verfahren dann vorteilhaft, wenn Klumpenmittelwert und Klumpengröße voneinander unabhängig sind (COCHRAN 1977, S. 255-258). Dies gilt hier näherungsweise, da bei den hier vorliegenden Klumpen, d. h. den Kreis-Doppelwochen, die klumpenspezifische mittlere Fahrleistung pro Streckenabschnitt und Tag kaum davon abhängt, wie groß die Zahl der Streckenabschnittstage innerhalb einer Kreis-Doppelwoche ist. Die freie Hochrechnung ist dann vorteilhaft, wenn die Klumpensumme von der Klumpengröße unabhängig ist; diese Bedingung ist hier aber keinesfalls erfüllt, da innerhalb der Kreis-Doppelwochen die Fahrleistungssumme selbstverständlich mit der Zahl der Streckenabschnittstage, d. h. der räumlich-zeitlichen Ausdehnung der Klumpen, wächst.

<sup>26</sup> Das hier angesprochene Verhältnis entspricht der mittleren Verkehrsstärke.

sondern bereits in der Auswahlgrundlage für sämtliche Streckenabschnitte (und damit auch für sämtliche Streckenabschnittstage) vorliegt. Der Totalwert des Hilfsmerkmals ist – getrennt nach Straßenklasse-/Ortslage-Kombinationen – also nicht nur wie üblich für die Gesamtheit bekannt, sondern auch für jede beliebige Teilgesamtheit und zwar unabhängig davon, ob die zur Abgrenzung der Teilgesamtheiten verwendeten Merkmale Schichtungsmerkmale sind oder nicht.

- Anmerkung

Da der Totalwert des Hilfsmerkmals sogar für jede einzelne Primäreinheit bekannt ist, könnte bereits bei der Schätzung der Klumpentotalwerte eine Verhältnisschätzung durchgeführt werden. Ganz analog wäre auch bei der Schätzung der einzelnen Schichttotalwerte eine Verhältnisschätzung möglich. Da spezifische Fahrleistungskennzahlen für einzelne Kreis-Doppelwochen (Klumpen) oder einzelne Kombinationen von Kreistyp und Doppelwochennummer (Schichten) nicht von Interesse sind, wurde diese Möglichkeit nicht weiter verfolgt, zumal dadurch auch die Fehlerrechnung nochmals schwieriger geworden wäre.

Im Folgenden werden die Hochrechnungsschritte genauer dargestellt.

### Schätzung der Fahrleistungssumme für eine einzelne ausgewählte Primäreinheit (Klumpentotalwert)

Wir betrachten eine beliebige Schicht  $g$  von Primäreinheiten. Die aus dieser Schicht in Stufe 1 zufällig ausgewählte Primäreinheit<sup>27</sup> – im Folgenden kurz „Primärstichprobeneinheit  $g1$ “ genannt – möge  $M_{g1}$  Sekundäreinheiten enthalten.<sup>28</sup> Die Zahl  $M_{g1}$  der Sekundäreinheiten, d. h. die „Größe“ des in der Schicht  $g$  ausgewählten Klumpens, ist eine Zufallsvariable. Zufallsabhängig sind auch die Um-

fänge  $M_{g1h}$  der Schichten  $h = 1, \dots, L$  (Kombinationen von Straßenklasse und Ortslage), in welche die zur Primärstichprobeneinheit  $g1$  gehörende Menge von Sekundäreinheiten gegliedert ist.

Aus den  $M_{g1h}$  Sekundäreinheiten der in die Auswahl gelangten Primärstichprobeneinheit  $g1$  wird in Stufe 2 des Auswahlverfahrens eine Stichprobe gezogen ( $h = 1, \dots, L$ ;  $L = 9$ ). Der Stichprobenumfang in Stufe 2 ist dabei fest und beträgt  $m_{g1h} = 2$  für die Schicht  $h = 1$  (diese Schicht entspricht der Straßenklasse BAB) und  $m_{g1h} = 1$  für die Schichten  $h = 2, 3, \dots, 9$  (diese 8 Schichten entsprechen bestimmten Kombinationen von Straßenklasse und Ortslage).

Da die Hochrechnung der Fahrleistung nicht nur getrennt nach Straßenklasse und Ortslage, sondern auch differenziert nach Fahrzeugart  $r$  und Fahrzeugnationalität  $s$  erfolgt, sind insgesamt  $R \cdot S$  verschiedene „spezifische“ Fahrleistungsvariablen

$$y_{g1hj}(r,s)$$

zu betrachten, die für die einzelnen Kombinationen  $(r,s)$  die Fahrleistung bezeichnen, welche auf die  $j$ -te Stichprobeneinheit aus der  $h$ -ten Schicht von Sekundäreinheiten ( $j = 1, 2$  für  $h = 1$ ;  $j = 1$  für  $h = 2, \dots, 9$ ) innerhalb der in Stufe 1 ausgewählten Primärstichprobeneinheit  $g1$  entfällt. Die Variable  $y_{g1hj}(r,s)$  ist eine Zufallsgröße und bezieht sich kurz gesagt auf die „Sekundärstichprobeneinheit  $g1hj$ “.

Da die Auswahl in Stufe 2 – hier werden aus  $M_{g1h}$  Einheiten  $m_{g1h}$  Einheiten ausgewählt – mit gleichen Auswahlwahrscheinlichkeiten erfolgt, kann der Totalwert  $Y_{g1h}(r,s)$  geschätzt werden, indem man die Stichprobensumme des Zielmerkmals „Fahrleistung“ mit dem Hochrechnungsfaktor multipliziert (freie Hochrechnung):

$$(A) \quad \hat{Y}_{g1h}(r,s) = (M_{g1h}/m_{g1h}) \sum_j y_{g1hj}(r,s)$$

Unter Verwendung des Stichprobenmittelwerts kann der Schätzer für den Klumpentotalwert auch wie folgt dargestellt werden:

$$(A^*) \quad \hat{Y}_{g1h}(r,s) = M_{g1h} \bar{y}_{g1h}(r,s)$$

wobei der Stichprobenmittelwert

$$\bar{y}_{g1h}(r,s) = (1/m_{g1h}) \sum_j y_{g1hj}(r,s)$$

die Dimension „Kfz-km pro Streckenabschnitt und Tag“ besitzt.

Als Produkt von Klumpenmittelwert (Dimension „Kfz-km pro Streckenabschnitt und Tag“) und

<sup>27</sup> Werden in Stufe 1 aus einer Schicht  $g$  zwei oder mehr Primäreinheiten zufällig ausgewählt (Ziehungsverfahren mit Zurücklegen), so ist die nachfolgend beschriebene Schätzung für jede in die Stichprobe gelangte Primäreinheit durchzuführen.

<sup>28</sup> Innerhalb jeder Schicht von Primäreinheiten gibt es zu jedem Streckenabschnitt des Straßennetzes 14 Streckenabschnittstage. Die Zahl  $M_{g1}$  ist deshalb das 14-fache der Zahl der Streckenabschnitte, aus denen das Straßennetz des in die Stichprobe gelangten Kreises besteht.

Schichtumfang (Dimension „Streckenabschnittstage pro Kreis und Doppelwoche“) hat der Schätzer (A\*) die Dimension „Kfz-km pro Kreis und Doppelwoche“.

Wird in Stufe 2 aus einer Schicht  $h$  nur eine einzelne Sekundäreinheit ausgewählt ( $m_{g1h} = 1$ ), so gilt  $\bar{y}_{g1h}(r,s) = y_{g1h1}(r,s)$  und somit

$$\hat{Y}_{g1h^*}(r,s) = M_{g1h} y_{g1h1}(r,s).$$

Der in die Hochrechnung einfließende Schichtumfang  $M_{g1h}$  entspricht der Gesamtzahl der Streckenabschnittstage von Streckenabschnitten der  $h$ -ten Straßenklasse-/Ortslage-Kombination innerhalb der Kreis-Doppelwoche  $g1$ . Da eine Doppelwoche 14 Kalendertage umfasst und sich das Straßennetz kurzfristig nicht ändert, gilt

$$M_{g1h} = 14 \cdot K_{g1h},$$

wobei  $K_{g1h}$  die Zahl der im Straßennetz vorfindlichen Streckenabschnitte der  $h$ -ten Straßenklasse-Ortslage-Kombination auf dem Gebiet desjenigen Kreises bezeichnet, welcher der ausgewählten Primäreinheit  $g1$  zugeordnet ist.

Die Schätzfunktion (A) für die Klumpensumme  $Y_{g1h^*}(r,s)$  kann also auch wie folgt dargestellt werden:

$$(A^{**}) \hat{Y}_{g1h^*}(r,s) = 14 K_{g1h} \bar{y}_{g1h}(r,s)$$

Wenn unter der Schicht  $g$  beispielsweise die Teilgesamtheit „grenzferne Kreise in der 4. Doppelwoche des Jahres 2014“ zu verstehen ist und aus dieser Schicht der Kreis „Göppingen“ (genauer die Primäreinheit  $g1$  „(Kreis Göppingen)  $\times$  (Doppelwoche Nr. 4)“ in die Stichprobe gelangt, so bezieht sich die Fahrleistungsschätzung  $\hat{Y}_{g1h^*}(r,s)$  in räumlicher Hinsicht auf den ausgewählten Kreis Göppingen und in zeitlicher Hinsicht auf die Doppelwoche Nr. 4 des Jahres 2014.

### Schätzung der Fahrleistungssumme für eine Schicht von Primäreinheiten (Schichttotalwert)

Gemäß Stichprobenplan der Verkehrszählung wird aus jeder Schicht  $g$  von Primäreinheiten jeweils eine Einheit zufällig ausgewählt, wobei die Auswahlchance und damit auch die Inklusionswahrscheinlichkeit der  $g_i$ -ten Einheit durch

$$\pi_{gi} = M_{gi}/M_g.$$

gegeben ist ( $i = 1, \dots, N_g$ ).

Bei der Hochrechnung der Fahrleistung vom ausgewählten Klumpen  $g1$  auf die Schicht  $g$  kann die wahre Klumpensumme  $Y_{g1h^*}(r,s)$  natürlich nicht verwendet werden, da diese Größe unbekannt ist (in Stufe 2 wird ja nur eine Stichprobe von Sekundäreinheiten aus Klumpen  $g1$  untersucht). Zur Schätzung des unbekanntes Schichttotalwerts  $Y_{g^*h^*}(r,s)$  muss somit die geschätzte Klumpensumme

$$\begin{aligned} \hat{Y}_{g1h^*}(r,s) &= (M_{g1h}/m_{g1h}) \sum_j y_{g1hj}(r,s) \\ &= M_{g1h} \bar{y}_{g1h}(r,s) \end{aligned}$$

herangezogen werden.

Unter Berücksichtigung der ungleichen Auswahlchancen in Stufe 1 ist

$$(B) \hat{Y}_{g^*h^*}(r,s) = \hat{Y}_{g1h^*}(r,s)/\pi_{g1}$$

bzw.

$$(B^*) \hat{Y}_{g^*h^*}(r,s) = M_{g1h} \bar{y}_{g1h}(r,s)/\pi_{g1}$$

Schätzfunktion für den interessierenden Schichttotalwert  $Y_{g^*h^*}(r,s)$  der Fahrleistungen. Bei (B) handelt es sich um einen Horvitz-Thompson-Schätzer für den Fall einer Stichprobe vom Umfang 1 (vgl. COCHRAN 1977, S. 259-261).

#### • Anmerkung

Würde man in Stufe 1 aus einer Schicht  $g$  mehr als eine Primäreinheit nach dem oben beschriebenen Ziehungsverfahren auswählen ( $n_g = \bar{n} > 1$ ), so wäre in (B) der Schätzer  $\hat{Y}_{g1h^*}(r,s)/\pi_{g1}$  durch

$$\sum_i \hat{Y}_{gih^*}(r,s)/\pi_{gi}$$

zu ersetzen, wobei über  $i = 1, \dots, \bar{n}$  summiert werden müsste und die Inklusionswahrscheinlichkeiten

$$\pi_{gi} = 1 - (1 - p_{gi})^{\bar{n}}$$

zu verwenden wären (vgl. STENGER 1971, S. 183).

Setzt man in (B\*) die Inklusionswahrscheinlichkeit  $\pi_{g1} = M_{g1}/M_g$  ein, so erhält man

$$(B^{**}) \hat{Y}_{g^*h^*}(r,s) = M_g [M_{g1h}/M_{g1}] \bar{y}_{g1h}(r,s).$$

Hierbei ist  $\hat{W}_{g1h} = M_{g1h}/M_{g1}$  ein Schätzer für den Anteil der Streckenabschnittstage in der Schicht  $g$ , welche zur Straßenklasse-/Ortslage-Kombination  $h$  gehören.

- Anmerkung

Wenn es bei der Verkehrszählung darum ginge, den Fahrleistungstotalwert nur für eine ganz bestimmte Straßenklasse-/Ortslage-Kombination  $h$  zu schätzen (z. B. nur für  $h = 1$ , d. h. Autobahnen), so wäre es zweckmäßig, der Stichprobenziehung in Stufe 1 die Auswahlchancen

$$p_{gi}^* = M_{gih}/M_{g \cdot h} \quad (i = 1, \dots, N_g)$$

zugrunde zu legen. In diesem Fall nimmt der Schätzer für den Fahrleistungstotalwert  $Y_{g \cdot h}(r, s)$  die einfache Form

$$\hat{Y}_{g \cdot h}^*(r, s) = M_{g \cdot h} \bar{y}_{g1h}(r, s)$$

an (selbstgewichtende Stichprobe in der Schicht  $g$ ).

In ( $B^{**}$ ) erscheint der Schätzer  $\hat{W}_{g1h} = M_{g1h}/M_{g1}$ , obwohl der wahre Wert  $M_{g \cdot h}/M_g$  des Anteils der Streckenabschnittstage in der Schicht  $g$ , welche zur Straßenklasse-/Ortslage-Kombination  $h$  gehören, aus der Auswahlgrundlage bekannt ist. Bei freier Hochrechnung der Schichttotalwerte  $Y_{g \cdot h}(r, s)$  der Fahrleistung ( $g = 1, \dots, G$ ) und damit auch des Gesamttotalwerts  $Y_{\cdot \cdot h}(r, s)$  wird die tatsächlich vorliegende Information über die Struktur der Schichten  $g$  (Verteilung der Streckenabschnittstage nach Straßenklasse und Ortslage) also nicht genutzt.

Wie im Folgenden deutlich wird, fließt demgegenüber bei einer separaten Verhältnisschätzung des Gesamttotalwerts der Fahrleistung die Information über die strukturelle Zusammensetzung der einzelnen Schichten ein (Verteilung der gesamten Streckenabschnittslänge nach Straßenklasse und Ortslage). Bei einer kombinierten Verhältnisschätzung wird zwar nicht die Struktur der einzelnen Schichten (bestimmte Kombination von Kreistyp und Doppelwoche), aber immerhin die strukturelle Zusammensetzung der Gesamtheit (alle Kreistypen, alle Doppelwochen) berücksichtigt.

### Schätzung der Fahrleistungssumme für die Gesamtheit der Primäreinheiten (Gesamttotalwert)

Um zu einer Schätzung des Gesamttotalwerts  $Y_{\cdot \cdot h}(r, s)$  der Fahrleistungen – differenziert nach Straßenklasse/Ortslage, Fahrzeugart und Fahrzeugnationalität – zu kommen, müssen die Schätzungen der Schichttotalwerte in geeigneter Weise zusammengefasst werden. Da für jede Schicht von Primäreinheiten, d. h. für jede Kombination von

Kreistyp (grenzfern, grenznah) und Doppelwochennummer (1 bis 26) die Straßennetzlänge differenziert nach Straßenklasse und Ortslage bekannt sind, kann die Schätzung des Gesamttotalwerts der Fahrleistungen nach dem Konzept der Verhältnisschätzung bei geschichteten Zufallsauswahlen erfolgen, wobei zwischen kombinierter und separater Verhältnisschätzung zu unterscheiden ist (KRUG, NOURNEY und SCHMIDT 1999, S. 182 ff.).

Bei der nachfolgend dargestellten Verhältnisschätzung dient die Streckenabschnittslänge (als Merkmal des Streckenabschnittstags,<sup>29</sup> nicht des Streckenabschnitts!) als Hilfsmerkmal zur Hochrechnung des Zielmerkmals Fahrleistung. Die Streckenabschnittslänge eignet sich als Hilfsmerkmal, da die auf einem Streckenabschnitt des Straßennetzes „entstehende“ Summe der Kfz-km bei gegebener Verkehrsstärke direkt proportional zur Abschnittslänge ist. Da die Länge der Streckenabschnitte des untersuchten Straßennetzes variiert (Restabschnitte sind kürzer als Abschnitte mit Standardlänge 0,1 km), ist ein Teil der Variation der streckenabschnittsbezogenen Fahrleistung auf die Variation der Streckenabschnittslänge<sup>30</sup> zurückzuführen. Bei der Verhältnisschätzung wird dieser Zusammenhang berücksichtigt, was gegenüber der freien Hochrechnung zu einer Verbesserung der Schätzgenauigkeit führt.

Nach dem Konzept der Verhältnisschätzung muss für jede Schicht  $g$  von Primäreinheiten zusätzlich zur Fahrleistung auch das Merkmal Streckenabschnittslänge aus der Stichprobe (frei) hochgerechnet werden. Der Schichttotalwert  $A_{g \cdot h}$  der Abschnittslänge wird analog zu (B) bzw. ( $B^*$ ) wie folgt geschätzt<sup>31</sup>:

<sup>29</sup> Hilfs- und Zielmerkmal müssen sich auf dieselben Einheiten beziehen (hier Streckenabschnittstage).

<sup>30</sup> Die Streuung der Streckenabschnittslänge ist je nach Straßenklasse und Ortslage verschieden.

<sup>31</sup> Der Schätzer (C) für sich allein ist natürlich nicht von Interesse, da die Streckenabschnittslängen ja aus der Auswahlgrundlage vollständig bekannt sind. Man kann (C) aber zur „Korrektur“ des Schätzers (B) verwenden. Ist beispielsweise die geschätzte Summe des Merkmals „Streckenabschnittstagslänge“ wesentlich größer als der wahre Wert, so kann dies als mangelnde Repräsentativität der Stichprobe interpretiert werden. Wegen der approximativen Proportionalität von Fahrleistung und Streckenabschnittslänge spricht eine Überschätzung der Abschnittslängensumme für eine Überschätzung der Fahrleistungssumme. Im Rahmen der Verhältnisschätzung wird deshalb im vorliegenden Fall die frei hochgerechnete Summe der Fahrleistungen entsprechend nach unten korrigiert (vgl. hierzu BARNETT 1991, S. 84 ff.).



$$(C) \hat{A}_{g \cdot h \cdot} = \hat{A}_{g1h} / \pi_{g1}$$

bzw.

$$(C^*) \hat{A}_{g \cdot h \cdot} = M_{g1h} \bar{a}_{g1h} / \pi_{g1} \cdot$$

Da der Stichprobenmittelwert

$$\bar{a}_{g1h} = (1/m_{g1h}) \sum_j a_{g1hj}$$

der Abschnittslängen die Dimension „Strecken-km pro Streckenabschnitt und Tag“ hat und  $M_{g1h}$  die Gesamtzahl der Streckenabschnittstage der Straßenklasse-/Ortslage-Kombination  $h$  innerhalb der aus Schicht  $g$  zufällig ausgewählten Primäreinheit  $g1$  (Kreis-Doppelwoche) angibt, besitzt der Schätzer  $(C^*)$  die Dimension „Strecken-km pro Kreis und Doppelwoche“.

Die Verhältnisschätzung kann bei geschichteter Zufallsauswahl als „kombinierte“ bzw. „separate“ Verhältnisschätzung durchgeführt werden.

#### • Kombinierte Verhältnisschätzung

Bei der kombinierten Verhältnisschätzung werden die Totalwertschätzer für das Ziel- und Hilfsmerkmal vor der Verhältnisbildung über alle Schichten hinweg zusammengefasst. Der kombinierte Verhältnisschätzer für  $Y_{\cdot \cdot h \cdot}(r,s)$  ist wie folgt definiert:

$$(D) \hat{Y}_{R\_komb \cdot \cdot h \cdot}(r,s) = A_{\cdot \cdot h \cdot} [\sum_g \hat{Y}_{g \cdot h \cdot}(r,s)] / [\sum_g \hat{A}_{g \cdot h \cdot}]$$

wobei

$$A_{\cdot \cdot h \cdot} = \sum_g A_{g \cdot h \cdot}$$

$$\hat{Y}_{g \cdot h \cdot}(r,s) = M_{g1h} \bar{y}_{g1h}(r,s) / \pi_{g1}$$

und

$$\hat{A}_{g \cdot h \cdot} = M_{g1h} \bar{a}_{g1h} / \pi_{g1}.$$

Wie man sieht, wird bei der kombinierten Verhältnisschätzung eine hochgerechnete Summe von Kfz-km auf eine hochgerechnete Summe von Strecken-km bezogen, was als Schätzung der mittleren Verkehrsstärke in Kfz/Tag zu interpretieren ist (Mittelwert über alle Streckenabschnitte des Untersuchungsnetzes und alle Tage des Untersuchungszeitraums). Die Multiplikation dieses Verkehrsstärkeschätzers mit dem bekannten Totalwert  $A_{\cdot \cdot h \cdot}$  – wobei Letzterer gleich dem Produkt aus Gesamtsumme der Strecken-km des Untersuchungsnetzes und Gesamtzahl der Tage des Untersuchungszeitraums ist – ergibt den kombinierten Verhältnisschätzer für die Gesamtsumme der Fahrleistungen untergliedert nach Straßenklasse-/Ortslage, Fahrzeugart und Fahrzeugnationalität.

#### • Separate Verhältnisschätzung

Der separate Verhältnisschätzer für  $Y_{\cdot \cdot h \cdot}(r,s)$  ist wie folgt definiert:

$$(E) \hat{Y}_{R\_sep \cdot \cdot h \cdot}(r,s) = \sum_g A_{g \cdot h \cdot} \hat{Y}_{g \cdot h \cdot}(r,s) / \hat{A}_{g \cdot h \cdot}$$

Nach Einsetzen von  $(B^*)$  und  $(C^*)$  und Herauskürzen von  $M_{g1h}$  und  $\pi_{g1}$  ergibt sich hierfür

$$(E^*) \hat{Y}_{R\_sep \cdot \cdot h \cdot}(r,s) = \sum_g A_{g \cdot h \cdot} \bar{y}_{g1h}(r,s) / \bar{a}_{g1h}$$

Das in  $(E^*)$  auf der rechten Seite erscheinende Verhältnis der Stichprobenmittelwerte

$$\bar{y}_{g1h}(r,s) \text{ und } \bar{a}_{g1h}$$

ist ein auf die Straßenklasse-/Ortslage-Kombination  $h$  bezogener Schätzer für die mittlere Verkehrsstärke (Kfz/Tag) in Schicht  $g$ . Die Multiplikation dieses Verkehrsstärkeschätzers mit dem bekannten Totalwert  $A_{g \cdot h \cdot}$ , der für die Straßenklasse-/Ortslage-Kombination  $h$  dem Produkt aus Gesamtsumme der Strecken-km eines bestimmten Kreistyps (grenzfern bzw. grenznah) und Gesamtzahl der Tage einer bestimmten Doppelwoche<sup>32</sup> des Jahres entspricht, ergibt den Fahrleistungsschätzer für den betreffenden Kreistyp und die in Rede stehende Doppelwoche des Untersuchungszeitraums. Die Summation der schichtspezifischen Fahrleistungsschätzer

$$A_{g \cdot h \cdot} \bar{y}_{g1h}(r,s) / \bar{a}_{g1h}$$

über alle Schichten  $g$  (Kombinationen von Kreistyp und Doppelwochennummer) liefert schließlich den separaten Verhältnisschätzer für die Gesamtsumme der Fahrleistungen untergliedert nach Straßenklasse-/Ortslage, Fahrzeugart und Fahrzeugnationalität.

Bei der Verkehrszählung liegt für die Straßenklasse-/Ortslage-Kombinationen  $h = 2, \dots, 9$  aus jeder Schicht  $g$  von Primäreinheiten jeweils nur eine empirische Beobachtung der Fahrleistung vor, sodass

$$\bar{y}_{g1h}(r,s) = y_{g1h1}(r,s)$$

und

$$\bar{a}_{g1h} = a_{g1h1}$$

gilt. Der Schätzer für die mittlere Verkehrsstärke (Straßenklasse-/Ortslage-Kombinationen  $h$ ) in

<sup>32</sup> Jede Doppelwoche umfasst insgesamt 14 Tage.

Schicht  $g$  reduziert sich in diesem Fall auf die in der ausgewählten Kreis-Doppelwoche  $g1$  für den dort ausgewählten Streckenabschnittstag empirisch ermittelte Verkehrsstärke  $u_{g1h1}(r,s)$ :

$$\begin{aligned}\bar{y}_{g1h}(r,s)/\bar{a}_{g1h} &= y_{g1h1}(r,s)/a_{g1h1} \\ &\Rightarrow u_{g1h1}(r,s) \cdot a_{g1h1}/a_{g1h1} \\ &\Rightarrow u_{g1h1}(r,s).\end{aligned}$$

• **Kombinierte oder separate Verhältnisschätzung?**

Ist eine Gesamtheit in Schichten gegliedert, so hat man bei der Schätzung des Gesamttotalwerts die Wahl zwischen kombinierter und separater Verhältnisschätzung. Da wegen der Schichtung auf der 2. Auswahlstufe die Hochrechnung getrennt nach Straßenklasse-/Ortslage-Kombinationen  $h$  durchgeführt wird, stellt das in Gleichung (E\*) erscheinende Verhältnis

$$t_{g1h}(r,s) = \bar{y}_{g1h}(r,s)/\bar{a}_{g1h}$$

ein wichtiges Entscheidungskriterium bei der Wahl des Schätzverfahrens dar. Unterscheiden sich die Verhältniswerte stark zwischen den Schichten  $g$ , so ist die separate Verhältnisschätzung der kombinierten Verhältnisschätzung vorzuziehen (KRUG et al. 1999, S. 182-185).

Bei der Fahrleistungsschätzung für eine bestimmte Straßenklasse-/Ortslage-Kombination  $h$  ist die Größe  $t_{g1h}(r,s)$ , wie oben ausgeführt, ein Schätzer für die mittlere Verkehrsstärke (Kfz/Tag) in einer Schicht  $g$  von Primäreinheiten (Kombination von Kreistyp und Doppelwoche). Wegen der Schwankungen der Verkehrsnachfrage im Jahresverlauf sowie der raum- und verkehrsstrukturellen Unterschiede zwischen den grenznahen und grenzfernen Gebieten innerhalb der Bundesrepublik Deutschland unterscheiden sich die Verhältniswerte  $t_{g1h}(r,s)$  zwischen den „Raum-Zeit-Schichten“  $g = 1, \dots, G$  deutlich. Dies spricht für die Verwendung der separaten Verhältnisschätzung.

**Aggregation von Fahrleistungsschätzwerten über Straßenklassen und Ortslagen**

Bei der Ergebnisdarstellung sind Aggregationen unterschiedlicher Art von Interesse. Geht es beispielsweise um die Fahrleistung auf Autobahnen und Bundesstraßen (innerorts und außerorts), so ist die Teilsumme

$$Y_{\dots 1}(r,s) + Y_{\dots 2}(r,s) + Y_{\dots 3}(r,s)$$

zu schätzen. Wenn man mit  $H$  die Menge der jeweils interessierenden Schichten von Sekundäreinheiten bezeichnet, im Beispiel wäre  $H = \{1,2,3\}$ , so ist wie folgt vorzugehen:

**Schritt 1a: Hochrechnung der Einzeldaten  $y_{g1hj}(r,s)$  ( $h \in H$ ;  $j = 1, \dots, m_{g1h}$ ) auf die in Schicht  $g$  ausgewählte Primäreinheit  $g1$ :**

$$\sum_{h \in H} \hat{Y}_{g1h}(r,s)$$

wobei

$$\hat{Y}_{g1h}(r,s) = M_{g1h} \bar{y}_{g1h}(r,s)$$

**Schritt 1b: Hochrechnung der Einzeldaten  $a_{g1hj}$  ( $j = 1, \dots, m_{g1h}$ ) auf die in Schicht  $g$  ausgewählte Primäreinheit  $g1$ :**

$$\sum_{h \in H} \hat{A}_{g1h}(r,s)$$

wobei

$$\hat{A}_{g1h} = M_{g1h} \bar{a}_{g1h}$$

**Schritt 2: Hochrechnung der Ergebnisse für die in die Stichprobe gelangte Primäreinheit  $g1$  auf die Schicht  $g$ :**

$$[\sum_{h \in H} \hat{Y}_{g1h}(r,s)]/\pi_{g1} \quad (\text{Fahrleistung})$$

$$[\sum_{h \in H} \hat{A}_{g1h}]/\pi_{g1} \quad (\text{Abschnittslänge})$$

**Schritt 3: Aggregation über die Schichten  $g = 1, \dots, G$  mittels separater Verhältnisschätzung**

Wie man sieht, werden bei der Aggregation über Straßenklassen und Ortslagen die Schätzwerte (Fahrleistung bzw. Abschnittslänge) zunächst über die Schichten der zweiten Auswahlstufe ( $h$ ) und danach über die Schichten der ersten Auswahlstufe ( $g$ ) zusammengefasst.

**Aggregation von Fahrleistungsschätzungen über Fahrzeugarten und Fahrzeugnationalitäten**

Soll über mehrere Fahrzeugarten  $r, r', \dots$  aggregiert werden, so sind die betreffenden fahrzeugartspezifischen Stichprobenmittelwerte



$\bar{y}_{g1h}(r,s), \bar{y}_{g1h}(r',s), \dots$

vor der Hochrechnung aufzusummieren. Bei der Aggregation über Nationalitäten bzw. Fahrzeugarten und Nationalitäten ist analog vorzugehen.

### **Fahrleistungsschätzungen für Untergruppen (Aufgliederung von Fahrleistungskennzahlen nach Merkmalen, welche keine Schichtungsmerkmale sind)**

Gliedert man Kennzahlen nach Merkmalen auf, die keine Schichtungsmerkmale sind, so ist der „Untergruppeneffekt“ (Vergrößerung des Standardfehlers aufgrund der Tatsache, dass der Umfang der Untergruppe in der Stichprobe zufallsabhängig ist) zu berücksichtigen.

Bei der Darstellung von Ergebnissen der Verkehrszählung können auch „Untergruppen“, d. h. Teilgesamtheiten von Streckenabschnittstagen, die nicht mithilfe der Schichtungsmerkmale Kreistyp, Doppelwochennummer, Straßenklasse und Ortslage abgegrenzt werden, eine Rolle spielen.<sup>33</sup>

Bei der Bildung von Untergruppen ist der Umstand hilfreich, dass das bei der Verhältnisschätzung benötigte Hilfsmerkmal Streckenabschnittslänge für alle Streckenabschnittstage der Gesamtheit bekannt ist, und seine Summe somit auch für die Untergruppen bestimmt werden kann.

## **3.6 Anpassung des Hochrechnungsverfahrens an das praktizierte Auswahl- und Aufbereitungsverfahren**

### **3.6.1 Geplantes versus praktiziertes Auswahl- und Aufbereitungsverfahren**

#### **Geplantes Verfahren**

Das Grundmodell der Hochrechnung gemäß Kapitel 3.5 geht von folgendem, ursprünglich geplantem 2-stufigen Auswahlverfahren aus:

#### **Stufe 1: Primäreinheit „Kreis-Doppelwoche“**

Schichtung der Primäreinheiten (PE) nach Grenznähe des Kreises und Nummer der Doppelwoche, Bildung von insgesamt  $G = 2 \times 26 = 52$  Schichten.

Aus jeder Schicht  $g$  wird ein PE zufällig ausgewählt (pps-Verfahren, als Größenmerkmal dient die Zahl der Sekundäreinheiten innerhalb der PE).

#### **Stufe 2: Sekundäreinheit „Streckenabschnittstag“**

Schichtung der Sekundäreinheiten (SE) innerhalb jeder PE nach Straßenklasse und Ortslage des Streckenabschnitts, Bildung von insgesamt  $L = 9$  Schichten.

Aus der Schicht  $h = „BAB“$  werden 2 SE zufällig ausgewählt, aus den übrigen 8 Schichten wird jeweils ein SE gezogen. Aus jeder ausgewählten PE kommen also insgesamt 10 SE in die Stichprobe.

Die Stichprobe umfasst damit insgesamt  $n = 52 \times 10 = 520$  Streckenabschnittstage. Unter dem Begriff „Tag“ ist hierbei ein Kalendertag zu verstehen, d. h. ein 24-stündiger Zeitraum beginnend um 0 Uhr und endend um 24 Uhr.

Geplantes Verfahren der Datenerhebung: Apparative Verkehrsbeobachtung mittels Radar und Video. Zählung vorbeifahrender Fahrzeuge jeweils an einem geeigneten Zählquerschnitt innerhalb der ausgewählten Streckenabschnitte. Erfasst werden über den Kalendertag hinweg sämtliche vorbeifahrende Fahrzeuge in Untergliederung nach Fahrzeuggruppe (9 Kategorien) und Fahrzeugnationalität (ca. 40 Kategorien). Installation der Erfassungsgeräte jeweils vor Beginn des Erhebungstages (0 Uhr) und Abbau der Erfassungsgeräte nach Ende des Erhebungstages (24 Uhr). Die Erhebungseinheiten der Verkehrsbeobachtung sind also „vorbeifahrende Fahrzeuge“ (kurz „Vorbeifahrten“ genannt), Erhebungsmerkmale sind „Fahrzeuggruppe“ und „Fahrzeugnationalität“.

Geplantes Verfahren der Datenaufbereitung: Aus den von den Erfassungsgeräten insgesamt registrierten Fahrzeugvorbeifahrten werden die auf den jeweiligen Erhebungstag (0 bis 24 Uhr) entfallenden Vorbeifahrten selektiert. Auf diese Weise werden für jeden Streckenabschnittstag in der Stichprobe fahrzeuggruppen- und fahrzeugnationalitätsspezifische Verkehrsstärkewerte (Kfz/Tag) gebildet.

<sup>33</sup> Ein Beispiel hierfür wären Untergruppen, die sich durch Aufgliederung nach dem Merkmal Wochentag bzw. Wochentagstyp ergeben.

Aufbereitungseinheiten<sup>34</sup> der Verkehrszählung sind somit Streckenabschnittstage. Die Sekundäreinheiten der Stichprobenauswahl (Streckenabschnittstage) sind zugleich also die Aufbereitungseinheiten der Verkehrszählung.

### Praktiziertes Verfahren

Das tatsächlich praktizierte Auswahl- und Aufbereitungsverfahren unterscheidet sich vom ursprünglich geplanten Verfahren insoweit, als auf Stufe 2 zwar zunächst Streckenabschnittstage zufällig ausgewählt werden, die faktischen Einsatzzeiten der Erfassungsgeräte vor Ort aber den ausgewählten Erhebungstag (Kalendertag) in der Regel nicht vollständig überdecken. Die tatsächliche Erhebungsperiode am ausgewählten Zählquerschnitt – im Folgenden kurz „Zählperiode“ genannt – umfasst zwar meist mehr als 24 Stunden, doch ist die Zählperiode gegenüber dem ausgewählten Zähltag in der Regel zeitlich so versetzt, dass dieser nicht komplett überdeckt wird (Erhebungsbeginn bereits am Vortag und Erhebungsende im Laufe des Zähltags bzw. Erhebungsbeginn erst im Laufe des Zähltags und Erhebungsende am Folgetag). Wie der zeitliche Versatz ausfällt, ist bei der Ziehung der Streckenabschnittstage auf Stufe 2 nicht bekannt, die konkrete Zeitlage der tatsächlichen Zählperioden wird vom Erhebungsteam vielmehr erst im Nachhinein unter forschungsökonomischen und erhebungsorganisatorischen Gesichtspunkten festgelegt.

An den ausgewählten Zählabschnitten findet während der – nach dem oben beschriebenen Verfahren festgelegten – Zählperiode eine Totalerfassung der Fahrzeugvorbeifahrten statt. Die registrierten Vorbeifahrten werden im Zuge der Datenaufbereitung dann zu Stundenwerten der Verkehrsstärke aggregiert. Unter Stunden sind hierbei 60-minütige

Zeitintervalle beginnend und endend jeweils zur „vollen Stunde“ zu verstehen. Da beim tatsächlich praktizierten Verfahren die Verkehrsstärkevariablen sich nicht auf die Zeiteinheit „Tag“ sondern auf die Einheit „Stunde“ beziehen, handelt es sich bei den Aufbereitungseinheiten<sup>35</sup> der Verkehrszählung um Streckenabschnittsstunden, d. h. Kombinationen des Typs (Streckenabschnitt x Stunde).

### 3.6.2 Stichprobenmodell zum praktizierten Auswahl- und Aufbereitungsverfahren

#### Grundzüge

Aus stichprobentheoretischer Sicht kann man das tatsächlich praktizierte Verfahren so deuten, dass auf der zweiten Auswahlstufe letztlich nicht Streckenabschnittstage sondern Streckenabschnittsperioden „ausgewählt“ werden, die man – wie nachfolgend noch erläutert wird – als Klumpen zeitlich aufeinander folgender Streckenabschnittsstunden auffassen kann. Zu dieser Sichtweise kommt man, indem man sich vergegenwärtigt, dass in jeder Doppelwoche des Untersuchungsjahres zu jedem Streckenabschnitt des Straßennetzes  $14 \times 24 = 336$  Stunden gehören, die als Erhebungsstunden der Verkehrszählung in Betracht kommen. Jedem zufällig ausgewählten Zählabschnitt wird beim tatsächlich praktizierten Verfahren eine mehrstündige Zählperiode zugeordnet, wobei die Zuordnung zumindest insoweit zufällig ist, als der Tag, um den herum sich die Zählperiode „gruppiert“, nach einem Zufallsverfahren bestimmt wird.

Da im Zuge der Datenaufbereitung für jeden in die Stichprobe gelangten Zählabschnitt die Verkehrsstärke (untergliedert nach Fahrzeuggruppen und -nationalitäten) für jede einzelne Stunde der zugehörigen Zählperiode festgestellt wird, liegt die Vorstellung nahe, dass eine k-stündige Streckenabschnittsperiode (Sekundäreinheit) sich aus k Streckenabschnittsstunden (Tertiäreinheiten) zusammensetzt, die im Hinblick auf die Verkehrsstärke komplett erhoben werden. Bei den genannten Zählstunden handelt es sich um k zeitlich aufeinander folgende Stunden aus der Menge der 336 möglichen Erhebungsstunden, die dem Zählabschnitt in der betreffenden Doppelwoche zugeordnet sind.

Vor diesem Hintergrund kann man annehmen, dass bei gegebener Doppelwoche sich die zu einem bestimmten Streckenabschnitt gehörenden 336 Streckenabschnittsstunden in eine gewisse Anzahl von Klumpen – genannt Streckenabschnittsperioden –

<sup>34</sup> Aufbereitungseinheiten „... sind die Einheiten, deren Merkmalswerte bei der Aufbereitung festgestellt werden. Aufbereitungseinheiten können sich ... auch aus Erhebungseinheiten zusammensetzen“ (vgl. KRUG, NOURNEY und SCHMIDT 1999, S. 52-53). Da sich die aus den Einzeldaten der Verkehrszählung (Vorbeifahrten als Erhebungseinheiten) gebildeten Verkehrsstärkevariablen jeweils auf Kombinationen von Streckenabschnitt und Kalendertag beziehen, sind „Streckenabschnittstage“ als Aufbereitungseinheiten zu betrachten.

<sup>35</sup> Die Erhebungseinheiten sind wie zuvor beschrieben die Fahrzeugvorbeifahrten am Zählquerschnitt innerhalb der Zählperiode.

gliedern, die jeweils aus einer gewissen Anzahl zeitlich aufeinander folgender Streckenabschnittsstunden bestehen. Gäbe es zu jedem von insgesamt  $N$  Streckenabschnitten in der betreffenden Doppelwoche  $T$  Streckenabschnittsperioden<sup>36</sup>, so bestünde die Gesamtheit aller Streckenabschnittsperioden aus  $M^* = N \cdot T$  Einheiten. Tatsächlich ist die Zahl der zu einem bestimmten Streckenabschnitt gehörenden Streckenabschnittsperioden innerhalb einer Doppelwoche aber weder vor der Auswahl noch im Nachhinein bekannt; insofern kennt man auch nicht den Umfang der Auswahlgesamtheit auf der zweiten Auswahlstufe.<sup>37</sup>

### Schätzfunktion der zweiten Stufe

Da sich das praktizierte vom ursprünglich geplanten Auswahlverfahren lediglich auf der zweiten Auswahlstufe unterscheidet (Streckenabschnittsperioden statt Streckenabschnittstage als Auswahlseinheiten), ändert sich das in Kapitel 3.5 beschriebene Hochrechnungsverfahren im Wesentlichen nur im Hinblick auf die Schätzfunktion der zweiten Stufe (Formel (A) in Kapitel 3.5.4). Das ebenfalls veränderte Verfahren der Datenaufbereitung (Streckenabschnittsstunden statt Streckenabschnittstage als Aufbereitungseinheiten) wirkt sich auf die Schätzung der Gesamtfahrleistung insoweit aus, als innerhalb der ausgewählten Streckenabschnittsperioden die empirischen Stundenwerte der Fahrleistung über sämtliche Streckenabschnittsstunden innerhalb der ausgewählten Streckenabschnittsperioden summiert werden müssen (beim ursprünglichen Verfahren entfällt eine solche Summation, da dort der Streckenabschnittstag zugleich Sekundär- und Aufbereitungseinheit ist).

Innerhalb jeder in Stufe 1 ausgewählten Kreis-Doppelwoche wird pro Schicht von Sekundärein-

heiten, d. h. für jede Kombination von Straßenklasse und Ortslage nach dem Verfahren der einfachen Zufallsauswahl (Ziehen ohne Zurücklegen) eine Stichprobe von  $m^*$  aus  $M^*$  Sekundäreinheiten (Streckenabschnittsperioden) gezogen, wobei  $M^*$  allerdings nicht bekannt ist ( $m^* = 2$  für BAB,  $m^* = 1$  für die übrigen Straßenklasse-Ortslage-Kombinationen). Eine Schätzung des Fahrleistungswertes  $Y_T$  ist hier aber gleichwohl möglich, da man die Gesamtzahl  $K$  der Tertiäreinheiten (Streckenabschnittsstunden) kennt. Näheres vgl. BARNETT 1991, S. 148-151 sowie KRUG, NOURNEY und SCHMIDT 1999, S. 136-139.

Wir betrachten im Folgenden die aus einer Schicht von Primäreinheiten<sup>38</sup> ausgewählte Kreis-Doppelwoche und innerhalb dieser Kreis-Doppelwoche die aus einer Schicht von Sekundäreinheiten<sup>39</sup> ausgewählten  $m^*$  Streckenabschnittsperioden. Je nach Schicht von Sekundäreinheiten ist  $m^* = 2$  (Schicht „BAB“) bzw.  $m^* = 1$  (übrige Schichten). Die ausgewählten Streckenabschnittsperioden werden „Zählabschnittsperioden“ genannt, die zugehörigen Streckenabschnittsstunden entsprechend „Zählabschnittsstunden“ oder kurz „Zählstunden“.

Für die  $j$ -te Zählabschnittsperiode in der Stichprobe ( $j = 1, \dots, m^*$ ) bezeichnet

$k_j$  die Anzahl der Zählstunden innerhalb der  $j$ -ten Zählabschnittsperiode

$a_j$  die zur  $j$ -ten Zählabschnittsperiode gehörende Streckenabschnittslänge in km (Länge des Streckenabschnitts, welcher zur  $j$ -ten Zählabschnittsperiode gehört)

$u_{jp}$  die Anzahl der auf die  $p$ -te Zählstunde ( $p = 1, \dots, k_j$ ) innerhalb der  $j$ -ten Zählabschnittsperiode entfallenden Fahrzeugvorbeifahrten (Verkehrsstärke)

$y_{jp} = u_{jp} \cdot a_j$  die auf die  $p$ -te Zählstunde ( $p = 1, \dots, k_j$ ) innerhalb der  $j$ -ten Zählabschnittsperiode entfallende Fahrzeugfahrleistung in Kfz-km

$y_j = \sum_p y_{jp}$  die auf die  $j$ -te Zählabschnittsperiode insgesamt entfallende Fahrzeugfahrleistung in Kfz-km

Die mittlere Fahrleistung  $\bar{y}$  in der hier betrachteten Gesamtheit von Streckenabschnittsstunden<sup>40</sup> wird durch

<sup>36</sup> Ist beispielsweise  $T = 12$ , so umfasst jede Streckenabschnittsperiode  $336/12 = 28$  Streckenabschnittsstunden.

<sup>37</sup> Wählt man entsprechend dem ursprünglich geplanten Verfahren innerhalb einer Kreis-Doppelwoche nicht Streckenabschnittsperioden sondern Streckenabschnittstage aus, so ist der Umfang  $M$  der Auswahlgesamtheit durch  $M = 14 N$  gegeben; da die Gesamtzahl  $N$  der Streckenabschnitte bekannt ist, kennt man auch die Gesamtzahl  $M$  der Streckenabschnittstage.

<sup>38</sup> Kombinationen von Kreistyp und Doppelwochennummer.

<sup>39</sup> Kombinationen von Straßenklasse und Ortslage.

<sup>40</sup> Gemeint sind hier sämtliche Streckenabschnittsstunden, die innerhalb einer ausgewählten Kreis-Doppelwoche zu einer bestimmten Kombination von Straßenklasse und Ortslage gehören.

$$\bar{y}^{(c)} = \sum_j y_j / \sum_j k_j$$

geschätzt, wobei im Zähler und Nenner jeweils über  $j = 1, \dots, m^*$  summiert wird. Der Schätzer  $\bar{y}^{(c)}$  hat ebenso wie die zu schätzende Kennzahl  $\bar{y}$  die Dimension Kfz-km pro Streckenabschnitt und Stunde. Das hochgestellte „c“ deutet hierbei an, dass es sich auf Stufe 2 um eine Schätzfunktion für den Fall einer Klumpenauswahl handelt (cluster sample ratio“).

Im Fall  $m^* = 1$  vereinfacht sich der Mittelwertschätzer zu

$$\bar{y}^{(c)} = y_1/k_1.$$

Schätzer für die mittlere Fahrleistung  $\bar{y}$  in der betrachteten Gesamtheit ist dann die am ausgewählten Zählabschnitt in der „ausgewählten“ Zählperiode empirisch festgestellte Fahrleistung pro Stunde.

Mithilfe des Schätzers für die mittlere Fahrleistung  $\bar{y}$  ist schließlich die Schätzung der eigentlich interessierende Gesamtfahrleistung  $Y$  möglich. Die zu schätzende Gesamtfahrleistung  $Y$  bezieht sich im vorliegenden Kontext (1) in räumlicher Hinsicht auf einen bestimmten Kreis der Bundesrepublik Deutschland, (2) in zeitlicher Hinsicht auf eine bestimmte Doppelwoche des Untersuchungsjahres und (3) in sachlicher Hinsicht auf eine bestimmte Kombination von Straßenklasse und Ortslage.

Schätzer für den Fahrleistungstotalwert  $Y$  ist

$$\hat{Y}^{(c)} = K \cdot \bar{y}^{(c)} = [K / (\sum_j k_j)] \cdot \sum_j y_j,$$

wobei  $K$  die Gesamtzahl der Streckenabschnittsstunden in der hier betrachteten Gesamtheit bezeichnet. Da eine Doppelwoche 336 Stunden umfasst, gilt  $K = 336 N$ , wobei  $N$  die aus der Auswahlgrundlage bekannte Gesamtzahl der Streckenabschnitte des hier maßgeblichen Straßennetzes bezeichnet (Straßen in einem bestimmten Kreis, welche zu einer bestimmten Kombination von Straßenklasse und Ortslage gehören). Der Schätzer  $\hat{Y}^{(c)}$  hat ebenso wie die zu schätzende Kennzahl  $Y$  die Dimension Kfz-km.

### 3.6.3 Schritte des modifizierten Hochrechnungsverfahrens

Bei mehrstufiger Auswahl erfolgt die Hochrechnung der Merkmalswerte (gemeint sind hier die auf die einzelnen Zählstunden der Zählabschnittsperioden in der Stichprobe entfallenden Fahrleistungen) „... in der der Auswahl entgegengesetzten Reihen-

folge, also auf der letzten Stufe beginnend und der ersten Auswahlstufe endend“ (KRUG et al. 1999, S. 147). Im Folgenden werden die Hochrechnungsschritte analog zu Kapitel 3.5.4 dargestellt.

#### Schritt 1: Schätzung der Fahrleistungssumme für eine einzelne ausgewählte Primäreinheit

Um bei der Schätzung der nach Fahrzeuggruppe  $r$  und Fahrzeugnationalität  $s$  differenzierten Gesamtfahrleistung  $Y_{g1h}(r,s)$  für die aus Schicht  $g$  zufällig ausgewählte Kreis-Doppelwoche  $g1$  und eine bestimmte Kombination  $h$  von Straßenklasse und Ortslage dem tatsächlich praktizierten Auswahl- und Aufbereitungsverfahren Rechnung zu tragen, muss die ursprüngliche Schätzfunktion (freie Hochrechnung bei einfacher Zufallsauswahl)

$$(A) \quad \hat{Y}_{g1h}(r,s) = (M_{g1h}/m_{g1h}) \sum_j y_{g1hj}(r,s)$$

für den Klumpentotalwert (vgl. Kapitel 3.5.4) durch den Totalwertschätzer für Klumpenstichproben

$$(A') \quad \hat{Y}^{(c)}_{g1h}(r,s) = (K_{g1h} / (\sum_j k_{g1hj})) \sum_j y_{g1hj}(r,s) \\ = (K_{g1h} / (\sum_j k_{g1hj})) \sum_j \sum_p y_{g1hjp}(r,s)$$

ersetzt werden. Hierbei bezeichnet

$K_{g1h}$  die Gesamtzahl aller Streckenabschnittsstunden in der  $h$ -ten Schicht von Streckenabschnittsperioden innerhalb der aus Schicht  $g$  ausgewählten Kreis-Doppelwoche  $g1$

$k_{g1hj}$  die Zahl der Zählstunden der  $j$ -ten Zählabschnittsperiode aus der  $h$ -ten Schicht von Streckenabschnittsperioden ( $j = 1, \dots, m_h^*$ ;  $m_h^* = 2$  für Schicht  $h = „BAB“$ ;  $m_h^* = 1$  für die sonstigen Schichten) innerhalb der aus Schicht  $g$  ausgewählten Kreis-Doppelwoche  $g1$

$y_{g1hjp}(r,s)$  die auf die  $p$ -te Zählstunde der  $j$ -ten Zählabschnittsperiode aus der  $h$ -ten Schicht von Streckenabschnittsperioden innerhalb der aus Schicht  $g$  ausgewählten Kreis-Doppelwoche  $g1$  entfallende Fahrleistung von  $(r,s)$ -Fahrzeugen<sup>41</sup> (Produkt aus stündlicher Verkehrsstärke und Abschnittslänge)

<sup>41</sup> Unter  $(r,s)$ -Fahrzeugen sind Fahrzeuge zu verstehen, die zur Fahrzeuggruppe  $r$  gehören und die Fahrzeugnationalität  $s$  aufweisen.



Um Missverständnisse zu vermeiden, werden im Folgenden Schichten auf der zweiten Auswahlstufe „SE-Schichten“ und Schichten auf der ersten Auswahlstufe „PE-Schichten“ genannt. Wie man sieht, beziehen sich die in die Hochrechnung einfließenden empirischen Fahrleistungswerte auf Zählstunden von Zählabschnittsperioden aus einer SE-Schicht  $h$  innerhalb der aus der PE-Schicht  $g$  ausgewählten Primäreinheit  $g_1$ .

### Schritt 2: Schätzung der Fahrleistungssumme sowie der Summe des Hilfsmerkmals Streckenabschnittslänge für eine Schicht von Primäreinheiten

Zur Hochrechnung der nach Straßenklasse-/Ortslage-Kombinationen  $h$  differenzierten Fahrleistung von  $(r,s)$ -Fahrzeugen von der ausgewählten Kreis-Doppelwoche  $g_1$  auf die gesamte PE-Schicht  $g$  (Kombination von Kreistyp und Doppelwochennummer) muss der Schätzer ( $\hat{A}$ ) mit dem Kehrwert der Inklusionswahrscheinlichkeit  $\pi_{g_1}$  multipliziert werden:

$$(B') \quad \hat{Y}_{g_1 h}^{(c)}(r,s) = \hat{Y}_{g_1 h}^{(c)}(r,s) / \pi_{g_1}$$

Hierbei ist  $\pi_{g_1} = M_{g_1} / M_g$  der Anteil der Streckenabschnittstage – nicht der Streckenabschnittsperioden – in PE-Schicht  $g$ , welche zur ausgewählten Primäreinheit  $g_1$  (d. h. zur ausgewählten Kreis-Doppelwoche) gehören.

Da die spätere Zusammenfassung der Fahrleistungsschätzungen für die einzelnen PE-Schichten zu einem Schätzer für den Gesamttotalwert der Fahrleistungen nach dem Verfahren der Verhältnisschätzung erfolgt, muss analog zu (B') auch der Schichttotalwert des Hilfsmerkmals „Streckenabschnittslänge“ geschätzt werden, wobei wie zuvor getrennt nach den SE-Schichten  $h$  vorgegangen wird. Zunächst wird der Klumpentotalwert  $A_{g_1 h}^{(c)}$  durch

$$\begin{aligned} \hat{A}_{g_1 h}^{(c)} &= (K_{g_1 h} / (\sum_j k_{g_1 h j})) \sum_j \sum_p a_{g_1 h j} \\ &= (K_{g_1 h} / (\sum_j k_{g_1 h j})) \sum_j k_{g_1 h j} a_{g_1 h j} \end{aligned}$$

geschätzt. Der Term  $k_{g_1 h j} a_{g_1 h j}$  bezeichnet für die  $j$ -te Zählabschnittsperiode aus der SE-Schicht  $h$  innerhalb der Kreis-Doppelwoche  $g_1$  die mit der Zahl der Zählstunden ( $k_{g_1 h j}$ ) multiplizierte Streckenabschnittslänge ( $a_{g_1 h j}$ ). Da also der Term  $\sum_j k_{g_1 h j} a_{g_1 h j}$  der Stichprobensumme des Hilfsmerkmals „Abschnittslänge“ (Summation über alle Zählabschnittsstunden in der Stichprobe) entspricht, stellt

$$\sum_j k_{g_1 h j} a_{g_1 h j} / (\sum_j k_{g_1 h j})$$

den (gewogenen) Stichprobenmittelwert der Zählabschnittslängen (in km) dar, wobei mit der Zahl der Zählstunden je Zählabschnitt gewichtet wird. Der hochgerechnete Wert  $\hat{A}_{g_1 h}^{(c)}$  ist also eine Schätzung für die Summe der zur  $h$ -ten SE-Schicht gehörenden „Streckenabschnittsstunden-Kilometer“ innerhalb der Kreis-Doppelwoche  $g_1$ .

#### • Beispiel

Ist bei einer „standardmäßigen“ Streckenabschnittslänge von 0,1 km wegen der zwangsläufig auftretenden „Restabschnitte“ der gewogene Stichprobenmittelwert der Zählabschnittslängen 0,09 km und gibt es im betreffende Kreis  $N$  Streckenabschnitte (und in der entsprechenden Kreis-Doppelwoche somit  $336 \cdot N$  Streckenabschnittsstunden), so ist  $0,09 \cdot 336 \cdot N = 30,24 \cdot N$  die geschätzte Summe der „Streckenabschnittsstunden-Kilometer“ für die betreffende Kreis-Doppelwoche. Zu einem Streckenabschnitt des Straßennetzes gehören in einer Doppelwoche – bestehend aus 336 Stunden – also rund 30 Streckenabschnittsstunden-Kilometer.

Multipliziert man den Schätzer  $\hat{A}_{g_1 h}^{(c)}$  mit dem Kehrwert der Inklusionswahrscheinlichkeit, so ergibt sich der Schätzer für den Totalwert der PE-Schicht  $g$

$$(C') \quad \hat{A}_{g h}^{(c)} = \hat{A}_{g_1 h}^{(c)} / \pi_{g_1}$$

wobei wie zuvor  $\pi_{g_1} = M_{g_1} / M_g$ . Der Schätzer (C') ist für sich genommen nicht von Interesse. Von Bedeutung ist der Schätzer aber im Hinblick Schritt 3 der Hochrechnung.

### Schritt 3: Schätzung der Fahrleistungssumme für die Gesamtheit aller Primäreinheiten (Gesamttotalwert)

Wie in Kapitel 3.5.4 dargestellt, kann für jede Straßenklasse-/Ortslage-Kombination  $h$  die Zusammenführung der Schätzer  $\hat{Y}_{g_1 h}^{(c)}(r,s)$  für die schichtspezifischen Fahrleistungstotalwerte zu einem Schätzer für den Gesamttotalwert (Summe über alle PE-Schichten  $g$ ) nach dem Verfahren der kombinierten oder der separaten Verhältnisschätzung erfolgen, wobei jeweils die aus der Auswahlgrundlage bekannte Streckenabschnittslänge als Hilfsmerkmal dient.



Für die separate Verhältnisschätzung spricht, dass die „wahre“ Summe des Hilfsmerkmals – also die Summe der „Streckenabschnittsstunden-Kilometer“ (Summe des Merkmals Streckenabschnittslänge in km über alle Streckenabschnittsstunden) – nicht nur für die Gesamtheit aller Primäreinheiten (Kreis-Doppelwochen) sondern auch für die einzelnen Schichten  $g$  von Primäreinheiten (Kombinationen von Kreistyp und Doppelwochennummer) bekannt ist. Bei Verwendung der separaten Verhältnisschätzung fließt die vorhandene Information über die Netzlängen in den grenznahen und grenzfernen Teilräumen der Bundesrepublik ein. Die kombinierte Verhältnisschätzung verwendet demgegenüber nur die Kenntnis der Netzlängen insgesamt (d. h. ohne Differenzierung nach grenznahen bzw. grenzfernen Räumen).

### 3.6.4 Nachträgliche Schichtung

Da jede Streckenabschnittsstunde eindeutig einem Wochentag (Mo, Di, ..., So) und einem Tagesstundenintervall (0-1, 1-2, ..., 23-24) zugeordnet werden kann, sind Schätzungen der mittleren Verkehrsstärke und der Gesamtfahrleistung in Untergliederung nach den beiden genannten zeitlichen Merkmalen möglich.

Vor diesem Hintergrund wurde im Sinne einer nachträglichen Schichtung eine Strukturanpassung vorgenommen, sodass die Verteilung der in die Stichprobe gelangten Streckenabschnittsstunden im Hinblick auf die Merkmale Wochentag und Tagesstundenintervall mit der entsprechen Grundgesamtheitsverteilung übereinstimmt.<sup>42</sup> In diesem Zusammenhang war zu entscheiden, wie dabei die 6 nicht bundeseinheitlichen Feiertage, die sich ihrerseits nochmals hinsichtlich der Regelungen zum Lkw-Feiertagsfahrverbot unterscheiden, zu behandeln sind. In Abstimmung mit dem Auftraggeber und dem forschungsbegleitenden Ausschuss wurde festgelegt, die nicht bundeseinheitlichen Feiertage als Werktage zu behandeln.

<sup>42</sup> Dieses Vorgehen entspricht z. B. einer Bevölkerungsumfrage, bei der in Stufe 1 Gemeinden und in Stufe 2 Haushalte ausgewählt werden, wobei sich innerhalb eines ausgewählten Haushalts die Befragung auf alle Personen erstreckt; eine mögliche Strukturanpassung auf der Personenebene könnte dann nach den Merkmalen Altersgruppe und Geschlecht erfolgen.

<sup>43</sup> Das Teilnetz  $h$  ist definiert als Gesamtheit aller Streckenabschnitte, welche zur Straßenklasse-/Ortslage-Kombination  $h$  gehören.

Diese Strukturanpassung wurde nicht für die Stichprobe als Ganzes sondern getrennt nach Straßenklasse-/Ortslage-Kombinationen und Kreistyp (grenznah/grenzfern) durchgeführt ( $9 \times 2 \times 7 \times 24 = 3.024$  Zellen). Die Verknüpfung mit der eigentlichen Hochrechnung erfolgte über die Multiplikation des Anpassungsfaktors der nachträglichen Schichtung mit dem Hochrechnungsgewicht.

## 3.7 Zahlenbeispiel zum Hochrechnungsverfahren

### Grunddaten des Zahlenbeispiels

Das in Kapitel 3.6 dargestellte Verfahren zur Hochrechnung der Inlandsfahrleistung aus stundenbezogenen Verkehrsstärkedaten wird im Folgenden anhand eines fiktiven Zahlenbeispiels illustriert. Dabei wird zugleich aufgezeigt, wie bestimmte Teilergebnisse der Hochrechnung aus verkehrswissenschaftlicher Sicht interpretiert werden können.

Der Einfachheit halber wird nur eine einzelne Straßenklasse-/Ortslage-Kombination  $h$  betrachtet, die hier als „BAB“ zu interpretieren ist. Das Untersuchungsgebiet sei in 2 Raumkategorien (grenzferne/grenznahe Kreise) gegliedert. Vereinfachend wird ein 4-wöchiger Untersuchungszeitraum angenommen, der dem Stichprobendesign entsprechend in 2 Teilperioden (Doppelwoche 1, Doppelwoche 2) zerfällt. Im Beispiel hat man es also mit  $G = 2 \times 2 = 4$  (statt  $2 \times 26 = 52$ ) Raum-/Zeit-Schichten  $g$  zu tun (s. Tabelle 14).

Zu schätzen ist für das Untersuchungsgebiet als Ganzes die Gesamtfahrleistung von Kraftfahrzeugen der Fahrzeuggruppe  $r$  und Nationalität  $s$  (kurz  $(r,s)$ -Fahrzeuge) auf dem Teilnetz  $h$ <sup>43</sup> (BAB) im 4-wöchigen Untersuchungszeitraum.

In Stufe 1 des Auswahlverfahrens wird aus jeder der 4 Raum-Zeit-Schichten nach einem pps-Verfahren eine Primäreinheit (Kombination von Kreis und Doppelwoche) zufällig ausgewählt. Die stichprobenartige Verkehrszählung findet also in jeder der beiden Doppelwochen des Untersuchungszeit-

Schicht-index $g$	1	2	3	4
Kreistyp	grenzfern	grenzfern	grenznah	grenznah
Teilperiode	Doppelwoche 1	Doppelwoche 2	Doppelwoche 1	Doppelwoche 2

Tab. 14: Datenstruktur des Zahlenbeispiels

Kennzahl	grenzferne Kreise	grenznahe Kreise
Anzahl Streckenabschnitte des Straßennetzes insgesamt	500.000	150.000
Anzahl Streckenabschnitte des Teilnetzes h	80.000	30.000
Gesamtlänge der Streckenabschnitte des Teilnetzes h	7.840 km	2.850 km

Tab. 15: Basisdaten des Zahlenbeispiels

raums in jeweils 2 Kreisen des Untersuchungsgebiets (ein grenznaher und ein grenzferner Kreis) statt.

In der 2. Auswahlstufe werden innerhalb der aus einer Raum-Zeit-Schicht  $g$  ausgewählten Primäreinheit  $g_1$  – beschränkt auf das Teilnetz  $h$  – zwei Streckenabschnittsperioden mittels einfacher Zufallsauswahl ausgewählt. Erhebungspraktisch bedeutet dies, dass in jeder der beiden Doppelwochen an 2 Streckenabschnitten<sup>44</sup> in einem grenzfernen Kreis und 2 Streckenabschnitten in einem grenznahen Kreis über einen gewissen Zeitraum hinweg die stündliche Verkehrsstärke erhoben wird; im Zuge der Datenaufbereitung werden aus den empirisch erhobenen Verkehrsstärkewerten durch Multiplikation mit der Abschnittslänge die letztlich interessierenden streckenabschnittsbezogenen Stundenwerte der Fahrleistung von (r,s)-Fahrzeugen gebildet.

Für die beiden Teilräume des Untersuchungsgebiets werden hypothetische Straßennetzdaten angenommen (s. Tabelle 15).

### Schritt 1: Schätzung der Fahrleistungssumme für die aus einer Raum-Zeit-Schicht $g$ ausgewählte Primäreinheit

Illustriert wird Schritt 1 des Hochrechnungsverfahrens anhand der Raum-Zeit-Schicht „grenzferne Kreise/Doppelwoche 1“. Indem man in Auswahlstufe 1 aus dieser Schicht eine Primäreinheit  $g_1$  zufällig auswählt, wird festgelegt, in welchem grenzfernen Kreis in Doppelwoche 1 die Verkehrszählung konkret durchzuführen ist. Im Zahlenbeispiel wird für das zur ausgewählten Kreis-Doppelwoche  $g_1$  gehörende Straßennetz Folgendes angenommen:

- Gesamtzahl der Streckenabschnitte im Erhebungsgebiet, d. h. im Gebiet desjenigen grenzfernen Kreises, in welchem in Doppelwoche 1 eine Verkehrszählung stattfindet

- Straßennetz insgesamt  $N_{g_1} = 5.000$  Abschnitte,
- Teilnetz  $h$  (BAB)  $N_{g_1h} = 1.000$  Abschnitte.

Da jede Doppelwoche  $24 \times 14 = 336$  Stunden umfasst, beläuft sich die auf das Teilnetz  $h$  (BAB) bezogene Gesamtzahl der Streckenabschnittsstunden in der ausgewählten Kreis-Doppelwoche  $g_1$  auf  $K_{g_1h} = 336 N_{g_1h} = 336 \times 1.000 = 336.000$ .

Beim praktizierten Stichprobenverfahren werden in Auswahlstufe 2 im oben bezeichneten Erhebungsgebiet aus den  $N_{g_1h} = 1.000$  Abschnitten des Teilnetzes  $h$  letztlich 2 Streckenabschnitte zufällig ausgewählt, an denen innerhalb der betreffenden Doppelwoche über eine gewisse Zählperiode hinweg die Vorbeifahrten von (r,s)-Fahrzeugen erfasst und zu Stundenwerten der Verkehrsstärke aggregiert werden. Wie oben dargestellt, kann dieses Verfahren idealisierend als Klumpenauswahl interpretiert werden (Zufallsauswahl von  $m_{g_1h}^* = m_h^* = 2$  Streckenabschnittsperioden und Totalerhebung der zugehörigen Streckenabschnittsstunden im Hinblick auf das Merkmal Verkehrsstärke).

Tabelle 16 enthält hypothetische Struktur- und Erhebungsdaten für die beiden aus der Primäreinheit  $g_1$  ausgewählten Streckenabschnittsperioden  $g_1h_j$  ( $j = 1, 2$ ). Im Beispiel liegen nach Abschluss der Erhebung für 60 der insgesamt 336.000 Streckenabschnittsstunden der ausgewählten Kreis-Doppelwoche empirische Verkehrsstärkewerte vor (siehe Tabelle 16).

Gemäß Formel (A') wird die auf die ausgewählte Kreis-Doppelwoche  $g_1$  bezogene Summe der Fahrleistungen von (r,s)-Fahrzeugen auf dem Teilnetz  $h$  wie folgt geschätzt (Totalwertschätzer für Klumpenstichproben):

<sup>44</sup> Gezählt wird jeweils an einem Querschnitt, der den betreffenden Streckenabschnitt im Hinblick auf die Verkehrsstärke repräsentiert.

Kennzahl	Streckenabschnittsperiode g1h1	Streckenabschnittsperiode g1h2	Stichprobe insgesamt
Anzahl der Zählstunden am Streckenabschnitt $k_{g1hj}$	28	32	60
Streckenabschnittslänge in km $a_{g1hj}$	0,10	0,09	$(0,10 \times 28 + 0,09 \times 32)/60 = 0,09467$ km gewogener Mittelwert der Streckenabschnittslänge
am Streckenabschnitt erhobene stündliche Verkehrsstärkewerte $u_{g1hj}(r,s)$	28 Einzelwerte der Verkehrsstärke (Kfz/h) ( $p = 1, \dots, 28$ )	32 Einzelwerte der Verkehrsstärke (Kfz/h) ( $p = 1, \dots, 32$ )	60 Einzelwerte der Verkehrsstärke (Kfz/h)
Summe der Stundenwerte der Verkehrsstärke (Gesamtzahl der registrierten Vorbeifahrten) $\sum_p u_{g1hj}(r,s)$	70.000 Mittl. Verkehrsstärke $70.000/28 = 2.500$ Kfz/h	100.000 Mittl. Verkehrsstärke $100.000/32 = 3.125$ Kfz/h	
auf die Streckenabschnittsperiode entfallende Fahrleistung in Kfzkm $\sum_p y_{g1hj}(r,s)$	$70.000 \times 0,10 = 7.000$	$100.000 \times 0,09 = 9.000$	16.000
mittlere Fahrleistung in Kfzkm pro Streckenabschnittsstunde	$7.000/28 = 250$	$9.000/32 = 281,25$	$16.000/60 = 266,67$

Tab. 16: Hypothetische Struktur- und Erhebungsdaten für den 1. Schritt der Hochrechnung (Zahlenbeispiel)

$$\begin{aligned}
 \hat{Y}_{g1h}^{(c)}(r,s) &= (K_{g1h}/(\sum_j k_{g1hj})) \sum_j y_{g1hj}(r,s) \\
 &= (336.000/60) \times 16.000, \\
 &= 5.600 \times 16.000, \\
 &= 89.600.000, \\
 &= 89,6 \text{ Mio Kfzkm}.
 \end{aligned}$$

Der geschätzte Fahrleistungstotalwert 89,6 Mio Kfzkm bezieht sich im vorliegenden Fall also auf die Doppelwoche 1 und den für diese Teilperiode als Erhebungsgebiet ausgewählten grenzfernen Kreis.

Im Folgenden wird demonstriert, wie im Hochrechnungsschritt 2A der eben geschätzte Klumpentotalwert der Fahrleistung (89,6 Mio Kfzkm) für die betrachtete Doppelwoche (hier also die Doppelwoche 1) auf die Gesamtheit aller Kreise des betreffenden Kreistyps (grenzferne Kreise) hochgerechnet wird.

### Schritt 2A: Schätzung der Fahrleistungssumme für eine Schicht g von Primäreinheiten (freie Hochrechnung)

Zur Hochrechnung der Fahrleistung von der ausgewählten Kreis-Doppelwoche g1 auf die gesamte Raum-Zeit-Schicht g (grenzferne Kreise/Doppelwoche 1) muss gemäß Formel (B') der Klumpentotalwertschätzer (A) durch die Inklusionswahrschein-

lichkeit  $\pi_{g1} = M_{g1}/M_g$  der ausgewählten Kreis-Doppelwoche g1 dividiert werden. Dabei ist  $M_{g1}/M_g$  der Anteil der Streckenabschnittstage<sup>45</sup> – nicht der Streckenabschnittsperioden – in Raum-Zeit-Schicht g, welche zur ausgewählten Primäreinheit g1, d. h. zur ausgewählten Kreis-Doppelwoche, gehören. Wegen  $M_{g1} = 5.000 \times 14 = 70.000$  Streckenabschnittstage und  $M_g = 500.000 \times 14 = 7.000.000$  Streckenabschnittstage ist im vorliegenden Zahlenbeispiel

$$\pi_{g1} = M_{g1}/M_g = 1/100 = 0,01.$$

Als Schätzung für den Totalwert der Fahrleistung von (r,s)-Fahrzeugen auf dem Teilnetz h (BAB) in der Raum-Zeit-Schicht g, hier also die Summe der in Rede stehenden Fahrleistungen auf dem Gebiet der grenzfernen Kreise in Doppelwoche 1 des Untersuchungszeitraums, ergibt sich somit

$$\begin{aligned}
 \hat{Y}_{g,h}^{(c)}(r,s) &= 89.600.000/0,01, \\
 &= 8.960.000.000, \\
 &= 8,96 \text{ Mrd. Kfzkm}.
 \end{aligned}$$

Die Fahrleistungstotalwerte der drei übrigen Raum-Zeit-Schichten (grenzferne Kreise/Doppel-

<sup>45</sup> Die Streckenabschnittstage beziehen sich hier auf die Doppelwoche 1 des Untersuchungszeitraums und das gesamte Straßennetz (nicht das Teilnetz h) der grenzfernen Kreise.

woche 2, grenznahe Kreise/Doppelwoche 1, grenznahe Kreise/Doppelwoche 2) werden analog geschätzt. Würde man die vier so geschätzten Schichttotalwerte aufsummieren, erhielte man eine „freie“ Schätzung des Gesamttotalwerts der Fahrleistung.

**Schritt 2B: Schätzung der Summe des Hilfsmerkmals Streckenabschnittslänge für eine Schicht g von Primäreinheiten (freie Hochrechnung)**

Da die Zusammenfassung der schichtspezifischen Fahrleistungsschätzungen  $\hat{Y}_{g,h}^{(c)}(r,s)$  zu einem Schätzer für den Gesamttotalwert der Fahrleistung nach dem Verfahren der Verhältnisschätzung erfolgt, muss analog zum Schichttotalwert  $Y_{g,h}(r,s)$  der Fahrleistungen (Schritt 2A) auch der Schichttotalwert  $A_{g,h}$  des Hilfsmerkmals „Streckenabschnittslänge“ geschätzt werden (Schritt 2B). Unter dem Schichttotalwert des Hilfsmerkmals ist hier die Summe der Längen der Streckenabschnitte des Teilnetzes h zu verstehen, wobei wie im Fall der Fahrleistungsschätzung nicht über Streckenabschnitte, sondern Streckenabschnittsstunden (!) summiert wird.

Die Hochrechnung des Hilfsmerkmals wird wie die Fahrleistungsschätzung am Beispiel der Raum-Zeit-Schicht „grenzferne Kreise/Doppelwoche 1“ dargestellt. Geschätzt wird zunächst der Klumpentotalwert  $A_{g1h}$  des Hilfsmerkmals durch

$$\begin{aligned}\hat{A}_{g1h}^{(c)} &= (K_{g1h}/(\sum_j k_{g1hj})) \cdot \sum_p \sum_j a_{g1hj}, \\ &= (K_{g1h}/(\sum_j k_{g1hj})) \cdot \sum_j k_{g1hj} \cdot a_{g1hj}, \\ &= (336.000/60) \times (28 \times 0,10 + 32 \times 0,09), \\ &= (336.000/60) \times 5,68, \\ &= 336.000 \times 0,09467, \\ &= 31.808.\end{aligned}$$

Der hochgerechnete Wert  $\hat{A}_{g1h}^{(c)} = 31.808$  ist ein Schätzwert für die Summe der auf das Teilnetz h entfallenden „Streckenabschnittsstunden-Kilometer“ innerhalb der ausgewählten Kreis-Doppelwoche g1. Man erhält diesen Schätzwert, indem die vorab bekannte Gesamtzahl 336.000 der Streckenabschnittsstunden, welche auf die Doppelwoche 1 und den für diese Teilperiode als Erhebungsgebiet ausgewählten grenzfernen Kreis entfallen, mit der aus der Stichprobe geschätzten mittleren Streckenabschnittslänge 0,09467 km multipliziert wird.

Dividiert man den Schätzer  $\hat{A}_{g1h}^{(c)}$  durch die Inklusionswahrscheinlichkeit  $\pi_{g1} = M_{g1}/M_g$  der ausgewählten Kreis-Doppelwoche g1, so ergibt sich gemäß Formel (C') der Schätzer für den Totalwert des Hilfsmerkmals in der Raum-Zeit-Schicht g zu

$$\hat{A}_{g,h}^{(c)} = 31.808/0,01 = 3.180.800.$$

Der Schätzer  $\hat{A}_{g,h}^{(c)}$  ist für sich genommen nicht von Interesse. Von Bedeutung ist der Schätzer aber im Hinblick Schritt 3 der Hochrechnung.

• Anmerkung 1

Dividiert man den geschätzten Klumpentotalwert des Hilfsmerkmals (31.808) durch die Zahl der Stunden einer Doppelwoche (336), so ergibt dies die geschätzte Gesamtlänge der  $N_{g1h} = 1.000$  Streckenabschnitte des Teilnetzes h in dem grenzfernen Kreis, in welchem in Doppelwoche 1 die Verkehrszählung stattfindet:

$$\begin{aligned}31.808/336 &= 336.000 \times 0,09467/336, \\ &= 1.000 \times 0,09467, \\ &= 94,67 \text{ km}.\end{aligned}$$

Zur Interpretation der Zwischenergebnisse sei weiterhin angemerkt, dass die Division des geschätzten Schichttotalwerts  $\hat{A}_{g,h}^{(c)}$  durch 336 mit

$$\begin{aligned}\hat{A}_{g,h}^{(c)}/336 &= 3.180.800/336, \\ &= 9.466,67 \text{ km},\end{aligned}$$

einen Schätzwert für die Gesamtlänge der Streckenabschnitte des Teilnetzes h (BAB) in den Kreisen des betrachteten Kreistyps (hier grenzferne Kreise) ergibt.

• Anmerkung 2

Nach den Grunddaten des Zahlenbeispiels umfasst das Teilnetz h auf dem Gebiet der grenzfernen Kreise insgesamt 80.000 Streckenabschnitte mit einer tatsächlichen Gesamtlänge von 7.840 km. Diese Strukturinformation wird bei der Fahrleistungsschätzung gemäß Schritt 2A nicht genutzt, da es sich hier um eine freie Hochrechnung handelt. Da die Gesamtzahl der Streckenabschnitte des Teilnetzes h auf dem Gebiet der grenzfernen Kreise (80.000) sowie deren Durchschnittslänge (7.840/80.000 = 0,098 km) bekannt ist, kann der wahre Wert des Schichttotals des Hilfsmerkmals berechnet werden:

$$A_{g \cdot h} = 80.000 \times 336 \times 0,098, \\ = 2.634.240.$$

Wie man sieht, weicht im Zahlenbeispiel der Schätzwert  $\hat{A}_{g \cdot h}^{(c)} = 3.180.800$  vom wahren Wert  $A_{g \cdot h} = 2.634.240$  der „Streckenabschnittstunden-Kilometer“ deutlich nach oben ab.

- Anmerkung 3

Im vorliegenden Zahlenbeispiel wird der Schichttotalwert des Hilfsmerkmals um den Faktor 1,21 überschätzt (3,18 Mio. gegenüber 2,63 Mio. Streckenabschnittstunden-Kilometer). In einer solchen Situation liegt wegen der positiven Korrelation zwischen Hilfs- und Zielmerkmal die Vermutung nahe, dass bei freier Hochrechnung auch der Schichttotalwert des Zielmerkmals Fahrleistung überschätzt wird (bei gegebener Verkehrsstärke ist die auf einem bestimmten Straßennetz in einem bestimmten Zeitraum entstehende Gesamtfahrleistung direkt proportional zur Netzlänge). Würde man sich – was bei der Fahrleistungserhebung 2014 wohl gemerkt aber nicht der Fall ist – für Schichttotalwerte der Fahrleistung interessieren, so wäre anstelle der freien Hochrechnung besser eine Verhältnisschätzung durchzuführen, bei welcher die „freie“ Schätzung  $\hat{Y}_{g \cdot h}^{(c)}(r,s)$  nach unten korrigiert wird, und zwar mit dem Faktor  $1/1,21 \approx 0,83$ .

Als Verhältnisschätzer für den Schichttotalwert der Fahrleistung von (r,s)-Fahrzeugen auf dem Teilnetz h ergibt sich im Fall der hier betrachteten Raum-Zeit-Schicht „grenzferne Kreise/Doppelwoche 1“:

$$\hat{Y}_{g \cdot h}^R(r,s) = A_{g \cdot h} \cdot (\hat{Y}_{g \cdot h}^{(c)}(r,s) / \hat{A}_{g \cdot h}^{(c)}), \\ = 2.634.240 \times (8.960.000.000 / 3.180.800), \\ = 8.960.000.000 \times 0,828169, \\ = 7.420.394.366.$$

Der Verhältnisschätzwert 7,42 Mrd. Kfzkm berücksichtigt, anders als der in Schritt 2A frei hochgerechnete Wert 8,96 Mrd. Kfzkm, die Information über die Länge des hier betrachteten Teilnetzes.

Der in den Verhältnisschätzer einfließende Quotient  $\hat{Y}_{g \cdot h}^{(c)}(r,s) / \hat{A}_{g \cdot h}^{(c)}$ , der hier den Wert

$$8.960.000.000 / 3.180.800 = 2.816,90 \text{ Kfz/h}$$

annimmt, ist ein Schätzwert für die mittlere stündliche Verkehrsstärke in der Raum-Zeit-Schicht g. Der Notation entsprechend bezieht sich dieser Wert

auf (r,s)-Fahrzeuge und das Teilnetz h. Der Verhältnisschätzer  $\hat{Y}_{g \cdot h}^R(r,s)$  ist also auch so zu interpretieren, dass die geschätzte mittlere stündliche Verkehrsstärke (2.816,90 Kfz/h) mit der bekannten Gesamtzahl der Streckenabschnittstunden-Kilometer, d. h. dem Produkt aus Gesamtstreckenlänge im Untersuchungsgebiet (7.840 km) und Gesamtzahl der Stunden des Untersuchungszeitraums (336) multipliziert wird:

$$\hat{Y}_{g \cdot h}^R(r,s) = 2.816,90 \times (7.840 \times 336), \\ = 7,42 \text{ Mrd. Kfzkm.}$$

### Schritt 3: Zusammenfassung der geschätzten Fahrleistungtotalwerte über die Raum-/Zeit-Schichten (Gesamttotalwert)

Die Zusammenführung der Schätzer  $\hat{Y}_{g \cdot h}^{(c)}(r,s)$  für die schichtspezifischen Fahrleistungtotalwerte zu einem Schätzer für den Gesamttotalwert der Fahrleistung (Summe über alle Raum-/Zeit-Schichten g) kann nach dem Verfahren der kombinierten wie auch der separaten Verhältnisschätzung erfolgen, wobei jeweils die aus der Auswahlgrundlage bekannte Streckenabschnittlänge als Hilfsmerkmal dient.

- **Kombinierte Verhältnisschätzung**

Im Zahlenbeispiel wird die kombinierte Verhältnisschätzung für den hier vorliegenden Fall von 4 Schichten illustriert (s. Tabelle 17). Dabei werden für Schicht g = 1 die oben in den Schritten 1, 2A und 2B ermittelten Zahlenwerte verwendet. Für die Schichten g = 2, 3 und 4 werden neue hypothetische Werte eingeführt. Die wahren Schichttotalwerte des Hilfsmerkmals stimmen für die Raum-/Zeit-Schichten g = 1 und g = 2 überein, da es sich hier um ein und dieselbe Teilgesamtheit von Kreisen (grenzferne Kreise) in zwei verschiedenen Doppelwochen des Untersuchungszeitraums handelt und sich kurzfristig Gesamtzahl und Durchschnittslänge der Streckenabschnitte des untersuchten Teilnetzes h (hier BAB) nicht ändern. Entsprechend sind die wahren Schichttotalwerte des Hilfsmerkmals für die Schichten g = 3 und g = 4 identisch. Nach den Grunddaten des Zahlenbeispiels beläuft sich die entsprechende Summe der Streckenabschnittstunden-Kilometer auf  $A_{3 \cdot h} = A_{4 \cdot h} = 30.000 \times 336 \times 0,095 = 957.600$ .



Kreistyp	Lfd. Nummer der Doppelwoche	Schätzer $\hat{Y}_{g,h}^{(c)}(r,s)$ für das Schichttotal des Zielmerkmals	Schätzer $\hat{A}_{g,h}^{(c)}$ für das Schichttotal des Hilfsmerkmals	Wahrer Schichttotalwert $A_{g,h}$ des Hilfsmerkmals
grenzfern	1	8.960.000.000	3.180.800	2.634.240
grenzfern	2	7.650.000.000	2.550.000	2.634.240
grenznah	1	2.639.000.000	910.000	957.600
grenznah	2	3.168.000.000	990.000	957.600
Insgesamt		22.417.000.000	7.630.800	7.183.680

Tab. 17: Struktur- und Erhebungsdaten für die kombinierte Verhältnisschätzung (Zahlenbeispiel)

Bei der kombinierten Verhältnisschätzung des Gesamttotalwerts  $\hat{Y}_{\cdot,h}(r,s)$  der Fahrleistungen werden gemäß Formel (D) die schichtspezifischen Totalwertschätzer für das Ziel- und Hilfsmerkmal vor der Verhältnisbildung über die beiden Schichten hinweg zusammengefasst:

$$\begin{aligned}\hat{Y}_{R_{\cdot,h}}^{\text{komb}}(r,s) &= \sum_g A_{g,h} [\sum_g \hat{Y}_{g,h}^{(c)}(r,s)] / [\sum_g \hat{A}_{g,h}^{(c)}], \\ &= 7.183.680 \times (22.417.000.000 / 7.630.800), \\ &= 7.183.680 \times 2.937,69985, \\ &= 21.103.495.644.\end{aligned}$$

Gemäß kombinierter Verhältnisschätzung beträgt im gesamten Untersuchungsgebiet (grenzferne und grenznahe Kreise) und Untersuchungszeitraum (4 Kalenderwochen) die Summe der Fahrleistungen von (r,s)-Fahrzeugen auf dem Teilnetz h rund

21,103 Mrd. Kfzkm.

Bei freier Hochrechnung des Gesamttotalwerts der Fahrleistung, d. h. ohne Verwendung der Information über die Streckenlängen im Untersuchungsgebiet, ergäbe sich der Schätzwert 22,417 Mrd. Kfzkm. Da das frei hochgerechnete Gesamttotal des Hilfsmerkmals um ca. 6,2 Prozent ( $7.630.800 / 7.183.680 = 1,06224$ ) über dem wahren Wert liegt, wird bei der kombinierten Verhältnis-

schätzung die freie Schätzung der Gesamtfahrleistung mit dem Faktor 0,94141 (=  $1/1,06224$ ) nach unten korrigiert:  $22,417 \times 0,94141 = 21,103$  Mrd. Kfzkm.

#### • Separate Verhältnisschätzung

Im Rahmen des Beispiels wird die separate Verhältnisschätzung unter Verwendung der bereits eingeführten Zahlenwerte veranschaulicht (s. Tabelle 18).

Bei der separaten Verhältnisschätzung wird gemäß Formel (E) für jede Raum-Zeit-Schicht g eine Verhältnisschätzung des Schichttotalwerts der Fahrleistung durchgeführt. Der Schätzer für den Gesamttotalwert ergibt sich dann durch Summation über die Schichten:

$$\begin{aligned}\hat{Y}_{R_{\cdot,h}}^{\text{sep}}(r,s) &= \sum_g [A_{g,h} \hat{Y}_{g,h}^{(c)}(r,s) / \hat{A}_{g,h}^{(c)}] \\ &= (2.634.240 \times 8.960.000.000 / 3.180.800) \\ &\quad + (2.634.240 \times 7.650.000.000 / 2.550.000) \\ &\quad + (957.600 \times 2.639.000.000 / 910.000) \\ &\quad + (957.600 \times 3.168.000.000 / 990.000) \\ &= 7.420.394.366 + 7.902.720.000 \\ &\quad + 2.777.040.000 + 3.064.320.000 \\ &= 21.164.474.366\end{aligned}$$

Kreistyp	Lfd. Nr. der Doppelwoche	Schätzer $\hat{Y}_{g,h}^{(c)}(r,s)$ für das Schichttotal des Zielmerkmals	Schätzer $\hat{A}_{g,h}^{(c)}$ für das Schichttotal des Hilfsmerkmals	Wahrer Schichttotalwert $A_{g,h}$ des Hilfsmerkmals	Verhältnisschätzer $\hat{Y}_{\cdot,h}(r,s)$ für das Schichttotal des Zielmerkmals
grenzfern	1	8.960.000.000	3.180.800	2.634.240	7.420.394.366
grenzfern	2	7.650.000.000	2.550.000	2.634.240	7.902.720.000
grenznah	1	2.639.000.000	910.000	957.600	2.777.040.000
grenznah	2	3.168.000.000	990.000	957.600	3.064.320.000
Insgesamt		-	-	-	21.164.474.366

Tab. 18: Separate Verhältnisschätzung (Zahlenbeispiel)

Gemäß separater Verhältnisschätzung beläuft sich im Untersuchungsgebiet und Untersuchungszeitraum die Summe der Fahrleistungen von (r,s)-Fahrzeugen auf dem Teilnetz h auf

21,164 Mrd. Kfzkm.

Wie man sieht, unterscheidet sich im vorliegenden Zahlenbeispiel das Ergebnis der separaten Verhältnisschätzung nur wenig von demjenigen der kombinierten Verhältnisschätzung. Bei der praktischen Anwendung beider Verfahren auf dieselben Stichprobendaten können die Ergebnisse ggf. auch weiter auseinanderliegen.

### 3.8 Varianzschätzung

#### Serienverfahren

Im Interesse der Gewinnung zuverlässiger Stichprobenergebnisse in Verbindung mit möglichst geringem Erhebungsaufwand wurden bei der Planung der Verkehrszählung die zur Verfügung stehenden stichprobenmethodischen Optimierungsmöglichkeiten weitestgehend genutzt. Durch die gleichzeitige Anwendung von Schichtung, Klumpung, Mehrstufigkeit und gebundener Hochrechnung wird es allerdings zum Problem, eine Fehlerrechnung durchzuführen, die alle methodischen Elemente der Stichprobenplanung berücksichtigt. Einen Ausweg stellen in diesem Zusammenhang sog. „Unterstichprobenverfahren“ (Serienverfahren nach DEMING, Jackknife-Methode, Bootstrap-Verfahren) dar, mit deren Hilfe bei komplexen Stichprobendesigns die Präzision der Stichprobenergebnisse ermittelt werden kann. Die vorliegenden Darstellungen stützen sich auf KRUG, NOURNEY und SCHMIDT (1999), S. 208-211. Detaillierte Beschreibungen findet man bei SÄRNDAL, SWENSSON und WRETMAN (1992), S. 423 ff.

Bei einem Unterstichprobenverfahren werden aus der Stichprobe mehrere Unterstichproben gezogen und es wird aus jeder Unterstichprobe die interessierende Kennzahl  $Y$  der Grundgesamtheit geschätzt. Der Standardfehler des Schätzers  $\hat{Y}$  der Gesamtstichprobe kann dann mithilfe der Varianz der Unterstichproben-Schätzwerte berechnet werden. Durch die Verwendung hochgerechneter Werte fließen alle darin enthaltenen Informationen über das Stichprobendesign in die Standardfehlerschätzung ein. Als Unterstichprobenverfahren kam im vorliegenden Fall das Serienverfahren nach DEMING zur Anwendung.

Beim Serienverfahren zerlegt man die Gesamtstichprobe vom Umfang  $n$  nach einem Zufallsverfahren in  $G$ -Gruppen (sog. „Serien“), jede vom Umfang  $m = n/G$ . Die Aufteilung ist so vorzunehmen, dass jede Serie dasselbe Stichprobendesign wie die Gesamtstichprobe hat und sich von ihr nur durch den kleineren Stichprobenumfang unterscheidet.

Nach dem für die Gesamtstichprobe verwendeten Schätzverfahren berechnet man aus der ersten Serie eine Schätzung  $\hat{Y}_{(1)}$  für den interessierenden Totalwert  $Y$ ; eine weitere Schätzung  $\hat{Y}_{(2)}$  wird aus der zweiten Serie berechnet, usw. Aus den so ermittelten serienspezifischen Schätzungen  $\hat{Y}_{(g)}$  wird der Mittelwert

$$\hat{Y}_S = \frac{1}{G} \sum_g \hat{Y}_{(g)}$$

gebildet. Die Varianz des Gesamtstichproben-Schätzers  $\hat{Y}$  kann anhand der aus den  $G$ -Serien hochgerechneten Totalwerte  $\hat{Y}_{(g)}$  durch die Größe

$$S_{\hat{Y}}^2 = \frac{1}{G(G-1)} \sum_{g=1}^G (\hat{Y}_{(g)} - \hat{Y}_S)^2$$

abgeschätzt werden, da der Erwartungswert von  $S_{\hat{Y}}^2$  nur geringfügig kleiner als die Varianz von  $\hat{Y}$  ist.

Da die Schätzgüte des Serienverfahrens mit der Zahl der Serien wächst, sollte  $G$  nicht kleiner als 5 gewählt werden.

Das Serien-Verfahren wurde im vorliegenden Kontext in folgender Form angewandt:

- Die Gesamtstichprobe (maßgeblich ist die Stichprobe der Primäreinheiten) wird für die Zwecke der Varianzschätzung wie folgt interpretiert: Die Stichprobe umfasst 52 Einheiten (Kreis-Doppelwochen), welche sich auf 2 Schichten (Kreistypen) verteilen (26 Einheiten je Schicht); durch das Auswahlverfahren innerhalb der Schichten wurde sichergestellt, dass sich die ausgewählten Einheiten in zeitlicher Hinsicht gleichmäßig über das Erhebungsjahr verteilen.
- Innerhalb beider Schichten werden die in die Stichprobe gelangten Kreis-Doppelwochen zufällig in 5 Unterstichproben (Serien) zerlegt. Um Serien gleichen Umfangs zu erhalten, wird vor

der Zerlegung in jeder Schicht die zur Doppelwoche Nr. 1 gehörende Primäreinheit gestrichen.<sup>46</sup>

- Die 5 Unterstichproben umfassen somit pro Schicht (Kreistyp) jeweils 5 Kreis-Doppelwochen. Insgesamt besteht jede Unterstichprobe also aus 10 Primäreinheiten (Kreis-Doppelwochen).
- Um sicherzustellen, dass jede Unterstichprobe analog zur Gesamtstichprobe in zeitlicher Hinsicht gleichmäßig über das komplette Kalenderjahr 2014 verteilt ist, werden die 25 betrachteten Doppelwochen des Jahres in 5 Jahreszeitabschnitte unterteilt (Doppelwoche 2 bis 6, Doppelwoche 7 bis 11, ..., Doppelwoche 22 bis 26).
- Die Bildung der Unterstichproben erfolgt in der Weise, dass innerhalb jedes Jahreszeitabschnitts die 5 Doppelwochen den 5 Serien zufällig zugeordnet werden.
- Im Ergebnis hat man dann also 5 Unterstichproben bestehend aus jeweils 10 Kreis-Doppelwochen, welche sich wie die Gesamtstichprobe in räumlicher Hinsicht auf 2 Kreistypen (grenznah, grenzfern) und in zeitlicher Hinsicht auf 5 Jahreszeitabschnitte verteilen.
- Aus jeder Unterstichprobe kann nach dem für die Gesamtstichprobe verwendeten Schätzverfahren die Gesamtsumme der Fahrleistungen im Straßennetz hochgerechnet werden.

Bei der Zuordnung in Tabelle 19 besteht z. B. die zweite Unterstichprobe ( $g = 2$ ) aus den Kreis-Doppelwochen der Gesamtstichprobe, welche zu den Doppelwochen Nr. 2, 7, 14, 17 und 22 des Jahres 2014 gehören. Um welche Landkreise es sich bei den einzelnen Unterstichproben konkret handelt, kann Tabelle 7 entnommen werden.

	$g = 1$	$g = 2$	$g = 3$	$g = 4$	$g = 5$
$a = 1$	DW4	DW2	DW6	DW3	DW5
$a = 2$	DW10	DW7	DW9	DW11	DW8
$a = 3$	DW13	DW14	DW16	DW12	DW15
$a = 4$	DW21	DW17	DW20	DW18	DW19
$a = 5$	DW23	DW22	DW25	DW26	DW24

**Tab. 19:** Zufällige Zuordnung von Doppelwochen (DW) zu Unterstichproben ( $g$ ) getrennt nach Jahreszeitabschnitten ( $a$ )

Die Zuordnung von Doppelwochen zu 5 Unterstichproben könnte prinzipiell getrennt für die beiden Schichten von Primäreinheiten (grenznah, grenzfern) durchgeführt werden. Um aber möglichst eng am Design der Gesamtstichprobe zu bleiben, wurden mittels einer einzelnen Zuordnungstabelle die 5 Unterstichproben aus beiden Schichten von Primäreinheiten generiert.

### Collapsed-Strata-Methode

#### • Problemstellung

Wie in Kapitel 3.2.2 dargelegt, wurde aus Kostengründen und unter erhebungsorganisatorischen Gesichtspunkten das Stichprobendesign der Verkehrszählung im Rahmen der Fahrleistungserhebung 2014 so festgelegt, dass (a) in Stufe 1 aus jeder der 52 Raum-Zeit-Schichten jeweils nur eine Einheit (Kreis-Doppelwoche) ausgewählt und (b) in Stufe 2 innerhalb jeder in die Auswahl gelangten Primäreinheit in 8 der 9 Straßenklasse-Ortslage-Schichten ebenfalls jeweils nur eine Einheit (Streckenabschnittsperiode) gezogen wird. Bei Stichprobendesigns dieser Art, die theoretisch gut begründet und in der Erhebungspraxis weit verbreitet sind<sup>47</sup>, kann die Varianz des Schätzers für den Gesamttotalwert eines interessierenden Merkmals – hier des Schätzers für den Totalwert der Fahrleistung auf dem inländischen Straßennetz – nicht unverzerrt geschätzt werden, da aus der Stichprobe nichts über die Unterschiede zwischen den Primäreinheiten einer Schicht bekannt ist (vgl. z. B. MANTTEL und GIROUX 2009, S. 3069). Dies bedeutet nun aber nicht, dass es keine Möglichkeit zur Beurteilung der Genauigkeit der Schätzung gibt.

Aus dem Spektrum der denkbaren Strategien für die Varianzschätzung<sup>48</sup> bietet sich nach Abwägung

<sup>46</sup> Denkbar wäre auch, in beiden Schichten die zur Doppelwoche Nr. 1 gehörende Primäreinheit zufällig einer der 5 Serien zuzuordnen. Durch die hier gewählte Streichung von 2 der 52 Primäreinheiten sind keine nennenswerten Verzerrungen zu befürchten, zumal es unmittelbar zu Beginn des Erhebungsjahres 2014 noch gewisse erhebungsorganisatorische Probleme gab, die sich jetzt nicht auf die Varianzschätzung auswirken können.

<sup>47</sup> Die Bildung einer möglichst großen Anzahl von Schichten bis hin zu dem hier vorliegenden Extremfall, wo auf Stufe 1 die Zahl der Schichten gleich dem Stichprobenumfang ist, erhöht die Effizienz des Designs. Vgl. z. B. FOREMAN 1991, S. 224-225 sowie RUST & KALTON 1987, S. 69.

<sup>48</sup> Vgl. hierzu z. B. LEE & FORTHOFFER 2006, S. 22-39.

theoretischer und praktischer Gesichtspunkte im vorliegenden Kontext neben den Unterstichprobenverfahren vor allem die Collapsed-Strata-Methode, im Folgenden kurz CS-Methode genannt, zur Quantifizierung des Stichprobenfehlers an. Dieses in der empirischen Forschung wie auch der amtlichen Statistik gebräuchliche Verfahren ist dadurch gekennzeichnet, dass die ursprünglichen Schichten der ersten Auswahlstufe zu Gruppen von Schichten (sog. collapsed strata) zusammengefasst werden und innerhalb jeder Gruppe untersucht wird, wie stark sich die in die Auswahl gelangten Primäreinheiten<sup>49</sup> bezüglich des interessierenden Merkmals voneinander unterscheiden. Aus den innerhalb der Gruppen festgestellten Unterschieden kann ein Schätzer für die Varianz des Gesamttotalschätzers (kurz CS-Varianzschätzer) abgeleitet werden. Der im Folgenden dargestellte CS-Varianzschätzer überschätzt zwar die interessierende Varianz tendenziell, doch kann man diese Verzerrung durch eine geeignete Strategie für die Zusammenfassung der ursprünglichen Schichten klein halten.<sup>50</sup>

#### • Der CS-Varianzschätzer

Bei einem mehrstufigen Auswahlverfahren sei die Auswahlgesamtheit der ersten Stufe in  $L$ -Schichten zerlegt und es bezeichne  $N_h$  die Zahl der Primäreinheiten in Schicht  $h$  (Anmerkung: Bei der vorausgegangenen Darstellung des Hochrechnungsverfahrens wurden die  $G$ -Schichten von Primäreinheiten mit dem Index  $g$  gekennzeichnet; der jetzt vorgenommene Wechsel der Notation soll den Rückgriff auf die angegebene Literatur zur CS-Methode erleichtern).

In Stufe 1 werde aus jeder Schicht  $h$  genau eine Primäreinheit zufällig gezogen. In Stufe 2 werde innerhalb der ausgewählten  $L$ -Primäreinheiten jeweils eine Zufallsauswahl von Sekundäreinheiten (ggf. auch noch Tertiäreinheiten usw.) vorgenommen. Sei  $\pi_{hi}$  die Wahrscheinlichkeit, dass Primäreinheit  $i$  aus Schicht  $h$  gezogen wird; die Summe

der Inklusionswahrscheinlichkeiten  $\pi_{hi}$  über alle  $i = 1, \dots, N_h$  sei dabei für alle Schichten  $h$  gleich 1.

Der Grundgesamtheitstotalwert  $Y = Y_1 + \dots + Y_L$  werde durch den unverzerrten linearen Schätzer

$$(2.8.1) \quad \hat{Y} = \hat{Y}_1 + \dots + \hat{Y}_L$$

geschätzt, wobei

$$(2.8.2) \quad \hat{Y}_h = \hat{Y}_{hi}/\pi_{hi}.$$

Hierbei bezeichnet  $\hat{Y}_{hi}$  einen auf die aus Schicht  $h$  ( $h = 1, \dots, L$ ) ausgewählte Primäreinheit  $i$  bezogenen unverzerrten Schätzer für den interessierenden Totalwert,<sup>51</sup> berechnet auf Basis der aus dieser Einheit gezogenen Unterstichprobe.

Nun werde die Gesamtheit der  $L$  „ursprünglichen“ Schichten (man spricht hier auch von Design-Schichten, da es sich um die Schichten gemäß Stichprobenplan handelt) in  $G$ -Gruppen von Schichten („collapsed strata“, Pseudo-Schichten) zerlegt, wobei Gruppe  $j$  aus  $L_j \geq 2$  ursprünglichen Schichten besteht ( $j = 1, \dots, G$ ). Wenn man innerhalb der Gruppe  $j$  die dieser Gruppe zugeordneten  $L_j$  ursprünglichen Schichten mit  $k = 1, \dots, L_j$  durchnummeriert, kann der obige Totalwertschätzer  $\hat{Y}$  auch wie folgt dargestellt werden:

$$(2.8.3) \quad \hat{Y} = \sum_j \sum_k \hat{Y}_{jk}.$$

Summiert wird hierbei über  $j = 1, \dots, G$  und  $k = 1, \dots, L_j$ . In (2.8.3) bezeichnet  $\hat{Y}_{jk}$  den Schätzer für den Totalwert der  $k$ -ten Schicht innerhalb der Gruppe  $j$ , berechnet nach Formel (2.8.2).

Die für eine Effizienzbeurteilung benötigte Schätzung der Varianz  $V(\hat{Y})$  des Totalwertschätzers (2.8.3) kann mithilfe des CS-Varianzschätzers

$$(2.8.4) \quad v_{cs}(\hat{Y}) = \sum_j \{L_j/(L_j - 1)\} \sum_k [\hat{Y}_{jk} - \hat{Y}_j/L_j]^2$$

gewonnen werden, wobei  $\hat{Y}_j$  der durch

$$(2.8.5) \quad \hat{Y}_j = \sum_k \hat{Y}_{jk} \quad (j = 1, \dots, G)$$

definierte Schätzer für den Totalwert der Gruppe  $j$  ist. Während der Totalwertschätzer  $\hat{Y}$  unverzerrt ist (d. h.  $E[\hat{Y}] = Y$ ), trifft dies für den Varianzschätzer  $v_{cs}(\hat{Y})$  nicht zu. Vielmehr gilt

$$(2.8.6) \quad E[v_{cs}(\hat{Y})] = V(\hat{Y}) + \text{Bias}[v_{cs}(\hat{Y})]$$

mit

$$(2.8.7) \quad \text{Bias}[v_{cs}(\hat{Y})] = \sum_j \{L_j/(L_j - 1)\} \sum_k [Y_{jk} - Y_j/L_j]^2$$

<sup>49</sup> Die Zahl der in die Stichprobe gelangten Primäreinheiten stimmt bei jeder Gruppe von Schichten mit der Zahl der ursprünglichen Schichten überein, aus denen sich die Gruppe zusammensetzt.

<sup>50</sup> Die Darstellung orientiert sich an COCHRAN 1977, S. 138-140 sowie RUST & KALTON 1987.

<sup>51</sup> Hier: Fahrleistungssumme, welche auf die aus Schicht  $g$  ausgewählte Kreis-Doppelwoche  $i$  entfällt.



Wie man sieht, ist die Verzerrung des CS-Varianzschätzers positiv, d. h. die CS-Methode liefert „konservative“ Schätzungen. Die tendenzielle Überschätzung von  $V(\hat{Y})$  durch  $v_{cs}(\hat{Y})$  ist dabei umso geringer, je weniger sich die wahren Totalwerte der Schichten innerhalb einer Gruppe voneinander unterscheiden.

Ist die Zahl  $L$  der Schichten gerade, so werden vielfach  $G = L/2$  Gruppen bestehend aus jeweils 2 Schichten gebildet. Bei einer solchen Paarbildung kann der CS-Varianzschätzer in der Form

$$(2.8.8) \quad v_{cs}(\hat{Y}) = \sum_j [\hat{Y}_{j1} - \hat{Y}_{j2}]^2$$

geschrieben werden (Summation über  $j = 1, \dots, L/2$ ), wobei  $\hat{Y}_{j1}$  und  $\hat{Y}_{j2}$  die geschätzten Totalwerte der beiden Schichten bezeichnen, aus denen Gruppe  $j$  besteht. Für die Verzerrung ergibt sich

$$(2.8.9) \quad \text{Bias}[v_{cs}(\hat{Y})] = \sum_j [Y_{j1} - Y_{j2}]^2.$$

Die tendenzielle Überschätzung von  $V(\hat{Y})$  durch den CS-Varianzschätzer kann also vernachlässigt werden, wenn die wahren Totalwerte der beiden Schichten eines Paares näherungsweise gleich sind.

Eine ausführliche Darstellung der CS-Methode und ihrer Varianten enthält die Monografie von WOLTER (2007), empirische Vergleiche mit anderen Ansätzen der Varianzschätzung die Arbeit von MANTEL und GIROUX (2009). Schließlich sei noch darauf hingewiesen, dass man die mathematisch-statistischen Grundlagen der CS-Methode einschließlich Beweise bei HANSEN, HURWITZ und MADOW (1953a) sowie HANSEN, HURWITZ und MADOW (1953b) findet.

#### • Kriterien für die Bildung von Gruppen

Nach den vorausgegangenen Ausführungen ist klar, dass die zu bildenden Gruppen von Schichten in Bezug auf das Zielmerkmal „Fahrleistung“ möglichst homogen sein sollten, wobei aber die Stichprobendaten selbst nicht zur Gruppenbildung herangezogen werden dürfen. Außerdem sollten die zusammenfassenden Schichten annähernd den gleichen Umfang aufweisen (Anzahl Primäreinheiten pro Schicht). Zum Zweck der Varianzschätzung sind im vorliegenden Kontext also Schichten – d. h. Kombinationen von Kreistyp und Doppelwochennummer – mit annähernd gleicher Fahrleistungssumme und annähernd gleicher Anzahl von Kreisen<sup>52</sup> zu identifizieren, die zu Gruppen zusammengefasst werden können.

Da die Zahl der grenzfernen Kreise wesentlich größer ist als diejenige der grenznahen, kommt eine Zusammenfassung von Schichten, die sich bezüglich des Kreistyps unterscheiden, nicht infrage.<sup>53</sup> Zu einer Gruppe kann man vor diesem Hintergrund vielmehr immer nur Schichten desselben Kreistyps zusammenfassen, die sich hinsichtlich der Doppelwochennummer unterscheiden, beispielsweise also die beiden Schichten „grenznahe Kreise/Doppelwoche Nr. 1“ und „grenznahe Kreise/Doppelwoche Nr. 2“. Für die Aggregation von Doppelwochen innerhalb eines Kreistyps erscheinen die beiden folgenden Ansätze zielführend:

- Zusammenfassung von zeitlich benachbarten Doppelwochen in der Erwartung, dass sich von einer Doppelwoche zur nächsten die Summe der Fahrleistungen auf dem grenznahen bzw. grenzfernen Straßennetz nicht wesentlich ändert.
- Zusammenfassung von Doppelwochen, für die eine – unabhängig von der hochzurechnenden Verkehrszählung ermittelte – empirische Jahresganglinie der Verkehrsstärke ein möglichst ähnliches Fahrleistungsniveau vermuten lässt.

Ein weiterer wichtiger Punkt ist die Festlegung der Gruppengröße, also die Entscheidung über die Zahl der Schichten pro Gruppe. Hier bietet die Arbeit von RUST und KALTON (1987) eine Orientierungshilfe. Als Fazit einer gründlichen mathematisch-statistischen Analyse unterschiedlicher Gruppierungsstrategien (strategies for collapsing strata) wird dort festgehalten, dass unter dem Bewertungskriterium „Erwartungswert der Breite des 95%-Konfidenzintervalls für die Varianz“ bei der Festlegung der Gruppengröße (extent of collapsing) vier Faktoren zu berücksichtigen sind:

- Gesamtzahl der Schichten in Auswahlstufe 1. Je größer die Zahl dieser Schichten gemäß Stich-

<sup>52</sup> Da die Primäreinheiten innerhalb einer Schicht alle dieselbe Doppelwochennummer aufweisen, stimmt der Schichtumfang mit der Zahl der Kreise des betreffenden Typs überein.

<sup>53</sup> So kommt zum Beispiel eine Zusammenfassung der Schicht A „grenznahe Kreise/Doppelwoche Nr. 1“ mit der Schicht B „grenzferne Kreise/Doppelwoche Nr. 1“ nicht in Betracht, weil es zum einen wesentlich mehr grenzferne als grenznahe Kreise gibt (Kriterium Schichtumfang) und weil zum anderen wegen der beträchtlichen Unterschiede in der Straßennetzlänge die auf Schicht B entfallende Fahrleistung wesentlich größer ist als die Fahrleistungssumme der Schicht A (Kriterium Schichttotalwert).



probenplan, desto kleiner sollte die Gruppengröße gewählt werden (was automatisch zu mehr Gruppen führt).

- Abweichungen zwischen den Schichtmittelwerten innerhalb der Gruppen. Sind diese Abweichungen bei gegebener Gruppengröße stark, so sollten die Gruppengrößen verkleinert werden (vorausgesetzt, dass auf diesem Wege homogenere Gruppen gebildet werden können).
- Stichprobenumfang auf der letzten Auswahlstufe innerhalb der ausgewählten Primäreinheiten. Je kleiner dieser Stichprobenumfang ist, desto mehr Schichten sollten zu einer Gruppe zusammengefasst werden.
- Varianzschätzung für Untergruppen. Bei der Schätzung der Varianz von Untergruppen-Schätzern ist die Bildung größerer Gruppen vorteilhaft.

Die Autoren stellen zusammenfassend fest, dass in der Praxis meist Paare von Schichten gebildet werden und dass dieses Vorgehen sich grundsätzlich zur CS-Varianzschätzung bei Erhebungen mit mindestens 60 ausgewählten Primäreinheiten eignet. Liegt die Zahl der ausgewählten Primäreinheiten unter diesem Wert, so erscheint die Bildung größerer Gruppen vorteilhaft; dies gilt auf jeden Fall dann, wenn nur etwa 20 Primäreinheiten ausgewählt werden.

Mit Blick auf die Verkehrszählung im Rahmen der Fahrleistungserhebung 2014 heißt dies, dass ein CS-Verfahren mit Paaren von Schichten zur Anwendung kommen kann. Da in der ersten Stufe  $L = 52$  Raum-/Zeit-Schichten vorliegen, sind in diesem Fall also 26 Gruppen jeweils der Größe  $L_{j=2}$  zu bilden. Berücksichtigt man, dass die beiden Schichten eines Paares bezüglich des Kreistyps übereinstimmen müssen, führt dies zu  $G = G_n + G_f = 13 + 13 = 26$  Gruppen:

- Grenznahe Kreise:  
 $G_n = 13$  Gruppen (13 Paare von Schichten),

- Grenzferne Kreise:  
 $G_f = 13$  Gruppen (13 Paare von Schichten).

Schematisch kann die Paarbildung durch Zusammenfassung von je zwei zeitlich aufeinanderfolgenden Doppelwochen (DW) bei festem Kreistyp dargestellt werden (s. Tabelle 20).

Zu denken ist alternativ aber auch an eine Gruppierung derart, dass ausschließlich oder überwiegend Tripel von Schichten gebildet werden. Wie zuvor bei den Paaren muss auch für die Tripel gelten, dass die jeweils zusammengefassten Schichten bezüglich des Kreistyps übereinstimmen. Ein Beispiel hierfür wäre die folgende Zusammenfassung der  $L = 52$  ursprünglichen Schichten zu Tripeln bzw. Paaren, bei der sich  $G = G_n + G_f = 9 + 9 = 18$  Gruppen ergeben:

- Grenznahe Kreise:  
 $G_n = 9$  Gruppen  
(8 Tripel und ein Paar von Schichten),
- Grenzferne Kreise:  
 $G_f = 9$  Gruppen  
(8 Tripel und ein Paar von Schichten).

Tabelle 21 zeigt eine der vielen Möglichkeiten für die Umsetzung dieses Gruppierungsansatzes.

Die CS-Methode wird unter Verwendung der Daten des Zahlenbeispiels aus Kapitel 3.7 im Folgenden für den Fall illustriert, dass die Schichttotalwerte der Fahrleistung frei hochgerechnet und innerhalb der Kreistypen zeitlich benachbarte Doppelwochen zu Paaren zusammengefasst werden. Aus den 4 ur-

Kreistyp	DW 1+2	DW 3+4	...	DW 23+24	DW 25+26
grenznah	Gruppe 1	Gruppe 2	...	Gruppe 12	Gruppe 13
grenzfern	Gruppe 14	Gruppe 15	...	Gruppe 25	Gruppe 26

**Tab. 20:** Schematische Darstellung der Paarbildung durch Zusammenfassung von je zwei zeitlich aufeinanderfolgenden Doppelwochen (DW) bei festem Kreistyp

Kreistyp	DW 1+2+3	DW 4+5+6	DW 7+8+9	...	DW 22+23+24	DW 25+26
grenznah	Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3	...	Gruppe 8	Gruppe 9
grenzfern	Gruppe 10	Gruppe 11	Gruppe 12	...	Gruppe 17	Gruppe 18

**Tab. 21:** Schema für eine der vielen Möglichkeiten für die Umsetzung des Gruppierungsansatzes mit überwiegender Tripel-Bildung

Kreistyp	Freie Hochrechnung für DW 1	Freie Hochrechnung für DW 2	Summe der Schätzwerte	Differenz der Schätzwerte	Quadierte Differenz
grenzfern	8.960.000.000	7.650.000.000	16.610.000.000	1.310.000.000	$1,7161 \times 10^{18}$
grenznah	2.639.000.000	3.168.000.000	5.807.000.000	-529.000.000	$0,279841 \times 10^{18}$
Summe	-	-	22.417.000.000	-	$1,995941 \times 10^{18}$

Tab. 22: Zahlenbeispiel zur CS-Methode

sprünglichen Raum-Zeit-Schichten resultieren somit 2 Gruppen bestehend aus jeweils 2 Schichten (s. Tabelle 22).

Ausgehend von den Schätzwerten für die 4 Schichttotale der Fahrleistung erhält man bei freier Hochrechnung des Gesamttotalwerts folgende Ergebnisse:

- Schätzwert für Gesamttotal der Fahrleistung:  $22,417 \times 10^9$  Kfzkm,
- CS-Schätzwert für die Varianz des Totalwertschätzers:  $1,995941 \times 10^{18}$ ,
- Geschätzter Standardfehler der Schätzung:  $\sqrt{(1,995941 \times 10^{18})} = 1,412778 \times 10^9$ ,
- Relativer Standardfehler:  $1,412778 \times 10^9 / 22,417 \times 10^9 = 0,063 = 6,3 \%$ ,
- Approximatives 95%-Konfidenzintervall:  $22,417 \times 10^9 \pm 2 \times 1,412778 \times 10^9$ ,
- Untergrenze:  $22,417 \times 10^9 - 2,826 \times 10^9 = 19,591 \times 10^9$  Kfzkm,
- Obergrenze:  $22,417 \times 10^9 + 2,826 \times 10^9 = 25,243 \times 10^9$  Kfzkm.

Nach den Daten des Zahlenbeispiels kann man darauf vertrauen, dass die auf das Untersuchungsgebiet (grenzferne und grenznahe Kreise) und den Untersuchungszeitraum (Doppelwoche 1 und 2) entfallende Fahrleistung durch das Intervall

19,6 bis 25,2 Mrd. Kfzkm

überdeckt wird (absolut sicher ist dies aber nicht!). Anzumerken ist noch, dass die Konfidenzschätzung „konservativ“ ist in dem Sinne, dass das Konfidenzintervall eher zu breit als zu eng ausfällt. Ursache hierfür ist die Verzerrung des CS-Varianzschätzers „nach oben“.

### CS-Methode zur Beurteilung der Genauigkeit einer Verhältnisschätzung

Wird der Grundgesamtheitstotalwert

$$Y = \sum_h Y_h = Y_1 + \dots + Y_L$$

nach der Methode der kombinierten Verhältnisschätzung geschätzt, so dient

$$(2.8.10) \quad \hat{Y}^R = rA$$

als Schätzer für  $Y$ , wobei  $A = \sum_h A_h = A_1 + \dots + A_L$  den Grundgesamtheitstotalwert des Hilfsmerkmals bezeichnet und  $r$  wie folgt definiert ist:

$$(2.8.11) \quad r = \hat{Y}/\hat{A}$$

mit

$$\hat{Y} = \sum_h \hat{Y}_h \text{ und } \hat{A} = \sum_h \hat{A}_h.$$

Hierbei ist der Schätzer  $\hat{Y}_h$  für  $Y_h$  durch

$$\hat{Y}_h = \hat{Y}_{hi}/\pi_{hi}$$

gegeben. Wie zuvor bezeichnet  $\hat{Y}_{hi}$  den auf die aus Schicht  $h$  ( $h = 1, \dots, L$ ) ausgewählte Primäreinheit  $i$  bezogenen unverzerrten Schätzer für den interessierenden Totalwert, berechnet auf Basis der aus dieser Einheit gezogenen Unterstichprobe. Der Schätzer für den Schichttotalwert  $A_h$  des Hilfsmerkmals ist entsprechend  $\hat{A}_h = \hat{A}_{hi}/\pi_{hi}$ .

Für den Fall, dass aus jeder Schicht  $h = 1, \dots, L$  nur eine Primäreinheit ausgewählt wird, kann die Varianz  $V(\hat{Y}^R)$  des Verhältnisschätzers  $\hat{Y}^R$  unter Rückgriff auf das CS-Verfahren geschätzt werden (vgl. HANSEN, HURWITZ und MADOW 1953a, S. 419 sowie HANSEN, HURWITZ und MADOW 1953b, S. 218-222). Bezeichnet man das Quadrat des Variationskoeffizienten eines Schätzers<sup>54</sup> als „relative

<sup>54</sup> Der Variationskoeffizient eines Schätzers ist definiert als (Standardfehler des Schätzers)/(zu schätzender Wert).

Varianz“ (Symbol  $CV^2$ ), so sieht man unmittelbar, dass die relative Varianz des Verhältnisschätzers  $\hat{Y}^R$  für den Totalwert  $Y$  mit der relativen Varianz des Schätzers  $r$  für das Verhältnis  $R = Y/A$  übereinstimmt:

$$(2.8.12) \quad CV^2(\hat{Y}^R) = V(\hat{Y}^R)/Y^2 = A^2 \cdot V(r)/Y^2 \\ = V(r)/R^2 = CV^2(r).$$

Die relative Varianz  $CV^2(r)$  des Schätzers  $r$  kann geschätzt werden, wenn man in der bekannten Weise die Gesamtheit der  $L_j$  „ursprünglichen“ Schichten in  $G$  Gruppen von Schichten zerlegt, wobei Gruppe  $j$  aus  $L_j \geq 2$  ursprünglichen Schichten besteht ( $j = 1, \dots, G$ ). Wie zuvor werden die  $L_j$ -Schichten innerhalb der Gruppe  $j$  mit  $k = 1, \dots, L_j$  durchnummeriert. Als Schätzer für  $CV^2(r)$  dient

$$(2.8.13) \quad cv^2(r) = cv^2(\hat{Y}) + cv^2(\hat{A}) - 2cv(\hat{Y}, \hat{A})$$

wobei

$$cv^2(\hat{Y}) = s^2(\hat{Y})/\hat{Y}^2 \\ = (1/\hat{Y}^2) \cdot \sum_j \{L_j/(L_j-1)\} \sum_k [\hat{Y}_{jk} - \hat{Y}_j/L_j]^2$$

$$cv^2(\hat{A}) = s^2(\hat{A})/\hat{A}^2 \\ = (1/\hat{A}^2) \cdot \sum_j \{L_j/(L_j-1)\} \sum_k [\hat{A}_{jk} - \hat{A}_j/L_j]^2$$

$$cv(\hat{Y}, \hat{A}) = s(\hat{Y}, \hat{A})/(\hat{Y} \cdot \hat{A}) \\ = (1/(\hat{Y} \cdot \hat{A})) \cdot \sum_j \{L_j/(L_j-1)\} \sum_k [\hat{Y}_{jk} - \hat{Y}_j/L_j][\hat{A}_{jk} - \hat{A}_j/L_j]$$

- Anmerkung

Sind die Schichten  $k = 1, \dots, L_j$  innerhalb einer Gruppe  $j$  (anders als im hier vorliegenden Fall) nicht gleich groß, so ist in den obigen Formeln der Faktor  $(1/L_j)$  durch den Gewichtungsfaktor

$(H_{jk}/H_j)$  zu ersetzen, wobei  $H_{jk}$  eine mit dem Schichttotalwert  $Y_{jk}$  möglichst hoch korrelierte Größe ist.

In analoger Weise lässt sich auch die relative Varianz für einen Anteilswert (z. B. Anteil ausländischer Kfz an der Gesamtfahrleistung) bestimmen. Anstelle der Schätzung der relativen Varianz für das Hilfsmerkmal ( $cv^2(\hat{A})$ ) muss hierfür die relative Varianz des Totalwerts der interessierenden Teilgesamtheit ( $cv^2(\hat{Y}^*)$ ) – im Beispiel wäre dies die Fahrleistungssumme der ausländischen Kfz – geschätzt werden. In der entsprechenden Formel ist lediglich  $\hat{A}$  durch  $\hat{Y}^*$  zu ersetzen.

Mit den Daten des schon bekannten Zahlenbeispiels ergeben sich für die Varianzschätzung die im Folgenden dargestellten Werte.

- **Schätzung der relativen Varianz des Schätzers  $\hat{Y}$**

Setzt man die Zahlenwerte gemäß Tabelle 23 in die Formel für  $cv^2(\hat{Y})$  ein, so erhält man

$$cv^2(\hat{Y}) = 1/22.417.000.000^2 \cdot \\ \{2 \times 2 \times 42,9025 \times 10^{16} \\ + 2 \times 2 \times 6,996025 \times 10^{16}\}$$

Wegen  $22.417.000.000^2 = 5,02521889 \times 10^{20}$  kann dafür auch

$$cv^2(\hat{Y}) = 2 \times 99,79705 \times 10^{16} / 5,02521889 \times 10^{20}$$

bzw.

Kreistyp/Gruppe j	Schätzwert für DW 1: $\hat{Y}_{j1}$	Schätzwert für DW 2 $\hat{Y}_{j1}$	Summe der Schätzwerte $\hat{Y}_j$	$\hat{Y}_j/L_j$
grenzfern	8.960.000.000	7.650.000.000	16.610.000.000	8.305.000.000
grenznah	2.639.000.000	3.168.000.000	5.807.000.000	2.903.500.000
Summe	-	-	22.417.000.000	-
Kreistyp/Gruppe (j)	Doppelwoche (k)	$\hat{Y}_{jk}$	$\hat{Y}_j/L_j$	$[\hat{Y}_{jk} - \hat{Y}_j/L_j]^2$
grenzfern	1	8.960.000.000	8.305.000.000	$42,9025 \times 10^{16}$
grenzfern	2	7.650.000.000	8.305.000.000	$42,9025 \times 10^{16}$
grenznah	1	2.639.000.000	2.903.500.000	$6,996025 \times 10^{16}$
grenznah	2	3.168.000.000	2.903.500.000	$6,996025 \times 10^{16}$
Summe	-	22.417.000.000	-	$99,79705 \times 10^{16}$

Tab. 23: Schätzung der relativen Varianz des Zielmerkmals

$$cv^2(\hat{Y}) = 1,995941 \times 10^{-18} / 5,02521889 \times 10^{20} \\ = 0,3971849 \times 10^{-2} = 0,00397$$

geschrieben werden. Der geschätzte Variationskoeffizient des Schätzers  $\hat{Y}$  (relativer Standardfehler) ist somit

$$cv(\hat{Y}) = 1,412778 \times 10^{-9} / 22,417 \times 10^9 \\ = 0,0630226$$

- Anmerkung

Werden wie in diesem Zahlenbeispiel die ursprünglichen Schichten zu Paaren zusammengefasst, so kann der Schätzer für die relative Varianz von  $\hat{Y}$ , wie weiter oben bereits dargestellt, auch folgendermaßen geschrieben werden:

$$cv^2(\hat{Y}) = s^2(\hat{Y}) / \hat{Y}^2 \\ = \sum_j [\hat{Y}_{j1} - \hat{Y}_{j2}]^2 / \hat{Y}^2$$

- Schätzung der relativen Varianz des Schätzers  $\hat{A}$**

Mit den Zahlenwerten aus Tabelle 24 ergibt sich

$$cv^2(\hat{A}) = (1/7.630.800^2) \cdot \{2 \times 2 \times 99,477160 \times 10^9 \\ + 2 \times 2 \times 1,6 \times 10^9\}$$

Wegen

$$7.630.800^2 = 58,22910864 \times 10^{12}$$

kann dafür auch

$$cv^2(\hat{A}) = 2 \times 202,15432 \times 10^9 / 58,22910864 \times 10^{12}$$

bzw.

$$cv^2(\hat{A}) = 404,30864 \times 10^9 / 58,22910864 \times 10^{12} \\ = 6,94341111 \times 10^{-3} = 0,0069434$$

geschrieben werden. Der geschätzte Variationskoeffizient des Schätzers  $\hat{A}$  (relativer Standardfehler) ist somit

$$cv(\hat{A}) = 0,0833271$$

- Schätzung der relativen Kovarianz**

Aus Tabelle 25 ergibt sich für die relative Kovarianz

$$cv(\hat{Y}, \hat{A}) = \\ = (1 / (22,417 \times 10^9 \cdot 7.630.800)) \cdot \\ \{2 \times 434,334 \times 10^{12}\} \\ = 2 \times 434,334 \times 10^{12} / 1,710596436 \times 10^{17} \\ = 868,668 \times 10^{12} / 1,710596436 \times 10^{17} \\ = 507,8158598478 \times 10^{-5} \\ = 0,005078$$

Kreistyp/Gruppe (j)	Schätzwert für DW 1: $\hat{A}_{j1}$	Schätzwert für DW 2: $\hat{A}_{j2}$	Summe der Schätzwerte $\hat{A}_j$	$\hat{A}_j / L_j$
grenzfern	3.180.800	2.550.000	5.730.800	2.865.400
grenznah	910.000	990.000	1.900.000	950.000
Summe	-	-	7.630.800	-
Kreistyp/Gruppe (j)	Doppelwoche (k)	$\hat{A}_{jk}$	$\hat{A}_j / L_j$	$[\hat{A}_{jk} - \hat{A}_j / L_j]^2$
grenzfern	1	3.180.800	2.865.400	$99,477160 \times 10^9$
grenzfern	2	2.550.000	2.865.400	$99,477160 \times 10^9$
grenznah	1	910.000	950.000	$1,6 \times 10^9$
grenznah	2	990.000	950.000	$1,6 \times 10^9$
Summe	-	7.630.800	-	$202,15432 \times 10^9$

Tab. 24: Schätzung der relativen Varianz des Hilfsmerkmals

Kreistyp/Gruppe (j)	Doppelwoche (k)	$\hat{Y}_{jk} - \hat{Y}_j / L_j$	$\hat{A}_{jk} - \hat{A}_j / L_j$	$[\hat{Y}_{jk} - \hat{Y}_j / L_j] \times [\hat{A}_{jk} - \hat{A}_j / L_j]$
grenzfern	1	655.000.000	315.400	$206,587 \times 10^{12}$
grenzfern	2	-655.000.000	-315.400	$206,587 \times 10^{12}$
grenznah	1	-264.500.000	-40.000	$10,580 \times 10^{12}$
grenznah	2	264.500.000	40.000	$10,580 \times 10^{12}$
Summe	-	-	-	$434,334 \times 10^{12}$

Tab. 25: Schätzung der relativen Kovarianz

Insgesamt erhält man also den folgenden Schätzwert für die relative Varianz des Schätzers  $r$  für das Verhältnis  $R$  ( $R$  = Fahrzeugkilometer pro Streckenkilometer und Stunde) bzw. des kombinierten Verhältnisschätzers  $\hat{Y}^R$  für das Fahrleistungstotal  $Y$  ( $Y$  = Gesamtfahrleistung auf dem Untersuchungsnetz im Untersuchungszeitraum):

$$\begin{aligned} cv^2(r) &= cv^2(\hat{Y}) + cv^2(\hat{A}) - 2cv(\hat{Y}, \hat{A}) \\ &= 0,00397 + 0,00694 - 2 \times 0,00508 \\ &= 0,00075 \end{aligned}$$

und somit

$$cv(r) = cv(\hat{Y}^R) = 0,02739$$

Der relative Standardfehler der kombinierten Verhältnisschätzung wird damit auf 2,7 % geschätzt. Bei freier Hochrechnung des Fahrleistungstotalwerts beträgt der geschätzte relative Standardfehler 6,3 %. Der Genauigkeitsgewinn durch Verwendung des Hilfsmerkmals (Streckenabschnittsstunden-Kilometer) ist also beträchtlich, was auf die starke Korrelation zwischen Ziel- und Hilfsmerkmal zurückzuführen ist.

Zur Beurteilung der Genauigkeit der separaten Verhältnisschätzung kann hilfsweise der relative Fehler bei kombinierter Verhältnisschätzung verwendet werden.

### 3.9 Ergebnisse

Der Analysedatensatz der Verkehrszählung zur Ermittlung der Inlandsfahrleistung umfasst  $n = 520$  Streckenabschnittstage (genauer: Fahrtrichtungs-

abschnittsperioden) mit zusammen 14.310 Zählstunden.<sup>55</sup> Daraus resultieren im Mittel knapp 28 Zählstunden pro Standort. Die Gesamtzahl der erfassten Fahrzeuge<sup>56</sup> beläuft sich auf 3.629.972 (nach Winsorisierung, siehe Kapitel 3.4.3). Die 14.310 Zählstunden verteilen sich wie folgt auf die einzelnen Straßenklassen:

- Autobahn: 2.880 Std.,
- Bundesstraße: 2.790 Std.,
- Landesstraße: 2.820 Std.,
- Kreisstraße: 2.767 Std.,
- Sonstige Straße: 3.053 Std.

#### 3.9.1 Inlandsfahrleistung 2014 insgesamt

Der Totalwert der Inlandsfahrleistung wird für das Jahr 2014 auf 743,82 Mrd. Fahrzeug-Kilometer (Fzghm) geschätzt. Dabei ist anzumerken, dass aus der Hochrechnung der reinen Erhebungsdaten aufgrund einer vermutlichen Untererfassung von motorisierten Zweirädern ein etwas niedrigerer Totalwert resultiert.<sup>57</sup> Zur Verbesserung der Schätzung wurde die Inlandsfahrleistung der motorisierten Zweiräder auf Basis der entsprechenden Werte aus der Halterbefragung 2014 (ohne die im Ausland gefahrenen km) nach oben korrigiert.

Berechnet man nach dem Serienverfahren (siehe Kapitel 3.8) ein 95%-Konfidenzintervall für den Totalwert der Inlandsfahrleistung (Summe über alle Fahrzeugarten und Straßenklassen), so fällt dieses mit einem relativen Standardfehler (Standardfehler bezogen auf den Punktschätzwert) von 9,7 % relativ groß aus, was der doch recht kleinen Stichprobe geschuldet ist. Die Grenzen des Intervalls liegen bei 602 bzw. 886 Mrd. Fzghm.

Für das Jahr 2002 lag der Schätzwert für die Inlandsfahrleistung insgesamt bei 703,3 Mrd. Fzghm (HAUTZINGER et al. 2005b, S. 13). Dies entspricht einem Zuwachs von 5,8 % und damit einem mittleren jährlichen Anstieg um rund 0,5 %.

#### 3.9.2 Straßenklasse/Ortslage

Tabelle 26 zeigt die Inlandsfahrleistung in der Untergliederung nach Straßenklasse. Die meisten Kilometer werden auf dem Autobahnnetz (BAB) zurückgelegt, anteilmäßig sind dies rund 31 % der Gesamtfahrleistung.

<sup>55</sup> Diese umfassen sowohl die Zählstunden am eigentlichen Zähltag als auch die am Vor- bzw. Folgetag. Die 14.310 Zählstunden (genauer „Fahrtrichtungsabschnittsstunden“) stellen die in die Stichprobe gelangten Erhebungseinheiten der Verkehrszählung dar.

<sup>56</sup> Die Gesamtzahl der erfassten Fahrzeuge entspricht der Stichprobensumme des Erhebungsmerkmals „Anzahl Kfz-Vorbeifahrten“ (Summation über die 14.310 Fahrtrichtungsabschnittsstunden).

<sup>57</sup> Auf Basis der Verkehrszählung wird die Fahrleistung der motorisierten Zweiräder auf rund 6 Mrd. Fzghm geschätzt (Motorräder und Zweiräder mit Versicherungskennzeichen). Dieser Schätzwert erscheint – trotz Korrektur (siehe Kapitel 3.4.2) – im Vergleich zu anderen Datenquellen deutlich zu niedrig. In der Fahrleistungserhebung 2002 werden die Totalwerte für die Inlandsfahrleistung der Kfz mit Versicherungskennzeichen bzw. Motorräder mit 3,8 bzw. 12,2 Mrd. km angegeben. Ähnliche Werte finden sich in der Veröffentlichung „Verkehr in Zahlen“ für die aktuelle Inländerfahrleistung dieser Fahrzeuggruppen.



Erwähnenswert ist, dass die Fahrleistung auf dem sonstigen Straßennetz mit rund 137 Mrd. Fzgkm praktisch genauso hoch wie auf Landesstraßen ist. Dies hat mit der enormen Netzlänge der sonstigen Straßen zu tun, welche trotz der teilweise sehr geringen Verkehrsstärken auf den gemessenen Abschnitten zu einer relativ hohen Gesamtfahrleistung führt.

Die zu den genannten Punktschätzwerten gehörenden Konfidenzintervalle sind in Tabelle 27 dargestellt. Wie man sieht, fallen die Konfidenzintervalle für den Totalwert der Inlandsfahrleistung je nach Straßenklasse unterschiedlich breit aus. Ursächlich hierfür ist die unterschiedlich starke Streuung der Verkehrsstärkewerte zwischen den in die Stichprobe gelangten Kombinationen von Zählort und Zähltag. Da den Fahrleistungsschätzungen für die einzelnen Straßenklassen jeweils derselbe Stichprobenumfang zugrunde liegt (Zählergebnisse für  $52 \times 2 = 104$  Streckenabschnittstage) kann man am relativen Standardfehler ablesen, dass die raumzeitliche Streuung der Verkehrsstärkewerte für die Bundesautobahnen am geringsten (8 %) und für die Sonstigen Straßen am höchsten (22 %) ist. Die Bundes-, Landes- und Kreisstraßen liegen hinsichtlich der Variation der Verkehrsstärkewerte zwischen diesen beiden Extremen. Da es sich beim Gliede-

Straßenklasse	Mio. Fzgkm
BAB	228.279,2
Bundesstraße	168.877,4
Landesstraße	137.305,8
Kreisstraße	72.034,5
Sonstige Straße	137.319,6
Summe	743.816,5

Tab. 26: Inlandsfahrleistung 2014 gegliedert nach Straßenklasse

rungsmerkmal Straßenklasse um ein Schichtungsmerkmal handelt (Stufe 2 des Auswahlverfahrens), können die festgestellten Streuungsunterschiede in die Stichprobenplanung für zukünftige Verkehrszählungen einfließen.

In Tabelle 28 werden die Fahrleistungen außerhalb des Autobahnnetzes nochmals weiter nach Ortslage untergliedert.

Betrachtet man das Verhältnis außerorts zu innerorts bei den einzelnen Straßenklassen, so ist die Fahrleistung in den einzelnen Kategorien des klassifizierten Straßennetzes außerorts deutlich höher als innerorts, während sich bei sonstigen Straßen die Inner- und Außerortsfahrleistung in etwa die Waage halten. Letzteres hat einerseits mit der Netzlänge zu tun – man denke z. B. an das Straßennetz in Wohngebieten etc. –, aber auch damit, dass es durchaus Gemeindestraßen mit relativ hohen Verkehrsstärken gibt. Insgesamt werden auf dem außerörtlichen Straßennetz (ohne BAB) 324 Mrd. Fzgkm und auf dem innerörtlichen Netz 191,5 Mrd. Fzgkm zurückgelegt. Daraus ergibt sich

Straßenklasse	Ortslage	Mio. Fzgkm
BAB	-	228.279,2
Bundesstraße	außerorts	119.739,7
	innerorts	49.137,7
Landesstraße	außerorts	89.328,7
	innerorts	47.977,1
Kreisstraße	außerorts	48.268,0
	innerorts	23.766,5
Sonstige Straße	außerorts	66.636,4
	innerorts	70.683,2
Summe	-	743.816,5

Tab. 28: Inlandsfahrleistung 2014 gegliedert nach Straßenklasse und Ortslage

Straßenklasse	95%-Konfidenzgrenzen		relativer Standardfehler (%)
	untere Grenze (Mio. Fzgkm)	obere Grenze (Mio. Fzgkm)	
BAB	191.200,6	265.357,8	8
Bundesstraße	133.940,3	203.814,5	11
Landesstraße	98.980,0	175.631,5	14
Kreisstraße	54.532,9	89.536,1	12
Sonstige Straße	78.926,3	195.713,0	22

Tab. 27: 95%-Konfidenzintervalle der Inlandsfahrleistung gegliedert nach Straßenklasse

eine Aufteilung BAB : außerorts : innerorts von 1 : 1,42 : 0,84, d. h. die Außerortsfahrleistung (ohne BAB) ist etwa 40 % höher als die Fahrleistung auf Bundesautobahnen.

Für Autobahnen und außerörtliche Bundesstraßen sind Vergleiche mit den Ergebnissen der Dauerzählstellen für das Jahr 2014 möglich. Während für Autobahnen ein nahezu identischer Wert resultiert (Dauerzählstellen: 230,6 Mrd. Fzgkm), liegt in der vorliegenden Untersuchung die Fahrleistung auf außerörtlichen Bundesstraßen mit 119,7 Mrd. Fzgkm etwas höher (Dauerzählstellen: 110,5 Mrd. Fzgkm).

### 3.9.3 Fahrzeugart

Bei der Aufgliederung des Totalwerts der Inlandsfahrleistung nach 8+1-Fahrzeugarten ergeben sich die in Tabelle 29 dargestellten Ergebnisse.

Fahrzeugart	Mio. Fzgkm	Mio. Fzgkm
Motor. Zweiräder	17.476,3	Leichtverkehr: 674.008,5
Pkw	586.183,4	
Pkw m. Anh.	14.773,3	
Lieferwagen	51.777,5	
Sonstige Kfz	3.797,9	
Busse	4.550,0	Schwerverkehr: 69.808,0
Lkw o. Anh.	22.390,8	
Lkw m. Anh.	16.622,1	
Sattelzüge	26.245,1	
Summe	743.816,5	743.816,5

Tab. 29: Inlandsfahrleistung 2014 gegliedert nach Fahrzeugart bzw. Leicht- und Schwerverkehr

Rund 81 % der Inlandsfahrleistung (ca. 601 Mrd. Fzgkm) entfallen auf Personenkraftwagen bzw. Pkw mit Anhänger. Die zweithöchste Fahrleistung findet sich bei Lieferwagen mit 51,8 Mrd. Fzgkm. Im Schwerverkehr dominieren die Sattelzüge mit 26,2 Mrd. Fzgkm.

Die bei den einzelnen Fahrzeugarten resultierenden Konfidenzintervalle für den Totalwert der Inlandsfahrleistung sind in Tabelle 30 dargestellt. Anders als bei der Aufgliederung der Inlandsfahrleistung nach dem Schichtungsmerkmal Straßenklasse basieren die Fahrleistungsschätzungen für die verschiedenen Fahrzeugarten stets auf dem vollen Stichprobenumfang in Höhe von  $52 \times 10 = 520$  Streckenabschnittstagen. Dass bei der Schätzung der Teilergebnisse der relative Standardfehler dennoch von Fahrzeugart zu Fahrzeugart verschieden ist, liegt an der unterschiedlichen Variabilität der fahrzeugartspezifischen Verkehrsstärkewerte. Bei gegebenem Stichprobenumfang kann die Fahrleistung der Pkw, Lieferwagen, Lkw ohne Anhänger und Sattelzüge mit höherer Genauigkeit geschätzt werden als die Fahrleistung der übrigen Fahrzeugarten (Pkw mit Anhänger, Lkw mit Anhänger, Busse und sonstige Kfz).

Fasst man die Fahrzeugarten zu den beiden Kategorien Leicht- und Schwerverkehr zusammen, ergibt sich ein Schwerverkehrsanteil an der Inlandsfahrleistung 2014 von rund 9,4 % (69,8 Mrd. Fzgkm). In der Fahrleistungserhebung 2002 resultierte ein Totalwert von 50,8 Mrd. Fzgkm (ohne sonstige Kfz; vgl. HAUTZINGER et al. 2005b, S. 13), was einen Anstieg um 37,5 % bedeutet. In diesem Zusammenhang ist darauf hinzuweisen, dass die Inlandsfahrleistung 2002 nach einem völlig anderen

Fahrzeugart	95%-Konfidenzgrenzen		relativer Standardfehler (%)
	untere Grenze (Mio. Fzgkm)	obere Grenze (Mio. Fzgkm)	
Motor. Zweiräder	13.786,6	21.166,0	11
Pkw	469.107,5	703.259,4	10
Lieferwagen	42.224,5	61.330,5	9
Pkw m. Anh.	10.671,8	18.874,8	14
Busse	2.977,3	6.122,7	18
Lkw o. Anh.	18.828,2	25.953,4	8
Lkw m. Anh.	12.188,3	21.055,9	14
Sattelzüge	21.497,9	30.992,4	9
Sonstige Kfz	2.884,3	4.711,6	12

Tab. 30: 95%-Konfidenzintervalle der Inlandsfahrleistung 2014 gegliedert nach Fahrzeugart

Verkehrsart	BAB	Bundesstr.	Landesstr.	Kreisstr.	Sonst. Str.
	Spaltenprozent				
Leichtverkehr	84,4	91,5	95,1	94,6	93,3
Schwerverkehr	15,6	8,5	4,9	5,4	6,7
Summe	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Tab. 31: Anteil des Leicht- bzw. Schwerverkehrs an der Inlandsfahrleistung 2014 gegliedert nach Straßenklasse

Fahrzeugart	BAB	Bundesstr.	Landesstr.	Kreisstr.	Sonst. Str.
	Mio. Fzgkm				
Motor. Zweiräder	1.852,0	2.777,0	4.603,3	2.546,5	5.697,4
Pkw	164.461,6	134.403,7	115.138,4	59.998,8	112.180,9
Lieferwagen	19.088,7	12.112,8	8.034,7	4.228,3	8.312,8
Pkw m. Anh.	5.239,1	4.568,0	2.254,2	1.075,1	1.636,8
Busse	603,5	850,9	1.017,9	547,8	1.530,0
Lkw o. Anh.	7.103,2	5.805,7	3.097,6	1.813,4	4.570,9
Lkw m. Anh.	11.317,5	2.692,7	846,4	584,1	1.181,4
Sattelzüge	16.647,2	4.957,9	1.723,6	961,3	1.955,1
Sonstige Kfz	1.966,3	708,7	589,4	279,1	254,4
Summe	228.279,2	168.877,4	137.305,8	72.034,5	137.319,6

Tab. 32: Inlandsfahrleistung 2014 gegliedert nach Fahrzeugart und Straßenklasse

methodischen Konzept ermittelt wurde. 2002 wurde keine separate Erhebung zur Inlandsfahrleistung durchgeführt, weshalb diese aus vielen verschiedenen Datenquellen und Eckwerten abgeschätzt werden musste.

Tabelle 31 zeigt den Schwerverkehrsanteil in der Untergliederung nach Straßenklasse.

Erwartungsgemäß findet sich mit 15,6 % der höchste Schwerverkehrsanteil an der Inlandsfahrleistung auf den Autobahnen, der Totalwert beträgt hier 35,67 Mrd. Fzgkm. Vergleicht man die Fahrleistung des Schwerverkehrs auf Autobahnen mit den entsprechenden Ergebnissen aus den Dauerzählstellen des Jahres 2014, so ergibt sich dort ein leicht geringerer Schwerverkehrsanteil in Höhe von 14,9 % (34,4 Mrd. Fzgkm).

Neben den Autobahnen ist auch bei außerörtlichen Bundesstraßen ein Vergleich mit den Dauerzählstellen möglich. Der Schwerverkehrsanteil liegt dort bei 7,8 %, was einem Totalwert von 9,28 Mrd. Fzgkm entspricht. Aus den Dauerzählstellen auf außerörtlichen Bundesstraßen resultiert 2014 ein Schwerverkehrsanteil von 8,3 % (9,2 Mrd. Fzgkm).

Die den Betrachtungen zum Schwerverkehrsanteil zugrunde liegenden Totalwerte der Inlandsfahrleistung

Fahrzeugart	Mio. Fzgkm	Mio. Fzgkm
Motor. Zweiräder	17.476,3	Personenverkehr: 622.983,0
Pkw	586.183,4	
Pkw m. Anh.	14.773,3	
Busse	4.550,0	
Lieferwagen	51.777,5	Güterverkehr: 120.833,5
Lkw o. Anh.	22.390,8	
Lkw m. Anh.	16.622,1	
Sattelzüge	26.245,1	
Sonstige Kfz	3.797,9	743.816,5
Summe	743.816,5	

Tab. 33: Inlandsfahrleistung 2014 gegliedert nach Fahrzeugart bzw. Personen- und Güterverkehr

tung nach Straßenklasse und einzelnen Fahrzeugarten sind der Vollständigkeit halber in Tabelle 32 wiedergegeben.

Fasst man die Inlandsfahrleistung bei den einzelnen Fahrzeuggruppen nach den Kategorien Personen- und Güterverkehr zusammen, ergibt sich ein Güterverkehrsanteil (inkl. sonstige Kfz) von 16,2 %, wie sich Tabelle 33 entnehmen lässt.

Bei einem Vergleich mit der Inlandsfahrleistung von 2002 ergibt sich vor allem im Güterverkehr eine

starke Zunahme. Die entsprechende Fahrleistung wurde damals auf 84,9 Mrd. Fzgkm geschätzt. Setzt man dies ins Verhältnis zum Wert für 2014, resultiert daraus ein Anstieg um etwa 42 % (Personenverkehr: +0,7 %).

Von diesen 84,9 Mrd. Fzgkm entfielen 46,7 Mrd. Fzgkm auf Lkw ab 3,5 t zulässige Gesamtmasse (zGM) und Zugmaschinen sowie 34,7 Mrd. Fzgkm auf Lkw bis 3,5 t zGM (HAUTZINGER et al. 2005b, S. 13). In der vorliegenden Untersuchung beläuft sich die Fahrleistung von Lkw (mit und ohne Anhänger) und Sattelzügen auf 65,3 Mrd. Fzgkm und die von Lieferwagen auf 51,8 Mrd. Fzgkm. Auch wenn die Vergleichbarkeit mit 2002 aufgrund der unterschiedlichen Fahrzeuggruppenabgrenzungen nicht exakt gegeben ist, ergibt sich bei großen Lkw und Sattelzügen ein Zuwachs gegenüber 2002 um knapp 40 % und bei kleinen Lkw bzw. Lieferwagen um rund 49 %. Letzteres hat möglicherweise auch mit der starken Zunahme des Online-Handels und der damit verbundenen Lieferverkehre zu tun. Einschränkend ist jedoch zu sagen, dass die 8+1-Differenzierung nur einen groben Vergleich mit der 2002 angewendeten Differenzierung zulässt. So ist beispielsweise bei der Fahrleistungserhebung 2014 in der Fahrleistung der Lieferwagen auch die von Wohnmobilen enthalten.

### 3.9.4 Nationalität

Aus der Hochrechnung der Daten der Verkehrszählung ergibt sich für 2014 ein Totalwert der Fahrleistung ausländischer Kraftfahrzeuge auf dem deutschen Straßennetz von knapp 42 Mrd. Fahrzeugkilometern. Der Ausländeranteil an der Inlandsfahrleistung 2014 liegt damit bei 5,6 % (s. Tabelle 34).

Im Jahr 2002 lag die km-Summe der ausländischen Kfz auf dem deutschen Straßennetz noch bei 27,4 Mrd. Fzgkm (ebd.). Der aktuelle Wert von 41,8 Mrd. Fzgkm entspricht somit einem Zuwachs um 53 %. Unterscheidet man nach Personen- und Güterverkehr, so beträgt die Zunahme im Personenverkehr etwa 23 % (von 19,2 auf 23,7 Mrd. Fzgkm), wäh-

Nationalität des Kfz	Mio. Fzgkm	Anteil (%)
deutsch	702.092,0	94,5
andere	41,787,5	5,6
Summe	743.816,5	100,0

Tab. 34: Inlandsfahrleistung 2014 gegliedert nach Nationalität des Fahrzeugs

rend sich im Güterverkehr die Fahrleistung ausländischer Kfz zwischen 2002 und 2014 mehr als verdoppelt hat (von 8,2 auf 18,1 Mrd. Fzgkm; für die Werte 2014 vgl. Tabelle 36).

Mit der vorliegenden Erhebung ist erstmals auch eine Aufgliederung der Gesamtfahrleistung ausländischer Kfz nach einzelnen Nationalitäten möglich. Wegen des mit wachsender Gliederungstiefe zunehmenden Stichprobenfehlers ist bei den entsprechenden Hochrechnungen natürlich auch in gewissem Umfang mit unplausiblen Ergebnissen zu rechnen.

Das angesprochene Genauigkeitsproblem zeigt sich in einem Vergleich der hochgerechneten Fahrleistung mautpflichtiger Fahrzeuge auf Autobahnen mit den Ergebnissen der Mautstatistik 2014 (in der Erhebung zur Inlandsfahrleistung werden die Fahrzeugarten Lkw mit Anhänger und Sattelzüge als mautpflichtige Fahrzeuge betrachtet). So wird z. B. die Fahrleistung österreichischer, britischer und französischer Fahrzeuge im Vergleich zur Mautstatistik, welche im Prinzip ja eine Totalerhebung darstellt, überschätzt, was auf Unzulänglichkeiten der gezogenen Ort/Zeit-Stichprobe und/oder Messfehler bei der Kennzeichenerfassung zurückgehen könnte.

Strukturelle Besonderheiten der ausgewählten Zählorte und Zählzeiten als mögliche Abweichungsursache wurden überprüft, indem die vom BAG zur Verfügung gestellten Mautdaten (2014) für die in die Fahrleistungserhebung gelangten Autobahnzählstellen und -tage mit der Mautstatistik für das gesamte Autobahnnetz und das ganze Jahr 2014 verglichen wurden. Dabei ergaben sich bezüglich der Nationalitätenverteilung nur relativ geringe Abweichungen, sodass als Erklärung hauptsächlich Fehler bei der automatischen Kennzeichenerfassung infrage kommen.

Bei österreichischen Fahrzeugen kann dies mit den dort zulässigen Freitextkennzeichen zu tun haben, was dazu führt, dass fehlerhaft oder nicht eindeutig zuordenbare Kennzeichen häufig als österreichische erkannt werden. Darüber hinaus gibt es Staaten, deren Kennzeichensyntax sich stark ähnelt (z. B. Italien und Frankreich, Großbritannien und Rumänien, Großbritannien und Niederlande), sodass es zu Fehlzuordnungen kommen kann. Da Front- und Heckkamera logisch nicht miteinander gekoppelt waren, konnte jede Kamera eigene Ergebnisse erzeugen. Bei einigen Nationalitäten kam es hier zu teilweise deutlichen Abweichungen, im

Speziellen betraf dies Österreich. Deshalb wurde der nach Anwendung der definierten Matching-Regeln erzeugte Datensatz zunächst einer weiteren Plausibilitätsprüfung unterzogen. Hierzu wurden u. a. Angaben des Herstellers zur technischen Funktionsweise der Kameras (z. B. Fehlerraten bei der Erkennung von deutschen und ausländischen Kennzeichen) herangezogen und entsprechende Korrekturfaktoren bestimmt.

Um die zur Verfügung stehenden Eckwerte der Mautstatistik vollständig auszuschöpfen, wurde in einem zweiten Schritt die Mautstatistik des Jahres 2014 zur Adjustierung der Nationalitätenverteilung (inkl. Deutschland) bei mautpflichtigen Fahrzeugen auf Autobahnen herangezogen. Die ursprünglich hochgerechnete Gesamtfahrleistung auf BAB wurde dadurch nicht verändert.

Betrachtet man die so korrigierte Fahrleistung ausländischer Kfz auf dem gesamten deutschen Straßennetz, so finden sich auf den ersten 10 Rangplätzen die in Bild 4 dargestellten Nationalitäten.

Die zehn fahrleistungsstärksten Nationen machen etwa 75 % der gesamten Ausländerfahrleistung aus. Allein auf polnische Fahrzeuge entfällt rund ein Viertel und damit etwa genauso viel wie auf die übrigen Nationen mit 9,8 Mrd. Fzggkm. Unter den übrigen Nationen befinden sich noch drei mit einer Fahrleistung von mehr als 1 Mrd. Fzggkm. Es sind dies Dänemark, Italien und Bulgarien.

Tabelle 35 zeigt die Fahrleistungen und Ausländeranteile in der Untergliederung nach dem Merkmal Straßenklasse.

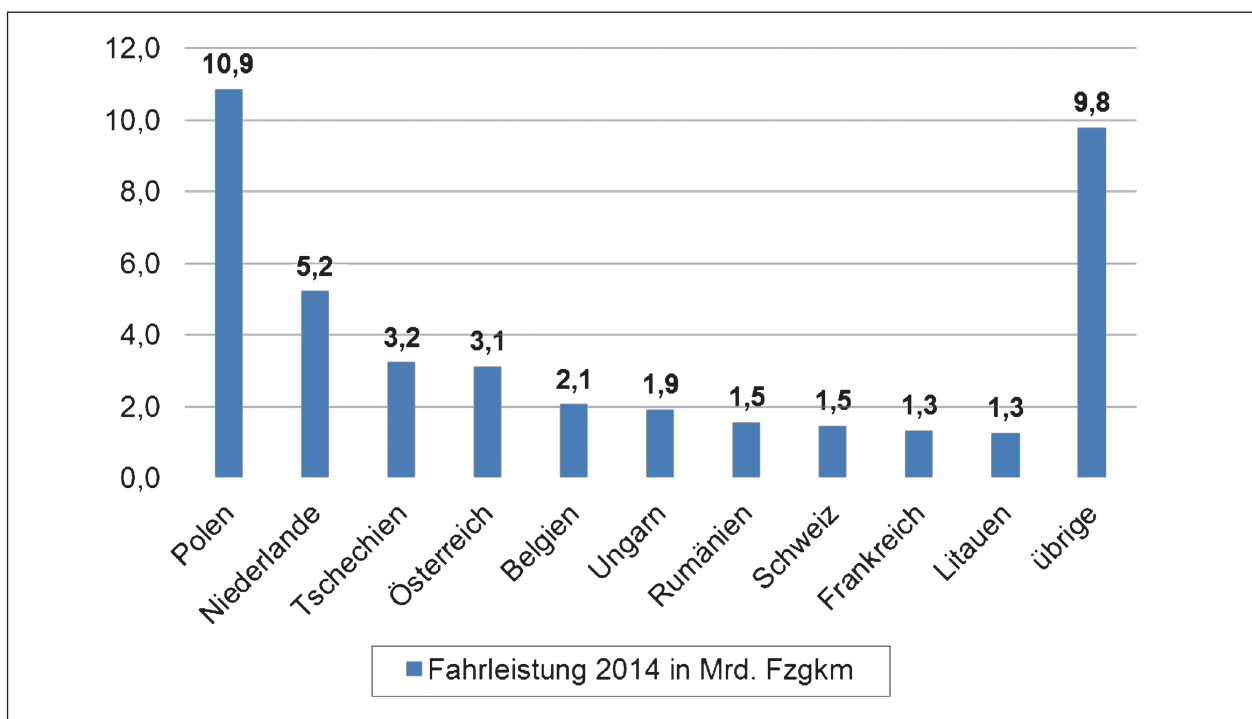


Bild 4: Inlandsfahrleistung ausländischer Kfz 2014

Straßenklasse	deutsche Kfz	ausländische Kfz	Summe	Anteil ausl. Kfz
	Mio. Fzggkm			%
BAB	199.984,7	28.294,5	228.279,2	12,4
Bundesstraße	163.637,3	5.240,1	168.877,4	3,1
Landesstraße	134.519,1	2.786,6	137.305,8	2,0
Kreisstraße	70.554,0	1.480,5	72.034,5	2,1
Sonstige Straße	133.333,9	3.985,7	137.319,6	2,9
Insgesamt	702.029,0	41.787,5	743.816,5	5,6

Tab. 35: Inlandsfahrleistung 2014 gegliedert nach Straßenklasse und Nationalität



Wie zu erwarten, findet sich mit 12,4 % der höchste Ausländeranteil auf den Autobahnen. Mit 28,3 Mrd. Fzgmtkm werden etwa zwei Drittel der von ausländischen Fahrzeugen insgesamt in Deutschland erbrachten Fahrzeugkilometer auf Bundesautobahnen zurückgelegt.

Über die Fahrleistungen der einzelnen Nationalitäten auf Autobahnen gibt Bild 5 Auskunft.

Mit einem Anteil von rund 30 % an der Ausländerfahrleistung ist die Dominanz polnischer Fahrzeuge auf Autobahnen sogar noch stärker als auf dem Gesamtnetz. Auch spielen ungarische und rumänische Fahrzeuge auf Autobahnen eine bedeutsamere Rolle, während z. B. die Nachbarländer Belgien und Frankreich im Vergleich zur Rangfolge auf dem Gesamtnetz etwas weiter hinten rangieren.

Vergleicht man die Ergebnisse mit der Ausländerverkehrsählung (AVZ) 2008, die sich ja nur auf Autobahnen (und Europastraßen) bezieht, so finden sich teilweise deutliche Differenzen. So wird beispielsweise in der AVZ für das Jahr 2008 die Fahrleistung polnischer Fahrzeuge auf 5,8 Mrd. Fzgmtkm geschätzt (LENSING 2010, S. 20). Übereinstimmend entfallen jedoch auch in der AVZ die höchsten Autobahn-Fahrleistungen ausländischer Kfz auf die Herkunftsländer Polen, Niederlande und Tschechien.

In Tabelle 36 ist der Totalwert der Inlandsfahrleistung ausländischer Kfz und der Ausländeranteil an der Inlandsfahrleistung nach Fahrzeugart dargestellt.

Zwischen den Fahrzeugarten manifestieren sich recht deutliche Unterschiede hinsichtlich des Anteils ausländischer Fahrzeuge an der Fahrleistung. Bei Lkw mit Anhänger und Sattelzügen geht jeweils mehr als ein Viertel der Fahrleistung auf das Konto von im Ausland zugelassenen Fahrzeugen. Mit 3,5 % am niedrigsten ist der Ausländeranteil bei Pkw. Da jedoch die Pkw den höchsten Anteil an der Gesamtfahrleistung ausmachen, ist in absoluten Zahlen die Fahrleistung ausländischer Pkw relativ hoch: Mehr als die Hälfte aller in 2014 von ausländischen Kraftfahrzeugen auf dem deutschen Straßennetz zurückgelegten Fahrzeugkilometer entfällt auf Pkw bzw. Pkw mit Anhänger.

Betrachtet man nur die für das Verkehrsgeschehen besonders wichtigen Autobahnen, so ergibt sich hinsichtlich des Totalwerts der Inlandsfahrleistung ausländischer Kfz und des Ausländeranteils nach Fahrzeugart die in Tabelle 37 dargestellte Fahrleistung.

Mit Ausnahme der Krafträder ist auf Autobahnen der Ausländeranteil an der Fahrleistung bei allen Fahrzeugarten höher als auf dem Gesamtnetz. Dabei fallen besonders die Busse auf, bei denen

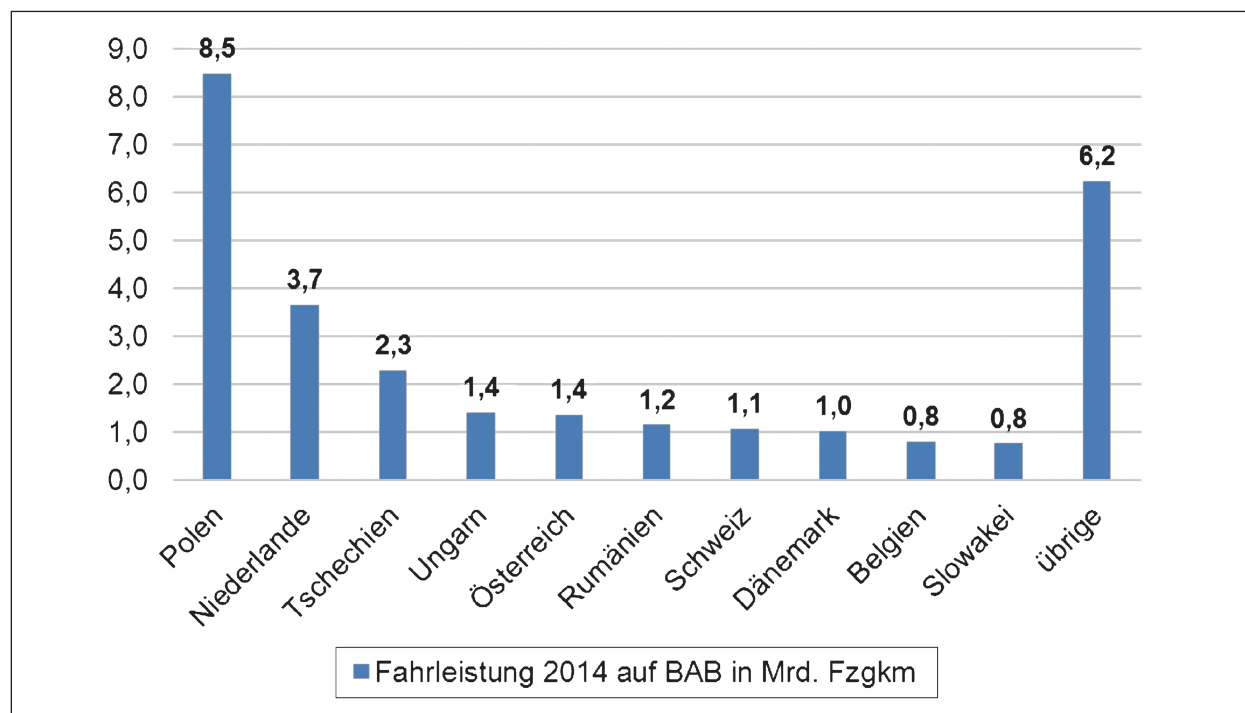


Bild 5: Inlandsfahrleistung ausländischer Kfz auf Bundesautobahnen 2014

Fahrzeugart	deutsche Kfz	ausländ. Kfz	Summe	Anteil ausl. Kfz
	Mio. Fzgkm			%
Motor. Zweiräder	15.890,0	1.586,3	17.476,3	9,1
Pkw	565.433,0	20.750,4	586.183,4	3,5
Lieferwagen	48.815,1	2.962,4	51.777,5	5,7
Pkw m. Anhänger	13.666,0	1.107,3	14.773,3	7,5
Busse	4.305,9	244,1	4.550,0	5,4
Lkw o. Anhänger	20.352,0	2.038,8	22.390,8	9,1
Lkw m. Anhänger	12.111,8	4.510,3	16.622,1	27,1
Sattelzüge	17.913,3	8.331,8	26.245,1	31,7
Sonstige Kfz	3.541,9	256,1	3.797,9	6,7
Insgesamt	702.029,0	41.787,5	743.816,5	5,6

Tab. 36: Inlandsfahrleistung 2014 gegliedert nach Fahrzeugart und Nationalität

Fahrzeugart	deutsche Kfz	ausländ. Kfz	Summe	Anteil ausl. Kfz
	Mio. Fzgkm			%
Motor. Zweiräder	1.724,2	127,8	1.852,0	6,9
Pkw	151.849,6	12.612,0	164.461,6	7,7
Lieferwagen	17.103,6	1.985,1	19.088,7	10,4
Pkw m. Anhänger	4.438,0	801,2	5.239,1	15,3
Busse	476,9	126,6	603,5	21,0
Lkw o. Anhänger	5.632,1	1.471,1	7.103,2	20,7
Lkw m. Anhänger	7.272,2	4.045,2	11.317,5	35,7
Sattelzüge	9.748,8	6.898,4	16.647,2	41,4
Sonstige Kfz	1.739,2	227,1	1.966,3	11,5
Insgesamt	199.984,7	28.294,5	228.279,2	12,4

Tab. 37: Fahrleistung 2014 auf Bundesautobahnen gegliedert nach Fahrzeugart und Nationalität

Fahrzeugart	BAB	Bundesstr.	Landesstr.	Kreisstr.	Sonst. Str.	Insgesamt
	Anteil ausländischer Fahrzeuge an der Inlandsfahrleistung in %					
Motor. Zweiräder	6,9	10,7	10,4	9,8	7,6	9,1
Pkw	7,7	2,3	1,5	1,5	2,2	3,5
Pkw m. Anh.	10,4	3,2	2,5	2,7	3,3	5,7
Busse	15,3	2,7	2,1	3,3	5,9	7,5
Lieferwagen	21,0	3,7	2,1	1,3	3,8	5,4
Lkw o. Anh.	20,7	4,0	2,7	2,8	4,4	9,1
Lkw m. Anh.	35,7	8,9	5,0	4,5	13,2	27,1
Sattelzüge	41,4	17,4	8,6	10,2	16,5	31,7
Sonstige Kfz	11,5	2,3	0,9	1,0	1,8	6,7
Insgesamt	12,4	3,1	2,0	2,1	2,9	5,6

Tab. 38: Anteil ausländischer Fahrzeuge an der Inlandsfahrleistung 2014 gegliedert nach Fahrzeugart und Straßenklasse

der Ausländeranteil auf BAB mit 21 % fast viermal so hoch ist wie insgesamt (siehe Tabelle 36). Der höchste Ausländeranteil findet sich mit rund 41 % bei Sattelzügen, bei Pkw entfallen 7,7 % der auf deutschen Autobahnen erbrachten Fahrleistung auf Fahrzeuge mit ausländischem Kennzeichen. Fasst man Pkw und Pkw mit Anhänger zu einer Gruppe zusammen, liegt der Ausländeranteil bei 7,9 %.

Tabelle 38 zeigt abschließend für jede Kombination von Fahrzeugart und Straßenklasse den Anteil ausländischer Fahrzeuge an der Inlandsfahrleistung.

Bemerkenswert an diesen Anteilen ist, dass der Ausländeranteil auf sonstigen Straßen mit insgesamt 2,9 % höher ist als auf Landes- und Kreisstraßen. Bei manchen Fahrzeuggruppen ist der entsprechende Anteil sogar höher als auf Bundesstraßen. Grund hierfür könnte der „kleine Grenzverkehr“ sein, der aufgrund der Schichtung der Stichprobe nach grenznahen bzw. grenzfernen Kreisen gut abgebildet sein dürfte.

Tabellen mit den nach Straßenklasse, Ortslage, Fahrzeugart und Nationalität (deutsch/ausländisch) untergliederten Fahrleistungen finden sich im Anhang.

### 3.9.5 Zeitliche Merkmale

Bei dem gewählten Erhebungsdesign sind zeitliche Aufgliederungen der Fahrleistungstotal, insbesondere hinsichtlich des Wochen- und Tagesgangs, möglich. Bild 6 zeigt die Inlandsfahrleistung untergliedert nach dem Wochentag.

Mittwoch und Freitag sind die Wochentage mit den höchsten Fahrleistungen. Am Wochenende und hier insbesondere am Sonntag findet sich dagegen ein deutlich niedrigeres Fahrleistungstotal. Etwas anders gestaltet sich die Situation auf Autobahnen, wie sich dem Bild 7 entnehmen lässt.

Auf der Autobahn ist eindeutig der Freitag der Tag mit der höchsten Fahrleistung. Hier tritt zu den beruflich bedingten Fahrten (Pendler, Güterverkehr) noch ein gewisser Anteil an Freizeitverkehr hinzu. Der Samstag weist auf BAB ein ähnlich hohes Fahrleistungstotal auf wie die Wochentage Montag bis Donnerstag, während am Sonntag die niedrigste Kilometerleistung erbracht wird.

Betrachtet man für alle Straßenklassen die Wochentagsverteilung der Fahrleistung zusätzlich

nach Fahrzeugart, ergeben sich die in Tabelle 39 dargestellten Resultate.

Der Fahrleistungsanteil der Pkw ist an Samstagen und vor allem an Sonn- bzw. Feiertagen höher als im Durchschnitt über alle Wochentage. Dies liegt an den am Wochenende entsprechend geringeren Gesamtfahrleistungen der Güterkraftfahrzeuge.

Zum Abschluss der Analysen soll nun noch kurz auf die tageszeitliche Verteilung der Fahrleistung eingegangen werden. Bild 8 zeigt die Tagesganglinien, also den auf die jeweilige Tagesstunde entfallenden Fahrleistungsanteil, in der Differenzierung nach den einzelnen Straßenklassen.

In den frühen Morgenstunden finden sich nur auf den Autobahnen nennenswerte Fahrleistungsanteile. Nach der morgendlichen Verkehrsspitze zeigt sich insgesamt nochmals ein leichter Anstieg im Tagesverlauf. Das Maximum der Fahrleistung wird am Nachmittag zwischen 16 und 18 Uhr erreicht.

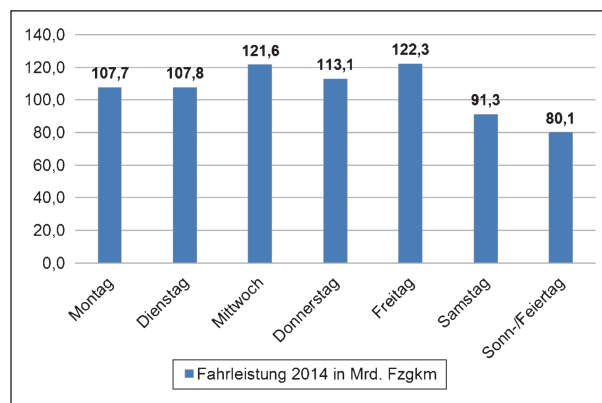


Bild 6: Inlandsfahrleistung 2014 gegliedert nach Wochentag

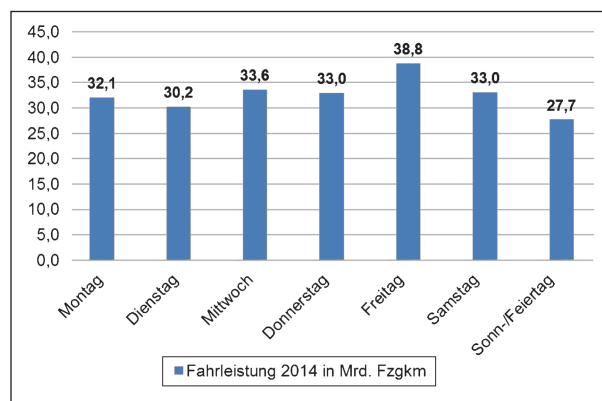


Bild 7: Fahrleistung 2014 auf Bundesautobahnen gegliedert nach Wochentag

Fahrzeugart	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag	Samstag	Sonn- u. Feiertag	Insgesamt
	Mrd. Fzghm Spaltenprozent							
Motor. Zweiräder	2,1 2,0 %	2,2 2,0 %	1,9 1,5 %	3,3 3,0 %	3,0 2,5 %	2,2 2,4 %	2,7 3,4 %	17,5 2,3 %
Pkw	84,6 78,6 %	83,1 77,1 %	93,4 76,8 %	85,8 75,9 %	94,6 77,3 %	75,1 82,3 %	69,6 86,9 %	586,2 78,8 %
Lieferwagen	8,2 7,6 %	7,9 7,4 %	8,7 7,1 %	7,8 6,9 %	9,2 7,5 %	5,7 6,2 %	4,3 5,3 %	51,8 7,0 %
Pkw mit Anhänger	1,8 1,7 %	1,8 1,7 %	3,0 2,4 %	2,5 2,2 %	2,4 2,0 %	1,9 2,1 %	1,4 1,7 %	14,8 2,0 %
Busse	0,8 0,7 %	0,8 0,7 %	0,7 0,6 %	0,6 0,5 %	0,8 0,7 %	0,5 0,6 %	0,3 0,4 %	4,6 0,6 %
Lkw ohne Anhänger	3,4 3,2 %	3,7 3,4 %	4,1 3,3 %	3,9 3,4 %	4,0 3,3 %	2,5 2,8 %	0,8 1,0 %	22,4 3,0 %
Lkw mit Anhänger	2,4 2,2 %	2,7 2,5 %	3,6 3,0 %	3,3 2,9 %	3,1 2,5 %	1,2 1,3 %	0,3 0,3 %	16,6 2,2 %
Sattelzüge	3,7 3,4 %	5,0 4,7 %	5,8 4,8 %	5,3 4,7 %	4,3 3,5 %	1,7 1,8 %	0,5 0,6 %	26,2 3,5 %
Sonstige Kfz	0,7 0,6 %	0,5 0,5 %	0,5 0,4 %	0,6 0,5 %	0,8 0,7 %	0,5 0,5 %	0,3 0,4 %	3,8 0,5 %
Summe	107,7 100,0 %	107,8 100,0 %	121,6 100,0 %	113,1 100,0 %	122,3 100,0 %	91,3 100,0 %	80,1 100,0 %	743,8 100,0 %

Tab. 39: Inlandsfahrleistung 2014 gegliedert nach Fahrzeugart und Wochentag

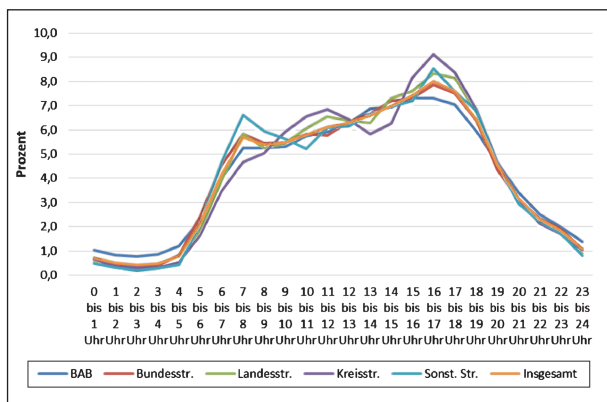


Bild 8: Inlandsfahrleistung 2014 gegliedert nach Tageszeit und Straßenklasse

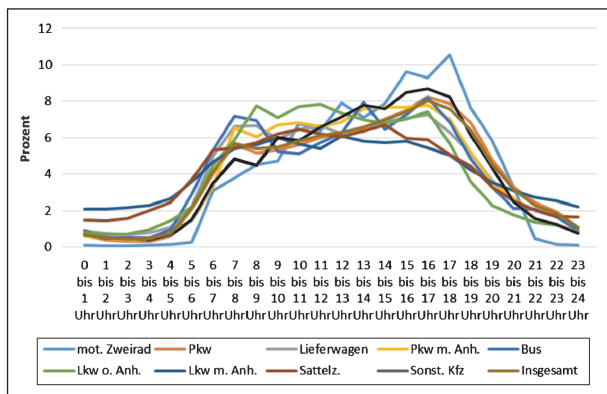


Bild 9: Inlandsfahrleistung 2014 gegliedert nach Tageszeit und Fahrzeugart

Die nach Fahrzeugart untergliederten Ganglinien zeigen z. B., dass motorisierte Zweiräder häufiger als andere Fahrzeuggruppen bei Tageslicht unterwegs sind. In den frühen Morgen- und späten Abendstunden finden sich dort die niedrigsten Fahrleistungsanteile. In den ersten Stunden des Tages sind vor allem Lkw mit Anhänger und Sattelzüge auf der Straße (s. Bild 9).

### 3.10 Resümee

Mit der Verkehrszählung zur Ermittlung der Inlandsfahrleistung 2014 liegt erstmals eine gesamtheitliche Erfassung des Verkehrsgeschehens auf dem Straßennetz der Bundesrepublik Deutschland vor. Die Erhebung umfasst alle Straßenklassen und schließt den gesamten motorisierten Verkehr, d. h. alle Fahrzeugarten ein. Weiterhin deckt die Erhebung alle Tages- und Jahreszeiten ab und bietet schließlich eine Unterscheidung der Kraftfahrzeuge hinsichtlich ihrer Nationalität.

Aus statistischer Sicht ist die Tatsache hervorzuheben, dass im Gegensatz zu herkömmlichen Verkehrszählungen die Auswahl der Erhebungsstandorte (und -zeiten) mithilfe eines Zufallsverfahrens vorgenommen wurde, dem eine auf digitalen Straßennetzmodellen beruhende Zerlegung des ge-

samten Straßennetzes in lauter kurze Streckenabschnitte zugrunde liegt.

Es versteht sich, dass eine solche, bundesweit über einen Zeitraum von einem Jahr angelegte automatisierte Verkehrszählung aufgrund des hohen Personal- und Geräteeinsatzes entsprechende Kosten verursacht. Aus diesem Grund musste die Stichprobe auf 520 Zählstandorte beschränkt werden, was mit Blick auf die Schätzgenauigkeit (relativer Standardfehler) sicherlich die Untergrenze darstellt. Wegen des geringen Gesamtstichprobenumfangs wird auf beiden Auswahlstufen aus den allermeisten Schichten jeweils nur eine Stichprobe vom Umfang  $n = 1$  gezogen, was für die Varianzschätzung suboptimal ist. Es wird empfohlen, für weitere Untersuchungen nach diesem Design wo immer möglich einen höheren Stichprobenumfang zu wählen.

Was das Erhebungsverfahren angeht, so bietet der neuartige multi-instrumentelle Ansatz die Möglichkeit zur Durchführung von Verkehrszählungen „rund um die Uhr“ mit Unterscheidung von Fahrzeugarten und -nationalitäten. Als problematisch ist zu werten, dass motorisierte Zweiräder beim gegenwärtigen Stand der Erhebungstechnik offensichtlich untererfasst werden. Dies gilt sowohl für den auf Autobahnen eingesetzten Überkopfdetektor als auch in etwas geringerem Maße für den Seitenradardetektor. Darüber hinaus weist die aus der Kennzeichenerfassung resultierende Nationalitätenverteilung noch einige Unplausibilitäten auf, was auf Schwierigkeiten bei der Unterscheidung von Nationalitäten mit ähnlicher Kennzeichensyntax sowie auf Freitextkennzeichen zurückgeführt werden kann. Im Hinblick auf die Erfassungsgenauigkeit der eingesetzten Erhebungsinstrumente besteht somit noch ein gewisses Optimierungspotenzial.

## 4 Unfallrisiko im Kfz-Verkehr

### 4.1 Grundkonzept

Zur Quantifizierung des Unfallrisikos im Kfz-Verkehr werden im Folgenden

- Unfallbeteiligungsraten und
- Verunglücktenraten

gebildet, welche sich auf Kraftfahrzeuge bzw. Kraftfahrzeugbenutzer als „Einheiten unter Risiko“ beziehen. Unter „Unfallbeteiligung“ ist dabei die Verwicklung eines Kraftfahrzeugs in einen Straßenver-

kehrsunfall zu verstehen.<sup>58</sup> Als „Verunglückte“ gelten Benutzer unfallbeteiligter Fahrzeuge, die beim Unfall verletzt oder getötet wurden.

Aus epidemiologischer Sicht (BÖHNING 1998, S. 28 ff.) handelt es sich bei beiden Risikokennzahlen um eine „Inzidenzdichte“, bei deren Bildung man der Tatsache Rechnung zu tragen versucht, dass die interessierenden Einheiten unterschiedlich stark unter Risiko stehen. Man setzt dieses allgemeine risikoanalytische Konzept hier in der Weise um, dass die Anzahl der im Untersuchungsgebiet und Untersuchungszeitraum aufgetretenen Unfallbeteiligungen von Fahrzeugen bzw. die Anzahl der dabei verunglückten Fahrzeugbenutzer an der „Gesamtsumme der Fahrzeugkilometer unter Risiko“ (also der Kilometersumme, in die als Einzelsummanden die Risikokilometer der einzelnen Fahrzeuge eingehen) relativiert wird.<sup>59</sup> Wollte man noch weitere Gruppen von Beteiligten (Fußgänger, Radfahrer) betrachten, müsste auch für diese Gruppen die jeweilige Risikoexposition (zurückgelegte km) bekannt sein, was natürlich in einer Erhebung zur Fahrleistung von Kraftfahrzeugen nicht der Fall ist.

Da sich bei beiden Kennzahlen der Zähler in räumlicher Hinsicht auf das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland bezieht, muss dies auch für den Nenner gelten. Maßgeblich für die Relativierung der Anzahl (Inzidenz) der Schadenereignisse ist also die Inlandsfahrleistung.

Die Unfallbeteiligungs- wie auch die Verunglücktenrate ist keine Rate in dem Sinne, dass der Zähler ein Teil des Nenners wäre. Als Inzidenzdichte beschreiben die beiden genannten „Raten“ vielmehr die „Unfallgefährdung“ von Fahrzeugen bzw. Fahrzeugbenutzern.

Aufgliederungen der Unfallbeteiligungs- und der Verunglücktenrate sind nach zwei verschiedenen Konzepten möglich:

- Zähler und Nenner der Risikokennzahl werden nach einem Merkmal aufgegliedert, welches für alle Einheiten unter Risiko erhoben werden kann.

<sup>58</sup> Als „Beteiligte“ gelten in der Straßenverkehrsunfallstatistik alle Fahrzeugführer oder Fußgänger, die selbst oder deren Fahrzeug Schäden erlitten oder hervorgerufen haben. Die Statistik erfasst bei Unfällen unter anderem „...die beteiligten Verkehrsmittel nach Fahrzeugart, Zulassungsbezirk, Nationalitätskennzeichen, ...“.

<sup>59</sup> Eine detaillierte Darstellung der risikoanalytischen Grundlagen findet man bei HAUTZINGER et al. (2007).



- Der Zähler der Risikokennzahl wird nach einem Merkmal aufgegliedert, welches nur für diejenigen Einheiten unter Risiko erhoben werden kann, welche an einem Unfall beteiligt sind.

Werden Zähler und Nenner nach ein und demselben Merkmal aufgegliedert, so entspricht dies einer Zerlegung der gesamten „Risikopopulation“ (Fahrzeuge bzw. Fahrzeugbenutzer) in einzelne Teilgruppen und der Berechnung gruppenspezifischer Risikokennzahlen. Derartige Aufgliederungen der Unfallbeteiligungsrate bzw. der Verunglücktenrate nach einzelnen Teilgruppen der Risikopopulation sind selbstverständlich nur nach solchen Merkmalen möglich, die zugleich in der Fahrleistungserhebung und der amtlichen Straßenverkehrsunfallstatistik erfasst werden. Dies gilt im vorliegenden Fall für bestimmte Fahrzeugmerkmale (Art und Nationalität des Fahrzeugs) sowie bestimmte Merkmale des Fahrbetriebs (Straßenklasse und Ortslage sowie Wochentag und Tageszeit der Verkehrsteilnahme des Fahrzeugs). Wegen der unterschiedlichen Erhebungstatbestände war im Rahmen der Datenaufbereitung für Zwecke der Unfallrisikoanalyse zunächst die Kompatibilität der betreffenden Merkmale und ihrer Ausprägungen herzustellen.

Wird bei unverändertem Nenner der Zähler der Unfallbeteiligungsrate nach einem Merkmal aufgegliedert, welches nur für die unfallbeteiligten Einheiten der Risikopopulation (Fahrzeuge/Fahrzeugführer) erhoben werden kann, so entspricht dies der Berechnung des Risikos für eine bestimmte Art der Unfallbeteiligung (z. B. Unfallbeteiligung als Hauptverursacher<sup>60</sup>) bzw. des Risikos für die Beteiligung an einem Unfall bestimmten Typs (z. B. Beteiligung an einem Unfall mit Getöteten). Für die Risikopopulation als Ganzes werden bei einer derartigen Risikoanalyse – anders als zuvor – also nicht sämtliche, sondern nur diejenigen Unfallbeteiligten betrachtet, welche ein bestimmtes Merkmal aufweisen.

Gliedert man ganz entsprechend den Zähler der Verunglücktenrate nach dem Merkmal Verletzungsschwere des Fahrzeugbenutzers auf, welches ja nur für verunglückte Benutzer unfallbeteiligter Fahrzeuge erhoben werden kann, so entspricht dies dem Risiko, als Benutzer eines Kraftfahrzeugs in einen Unfall verwickelt zu werden und dabei eine Verletzung bestimmten Schweregrades (leicht verletzt, schwer verletzt, getötet) zu erleiden.

## 4.2 Datengrundlage: Amtliche Straßenverkehrsunfallstatistik

### 4.2.1 Datenaufbereitung

Wie oben dargestellt, lässt sich die Inlandsfahrleistung 2014 nach den Fahrzeugmerkmalen

- Fahrzeugart und
- Fahrzeugnationalität

sowie nach

- Straßenklasse/Ortslage,
- Wochentag und
- Tageszeit

als Merkmale des Fahrbetriebs aufgliedern. Durch die genannten Merkmale ist zugleich der Katalog der Gliederungsmerkmale für die Bildung gruppenspezifischer Risikokennzahlen (Unfallbeteiligungs- und Verunglücktenrate) gegeben. Darüber hinaus gehende Berechnungen gruppenspezifischer Unfallrisikokenngrößen sind nur anhand der Inländerfahrleistung als Bezugsgröße möglich.<sup>61</sup>

Auf die Inlandsfahrleistung 2014 in der obigen Gliederung waren die Beteiligten- und Verunglücktenzahlen der amtlichen Straßenverkehrsunfallstatistik abzustimmen. Dies erforderte insbesondere eine Harmonisierung der Merkmale

- Fahrzeugart gemäß Erhebung der Inlandsfahrleistung und
- Art der Verkehrsbeteiligung gemäß amtlicher Straßenverkehrsunfallstatistik.

Tabelle 40 zeigt die entsprechenden Zuordnungen. Wie man sieht, werden alle Kraftfahrzeugarten gemäß Unfallstatistik berücksichtigt.

<sup>60</sup> Das Risiko der Unfallbeteiligung als Hauptverursacher kann in Kurzform auch „Unfallverursachungsrisiko“ genannt werden.

<sup>61</sup> Von der gesamten Inländerfahrleistung ist dabei nur die im Inland erbrachte Kilometersumme zu betrachten und bei den Unfallbeteiligten sind nur die in Deutschland zugelassenen Kraftfahrzeuge zu berücksichtigen. Da alle Fahrzeugmerkmale aus dem ZFZR auch in den Unfalldaten vorhanden sind (z. B. Fahrzeugsegment bei Pkw), kann das „Inländerunfallbeteiligungsrisiko“ für alle Teilgruppen von Fahrzeugen berechnet werden, welche durch Aufgliederung nach Merkmalen entstehen, die im Datensatz der Kfz-Halterbefragung aus dem ZFZR übernommen werden (z. B. Hubraum, Motorleistung etc.).

Fahrzeugart gemäß Verkehrszählung	Art der Verkehrsbeteiligung gemäß amtlicher Straßenverkehrsunfallstatistik
Motor. Zweirad	Kraftrad mit Versicherungskennzeichen (Kleinkrafträder, Mofa 25, E-Bikes, drei- und leichte vierrädrige Kfz (L2e))
	Kraftrad mit amtlichem Kennzeichen (Krafträder, Leichtkrafträder, drei- und leichte vierrädrige Kfz (L5e, L7e), Motorroller)
Pkw	Personenkraftwagen
Lieferwagen	Lkw < 3,5 t zGM ohne Anhänger, Wohnmobil
Pkw mit Anhänger	Pkw/Wohnmobil mit Anhänger, Lkw < 3,5 t zGM mit Anhänger
Kraftomnibusse	Kraftomnibusse, Reisebusse, Linienbusse, Schulbusse, Oberleitungsbusse
Lkw ohne Anhänger	Lkw > 3,5 t zGM ohne Anhänger, Lkw mit Tankauflagen ohne Anhänger, Tankkraftwagen, Lkw mit Spezialaufbau
Lkw mit Anhänger	Lkw > 3,5 t zGM mit Anhänger, Lkw mit Tankauflagen mit Anhänger, andere Zugmaschinen (auch mit Tankwagen)
Sattelzugmaschinen	Sattelzugmaschine, Sattelzugmaschine mit Auflieger als Tankwagen
Sonstige Kfz	Landwirtsch. Zugmaschinen, übrige Kraftfahrzeuge, sonstige und unbekannte Fahrzeuge

**Tab. 40:** Zuordnung der Arten der Verkehrsbeteiligung gemäß amtlicher Straßenverkehrsunfallstatistik zu Fahrzeuggruppen gemäß Erhebung der Inlandsfahrleistung für Zwecke der Unfallrisikoanalyse

In den Unfalldaten werden die Kraftfahrzeuge nach 10 Fahrzeugarten gegliedert (8+1-Fahrzeuggruppen zuzüglich Krafträder mit Versicherungskennzeichen). Für die Unfallrisikoanalyse müssen jedoch Krafträder mit Versicherungskennzeichen und Krafträder mit amtlichem Kennzeichen zusammengefasst werden, da Fahrleistungswerte nur für die Gruppe der motorisierten Zweiräder insgesamt vorliegen.

Die für die Risikoanalyse herangezogenen Unfalldaten wurden der amtlichen Straßenverkehrsunfallstatistik 2014 entnommen (Statistisches Bundesamt 2015a). Da dort nicht alle benötigten Aufgliederungen verfügbar sind, wurden weitere Untergliederungen der Beteiligten und Verunglückten von der Bundesanstalt für Straßenwesen erstellt. Bezüglich der Methodik und Ergebnisdarstellungen kann auf die Veröffentlichung des Statistischen Bundesamtes verwiesen werden.

Im Folgenden werden zunächst die unfallbeteiligten Kraftfahrzeuge 2014 sowie die verunglückten Benutzer dieser Fahrzeuge näher beschrieben. Diese werden – soweit vergleichbar – auch den Ergebnissen aus dem Jahr 2002 gegenübergestellt. Der Vergleich dient dazu, die absoluten Veränderungen von Unfallzahlen im Zeitvergleich einordnen zu können. Betrachtet werden im Folgenden nur Straßenverkehrsunfälle mit Personenschaden.

#### 4.2.2 Unfallbeteiligte Kraftfahrzeuge 2014

Neben der Aufgliederung nach den Merkmalen des Fahrzeugs und des Fahrbetriebs, die man zur Bildung gruppenspezifischer Unfallbeteiligungsraten benötigt, werden die unfallbeteiligten Kfz zusätzlich noch nach der Unfallkategorie – also der schwersten Folge des Unfalls, an welchem sie beteiligt waren, (Unfälle mit Getöteten, Schwerverletzten, Leichtverletzten) – sowie nach dem Verursacherstatus des Fahrzeugführers disaggregiert.

Im Jahr 2014 belief sich die Gesamtzahl der Beteiligten an Unfällen mit Personenschaden auf 584.716. Darunter sind jedoch 121.992 Personen, die nicht als Führer eines Kraftfahrzeugs an einem Unfall beteiligt waren (Fußgänger, Radfahrer, Schienenfahrzeugführer). Die – für die vorliegende Fragestellung relevante – Zahl der an Unfällen mit Personenschaden beteiligten Kfz beträgt 462.724. Die unfallbeteiligten Kfz verteilen sich auf 10 Fahrzeugarten (s. Tabelle 41).

In Tabelle 42 ist die Zahl der unfallbeteiligten Kfz nach Fahrzeugart und Unfallkategorie aufgegliedert. In der Tabelle sind auch die Veränderungsdaten gegenüber dem Jahr 2002 aufgeführt. Für Zwecke dieses Vergleichs müssen zum einen Pkw und Pkw mit Anhänger sowie zum anderen Lkw ohne Anhänger, Lkw mit Anhänger und Sattelzüge zusammengefasst werden. Der Einfachheit und besseren Lesbarkeit halber werden Krafträder mit Versicherungskennzeichen als „Mofa/Moped“ und Krafträder mit amtlichem Kennzeichen als „Kraftrad“ bezeichnet.

Insgesamt ist die Zahl unfallbeteiligter Kfz von 2002 bis 2014 um rund 21 % gesunken. Allerdings ist der Gesamtwert nur bedingt vergleichbar, da die Unfälle von landwirtschaftlichen Zugmaschinen 2002 aus methodischen Gründen nicht berücksichtigt wurden. 2014 sind diese in der Gruppe „Sonstige Kfz“ enthalten, weshalb daraus dort ein starker Zuwachs resultiert. Insgesamt ist die Zahl der beteiligten Kfz bei Unfällen mit Getöteten stärker rückläufig als bei den anderen Unfallkategorien. Von den hier betrachteten Fahrzeugarten findet sich – über alle Unfallkategorien – der stärkste Rückgang bei Lkw bzw. Sattelzügen. Hier ist auch bei Unfällen mit Leicht- bzw. Schwerverletzten ein stark überdurch-

schnittliches Absinken der Beteiligtenzahl zu verzeichnen.

2014 wurden 256.632 der an Unfällen mit Personenschaden beteiligten Kraftfahrzeuge bzw. Fahrzeugführer als Hauptverursacher des Unfalls eingestuft (55,5 %). Die höchste Hauptverursacherquote findet sich mit rund 71 % bei den sonstigen Kfz, gefolgt von Lkw unter 3,5 t zGM (Lieferwagen) mit knapp 64 %. Den niedrigsten Anteil an Hauptverursachern weisen Busse auf (42,7 %).

Bezüglich der Wochentagsverteilung ist es so, dass sich die Beteiligtenzahl von Montag bis Freitag relativ gleichmäßig verteilt (von 71.970 am Dienstag bis 77.474 am Freitag). Zum Wochenende sinkt die Zahl der unfallbeteiligten Kfz deutlich ab, und zwar auf 55.244 am Samstag bzw. 40.258 am Sonntag.

97,5 % der unfallbeteiligten Kfz sind in Deutschland zugelassen. Ausländische Fahrzeuge machen demzufolge nur einen Anteil von 2,5 % aus. Dabei entfallen die meisten der insgesamt 11.529 unfallbeteiligten ausländischen Kfz auf die Nationalitäten Polen (2.599) und Niederlande (1.471).

Abschließend werden die unfallbeteiligten Kfz noch nach Straßenklasse und Ortslage des Unfallortes aufgegliedert (s. Tabelle 43).

Über 36 % der Unfallbeteiligungen von Kraftfahrzeugen resultieren aus Unfällen auf sonstigen innerörtlichen Straßen. Autobahnen weisen gemessen an den hohen Verkehrsstärken eine niedrige Beteiligtenzahl auf.

Fahrzeugart	Unfallbeteiligte Kfz
Krafträder mit Versicherungskennz.	15.981
Krafträder mit aml. Kennz.	30.736
Pkw	369.040
Pkw mit Anhänger	2.847
Busse	5.579
Lieferwagen	15.834
Lkw ohne Anhänger	6.188
Lkw mit Anhänger	2.976
Sattelzüge	6.906
Sonstige Kfz	6.637
Summe	462.724

Tab. 41: An Unfällen mit Personenschaden beteiligte Kfz 2014 gegliedert nach Fahrzeugart

Fahrzeugart	Unfall mit Getöteten		Unfall mit Schwerverletzten		Unfall mit Leichtverletzten		Insgesamt	
	Anzahl beteiligte Kfz 2014	Veränderung zu 2002 (%)	Anzahl beteiligte Kfz 2014	Veränderung zu 2002 (%)	Anzahl beteiligte Kfz 2014	Veränderung zu 2002 (%)	Anzahl beteiligte Kfz 2014	Veränderung zu 2002 (%)
Mofa/Moped	91	-37,7	3.277	-23,1	12.613	-7,0	15.981	-11,1
Kraftrad	633	-36,6	10.365	-14,7	19.738	-19,3	30.736	-18,3
Pkw	3.219	-54,7	58.373	-26,8	310.295	-20,2	371.887	-21,8
Bus	59	-43,8	905	-9,7	4.615	+0,7	5.579	-2,0
Lkw < 3,5 t zGM	199	-31,6	2.724	-12,1	12.911	-9,4	15.834	-10,3
Lkw/Sattelzug	670	-43,7	3.972	-34,4	11.428	-39,1	16.070	-38,3
Sonstige Kfz	120	+39,5	1.477	+143,3	5.040	+111,1	6.637	+115,4
Summe	4.991	-49,7	81.093	-24,2	376.640	-19,3	462.724	-20,7

Tab. 42: An Unfällen mit Personenschaden beteiligte Kfz 2014 gegliedert nach Fahrzeugart und Unfallkategorie

Straßenklasse	Ortslage	Unfall mit Getöteten	Unfall mit Schwerverletzten	Unfall mit Leichtverletzten	Summe
		Unfallbeteiligte Kfz			
Autobahn		765	8.743	31.316	40.824
Bundesstraße	außerorts	1.250	10.772	32.145	44.167
	innerorts	225	6.716	44.134	51.075
	insgesamt	1.475	17.488	76.279	95.242
Landesstraße	außerorts	1.119	12.399	32.055	45.573
	innerorts	241	8.689	48.386	57.316
	insgesamt	1.360	21.088	80.441	102.889
Kreisstraße	außerorts	551	5.801	14.414	20.766
	innerorts	119	4.064	21.498	25.681
	insgesamt	670	9.865	35.912	46.447
Sonstige Straße	außerorts	161	2.222	6.586	8.969
	innerorts	560	21.687	146.106	168.353
	insgesamt	721	23.909	152.692	177.322
Insgesamt	Autobahn	765	8.743	31.316	40.824
	außerorts	3.081	31.194	85.200	119.475
	innerorts	1.145	41.156	260.124	302.425
	insgesamt	4.991	81.093	376.640	462.724

Tab. 43: An Unfällen mit Personenschaden beteiligte Kfz 2014 gegliedert nach Straßenklasse, Ortslage und Unfallkategorie

#### 4.2.3 Verunglückte Kraftfahrzeugbenutzer 2014

Die verunglückten Kraftfahrzeugbenutzer werden außer nach den Merkmalen zur Aufgliederung der Inlandsfahrleistung zusätzlich noch nach den Merkmalen

- Verletzungsschwere des Fahrzeugbenutzers (Unfallfolge)
- Verursacherstatus des Beteiligten, zu welchem der Fahrzeugbenutzer gehört (Hauptverursacher: ja/nein)

gegliedert.

Im Untersuchungsjahr 2014 verunglückten in Deutschland 392.912 Personen im Straßenverkehr, davon 281.505 als Benutzer eines Kraftfahrzeugs. Für die Berechnung der Risikokennziffern ist nur die letzte Gruppe relevant, wobei nicht zwischen Fahrern und Mitfahrern unterschieden wird. Die Bestimmung des Verletzungsrisikos von Mitfahrenden würde voraussetzen, dass man über – entsprechend gegliederte – mittlere Besetzungsgrade verfügt, mittels derer dann aus den Fahrleistungswerten die Verkehrsleistung von Mitfahrenden abgeleitet werden könnte.

Fahrzeugart	Verunglückte Kfz-Benutzer
Krafträder mit Versicherungskennz.	15.952
Krafträder mit aml. Kennz.	30.930
Pkw	215.965
Pkw mit Anhänger	1.285
Busse	5.779
Lieferwagen	5.796
Lkw ohne Anhänger	1.515
Lkw mit Anhänger	719
Sattelzüge	1.549
Sonstige Kfz	2.015
Summe	281.505

Tab. 44: Verunglückte Kfz-Benutzer 2014 gegliedert nach Fahrzeugart

Die Verteilung der Verunglückten auf die Fahrzeugarten zeigt Tabelle 44.

Tabelle 44 zeigt, dass sich bei Krafträdern die Zahl der Verunglückten kaum von der Zahl der Beteiligten unterscheidet (vgl. Tabelle 42). Das heißt, dass Nutzer eines motorisierten Zweirads im Falle einer

Verwicklung in einen Unfall mit Personenschaden fast immer eine Verletzung davontragen.

In Tabelle 45 ist die Zahl der Verunglückten nach Fahrzeugart und Unfallkategorie aufgegliedert. Auch hier sind zusätzlich wieder die Veränderungs-raten gegenüber dem Jahr 2002 dargestellt. Wie bei den Unfallbeteiligungen sind Pkw und Pkw mit Anhänger sowie Lkw ohne Anhänger, Lkw mit An-hänger und Sattelzüge zusammengefasst.

Wie bei den unfallbeteiligten Kfz ist auch bei den Verunglückten die größte Veränderung von 2002 bis 2014 bei den Güterkraftfahrzeugen (Lkw und

Sattelzüge) zu verzeichnen (-40,8 %). Die Zahl der Getöteten ist am stärksten bei den Pkw-Insassen zurückgegangen (von 4.005 im Jahr 2002 auf 1.582 in 2014). Da es sich bei den verunglückten Pkw-Nutzern um die größte Gruppe handelt, führt dies auch über alle Fahrzeuggruppen zu einer entsprechen- den Abnahme der Zahl der Getöteten um über 50 %. Erwähnenswert ist noch, dass die Zahl der verunglückten Busbenutzer entgegen dem allge- meinen Trend zugenommen hat.

121.464 Kfz-Benutzer wurden 2014 bei einem Un- fall verletzt oder getötet, bei dem der jeweilige Fahrzeugführer als Hauptverursacher eingestuft

Fahrzeugart	Getötete		Schwerverletzte		Leichtverletzte		Insgesamt	
	Anzahl 2014	Veränderung zu 2002 (%)	Anzahl 2014	Veränderung zu 2002 (%)	Anzahl 2014	Veränderung zu 2002 (%)	Anzahl Verunglückte 2014	Veränderung zu 2002 (%)
Mofa/Moped	87	-33,6	3.199	-21,5	12.666	-8,2	15.952	-11,4
Kraftrad	587	-35,7	10.115	-14,7	20.228	-20,7	30.930	-19,2
Pkw	1.582	-60,5	29.046	-34,3	186.622	-24,7	217.250	-26,6
Bus	13	+8,3	503	+31,3	5.263	+18,7	5.779	+19,7
Lkw < 3,5 t zGM	68	-35,8	1.025	-10,4	4.703	-20,2	5.796	-18,9
Lkw/Sattelzug	72	-47,8	870	-38,6	2.841	-41,3	3.783	-40,8
Sonstige Kfz	38	+40,7	455	+87,2	1.522	+12,8	2.015	+24,5
Summe	2.447	-54,1	45.213	-28,6	233.845	-23,0	281.505	-24,4

Tab. 45: Verunglückte Kfz-Benutzer 2014 gegliedert nach Fahrzeugart und Unfallfolge

Straßenklasse	Ortslage	Getötete	Schwerverletzte	Leichtverletzte	Summe
		Verunglückte Kfz-Benutzer			
Autobahn		344	5.673	25.007	31.024
Bundesstraße	außerorts	640	7.742	27.662	36.044
	innerorts	69	3.035	26.591	29.695
	Insgesamt	709	10.777	54.253	65.739
Landesstraße	außerorts	646	9.210	27.904	37.760
	innerorts	85	3.946	28.204	32.235
	Insgesamt	731	13.156	56.108	69.995
Kreisstraße	außerorts	335	4.477	12.786	17.598
	innerorts	53	1.861	12.375	14.289
	Insgesamt	388	6.338	25.161	31.887
Sonstige Straße	außerorts	105	1.607	5.075	6.787
	innerorts	170	7.662	68.241	76.073
	Insgesamt	275	9.269	73.316	82.860
Insgesamt	Autobahn	344	5.673	25.007	31.024
	außerorts	1.726	23.036	73.427	98.189
	innerorts	377	16.504	135.411	152.292
	Insgesamt	2.447	45.213	233.845	281.505

Tab. 46: Verunglückte Kfz-Benutzer 2014 gegliedert nach Straßenklasse, Ortslage und Unfallfolge



wurde (43 % aller Verunglückten). Die höchste Quote findet sich mit rund 62 % bei Sattelzugmaschinen, die niedrigste bei Bussen (30,7 %).

Im Hinblick auf den Wochentag sind im Vergleich zu den Unfallbeteiligungen bei den Verunglücktenzahlen deutlich geringere Unterschiede zu verzeichnen. Der Spitzenwert wird mit 46.151 am Freitag erreicht, zwischen Montag und Donnerstag reicht die Spanne von 40.951 (Dienstag) bis 42.254 (Montag). Nur wenig darunter liegt der Samstag mit 38.606 Verunglückten (Sonntag: 30.727).

2,4 % der Verunglückten (6.730 Personen) sind in Kfz zu Schaden gekommen, die im Ausland zugelassen sind. 1.397 Personen verunglückten in Fahrzeugen aus Polen und 992 in Kfz aus den Niederlanden.

Tabelle 46 zeigt schließlich noch die Verunglückten gegliedert nach Straßenklasse und Ortslage.

Wie bei den Unfallbeteiligungen liegt auch bei den Verunglückten der Maximalwert bei sonstigen innerörtlichen Straßen. Auf diese Straßenklasse/Ortslage-Kombination entfallen etwa 27 % aller bei Straßenverkehrsunfällen verletzten oder getöteten Kfz-Benutzer.

### 4.3 Unfallbeteiligungsrate

Die jährliche Zahl der Unfallbeteiligungen von Kraftfahrzeugen bezogen auf das Jahrestotal der Fahrleistung dieser Kraftfahrzeuge, d. h. die Kennzahl

$$UBR = \frac{\text{Anzahl unfallbeteiligter Kfz}}{\text{Kfz - Inlandsfahrleistung}}$$

wird „Unfallbeteiligungsrate“ genannt und im Folgenden in der Dimension (Beteiligte Kfz/1 Mrd. Fzgkm) angegeben. Diese Kennzahl ist somit ein Maß für das Risiko, mit der Kraftfahrzeuge in Unfälle (mit Personenschaden) verwickelt sind.

Tabelle 47 zeigt die Unfallbeteiligungsrate in der Untergliederung nach Straßenklasse, Ortslage und Unfallkategorie. Dargestellt sind auch die Gesamtwerte für jedes der drei Gliederungsmerkmale sowie über alle Merkmale. Um allzu große Redundanzen zu vermeiden, werden die Gesamtwerte in den folgenden Tabellen nicht wiederholt.

Insgesamt liegt das Unfallbeteiligungsrisiko von Kraftfahrzeugen bei 622 Kfz/1 Mrd. Fahrzeugkilometer. Vergleicht man die Gesamtwerte der einzelnen Straßenklassen, so zeigt sich, dass die Auto-

Straßenklasse	Ortslage	Unfall mit Getöteten	Unfall mit Schwerverletzten	Unfall mit Leichtverletzten	Insgesamt
		Unfallbeteiligte Kfz pro 1 Mrd. Fzgkm			
Autobahn		3	38	137	179
Bundesstraße	außerorts	10	90	268	369
	innerorts	5	137	898	1.039
	Insgesamt	9	104	452	564
Landesstraße	außerorts	13	139	359	510
	innerorts	5	181	1.009	1.195
	Insgesamt	10	154	586	749
Kreisstraße	außerorts	11	120	299	430
	innerorts	5	171	905	1.081
	Insgesamt	9	137	499	645
Sonstige Straße	außerorts	2	33	99	135
	innerorts	8	307	2.067	2.382
	Insgesamt	5	174	1.112	1.291
Insgesamt	Autobahn	3	38	137	179
	außerorts	10	96	263	369
	innerorts	6	215	1.358	1.579
	Insgesamt	7	109	506	622

Tab. 47: Unfallbeteiligte Kfz pro 1 Mrd. Fzgkm 2014 gegliedert nach Straßenklasse, Ortslage und Unfallkategorie

Fahrzeugart	Unfall mit Getöteten	Unfall mit Schwerverletzten	Unfall mit Leichtverletzten	Insgesamt
	Unfallbeteiligte Kfz pro 1 Mrd. Fzgkm			
Motor. Zweiräder	41	781	1.851	2.673
Pkw	5	99	526	630
Lieferwagen	4	53	249	306
Pkw m. Anhänger	3	38	151	193
Busse	13	199	1.014	1.226
Lkw o. Anhänger	9	58	209	276
Lkw m. Anhänger	7	48	124	179
Sattelzüge	13	71	179	263
Sonstige Kfz	32	389	1.327	1.748

Tab. 48: Unfallbeteiligte Kfz pro 1 Mrd. Fzgkm 2014 gegliedert nach Fahrzeugart und Unfallkategorie

bahnen die sichersten Straßen sind, während das höchste fahrleistungsbezogene Risiko bei den sonstigen Straßen besteht. Letzteres liegt vor allem an dem sehr hohen Beteiligungsrisiko im Innerortsbereich. Bei allen Straßenklassen ist das Unfallbeteiligungsrisiko insgesamt auf innerörtlichen Straßen deutlich höher als außerorts. Dies gilt auch für Unfälle mit Leicht- bzw. Schwerverletzten, nicht jedoch für Unfälle mit Getöteten: Hier ist – mit Ausnahme der sonstigen Straßen – das Risiko im Außerortsbereich 2- bis 2,5-mal so hoch wie innerorts, was im Wesentlichen auf die höheren Fahrgeschwindigkeiten zurückzuführen ist.

Die Aufgliederung der Risikokennziffern nach Fahrzeugart in Tabelle 48 zeigt das bekannte Phänomen eines hohen Unfallbeteiligungsrisikos bei motorisierten Zweirädern. Im Vergleich zum Gesamtwert über alle Fahrzeugarten (622 Kfz/1 Mrd. Fzgkm) ist das Risiko hier mehr als viermal so hoch. Ebenfalls deutlich über dem Durchschnitt liegen sonstige Kfz und Busse, dies gilt weitgehend unabhängig von der Unfallkategorie. Vergleichsweise gering ist das Unfallbeteiligungsrisiko bei Lkw und Sattelzügen, wobei allerdings Sattelzüge im Hinblick auf das Risiko, an einem Unfall mit Getöteten beteiligt zu sein, den gleichen Wert wie Busse aufweisen. Hierbei ist noch zu erwähnen, dass – von Alleinunfällen abgesehen – nicht in jedem Fall die Insassen des unfallbeteiligten Kfz von der (tödlichen) Verletzung betroffen sind, sondern auch – oder sogar ausschließlich – die Unfallgegner (darunter Fußgänger, Radfahrer).

Generell ist darauf hinzuweisen, dass die Unfallzahlen im Zeitverlauf gewissen Schwankungen un-

terliegen. Insofern stellen die hier verwendeten Zahlen des Jahres 2014 in gewisser Hinsicht eine „Momentaufnahme“ dar, was sich insbesondere bei kleinen Unfallpopulationen (z. B. an Unfällen mit Getöteten beteiligte Busse) auf die Risikokennziffern auswirkt.

Der Verursacherstatus ist wie die Unfallkategorie ein Merkmal, welches nicht für alle Kfz (Einheiten unter Risiko) sondern nur für unfallbeteiligte Kfz vorliegt. Es gibt demnach zwei verschiedene Arten der Unfallbeteiligung: „Beteiligung als Hauptverursacher des Unfalls“ und „sonstige Unfallbeteiligung“. Für jede der beiden Unfallbeteiligungsarten kann eine Risikokennzahl (beteiligungsartspezifische Unfallbeteiligungsrate) gebildet werden. Als Bezugsgröße dient in beiden Fällen die Inlandsfahrleistung des betreffenden Fahrzeugkollektivs.

Hinsichtlich des Verursacherstatus ist mit Ausnahme der Busse das Risiko der Beteiligung als Hauptverursacher (Unfallverursachungsrisiko) durchweg höher als das Risiko der Beteiligung als Nicht-Hauptverursacher (Unfallverwicklungsrisiko). Über alle Fahrzeugarten hinweg ist das Unfallverursachungsrisiko um etwa 25 % höher als das Unfallverwicklungsrisiko (345 vs. 277 Kfz/1 Mrd. Fzgkm). Dabei ist zu berücksichtigen, dass bei Alleinunfällen von Kfz immer der Fahrer des unfallbeteiligten Fahrzeugs als Hauptverursacher gilt (siehe Tabelle 49).

Tabelle 50 zeigt die Risikokennziffern in der Aufgliederung nach Straßenklasse/Ortslage-Kombinationen und Fahrzeugart.

Aus Tabelle 50 lässt sich entnehmen, dass abgesehen von den sonstigen Straßen außerorts<sup>62</sup> (auch

Fahrzeugart	Hauptverursacher	
	nein	ja
	Unfallbeteiligte Kfz pro 1 Mrd. Fzgkm	
Motor. Zweiräder	1.321	1.352
Pkw	279	351
Lieferwagen	111	195
Pkw mit Anhänger	90	102
Busse	703	523
Lkw ohne Anhänger	114	162
Lkw mit Anhänger	88	91
Sattelzüge	127	136
Sonstige Kfz	501	1.247
Insgesamt	277	345

Tab. 49: Unfallbeteiligte Kfz pro 1 Mrd. Fzgkm 2014 gegliedert nach Fahrzeugart und Verursacherstatus

unabhängig von der Fahrzeugart auf den Bundesautobahnen das niedrigste Unfallbeteiligungsrisiko besteht. Betrachtet man das Unfallrisiko inner- und außerorts, so ist fast bei allen Straßenklassen und Fahrzeugarten das Risiko im Innerortsbereich höher. Besonders ausgeprägt ist dieser Unterschied bei Bussen, d. h., das insgesamt überdurchschnittliche Risiko bei Bussen dürfte im Wesentlichen dem innerstädtischen Buslinienverkehr geschuldet sein.

Im Hinblick auf die Nationalität haben deutsche Kfz ein deutlich höheres Risiko, an Unfällen mit Schwer- oder Leichtverletzten beteiligt zu sein (Tabelle 51). Bei Unfällen mit Getöteten gibt es keinen Unterschied. Insgesamt beträgt das abso-

<sup>62</sup> Dies hat eventuell mit den dort im Mittel sehr niedrigen Verkehrsstärken in Verbindung mit einem vielfach schlechten Ausbaustand, der keine hohen Geschwindigkeiten erlaubt, zu tun.

Straßenklasse/ Ortslage	Motor. Zweiräder	Pkw	Liefer- wagen	Pkw mit Anhänger	Busse	Lkw ohne Anhänger	Lkw mit Anhänger	Sattel- züge	Sonstige Kfz
	Unfallbeteiligte Kfz pro 1 Mrd. Fzgkm								
BAB	516	193	101	96	202	116	94	198	163
Bundesstr. außerorts	1.964	366	172	201	351	221	298	281	1.330
Bundesstr. innerorts	4.605	1.126	615	91	1.755	300	258	472	1.711
Bundesstr. insgesamt	2.826	579	272	138	918	253	283	331	1.493
Landesstr. außerorts	2.036	471	294	191	322	354	528	358	4.206
Landesstr. innerorts	3.729	1.162	567	440	1.947	608	685	944	1.497
Landesstr. insgesamt	2.635	712	396	263	942	441	581	475	2.324
Kreisstr. außerorts	1.811	386	220	268	331	259	267	223	3.024
Kreisstr. innerorts	4.098	1.039	571	289	1.323	419	379	484	3.230
Kreisstr. insgesamt	2.492	601	334	277	798	319	300	285	3.106
Sonst. Str. außerorts	1.290	116	77	104	48	51	55	49	2.101
Sonst. Str. innerorts	3.957	2.365	1.206	834	4.619	869	1.157	5.362	44.402
Sonst. Str. insgesamt	3.412	1.261	724	505	2.144	427	413	449	11.876
Insgesamt	2.673	630	306	193	1.226	276	179	263	1.748

Tab. 50: Unfallbeteiligte Kfz pro 1 Mrd. Fzgkm 2014 gegliedert nach Straßenklasse, Ortslage und Fahrzeugart

Nationalität des Kfz	Unfallkategorie – Unfall mit ...		
	Getöteten	Schwerverl.	Leichtverl.
	Unfallbeteiligte Kfz pro 1 Mrd. Fzgkm		
deutsch	7	112	524
andere	7	65	204

Tab. 51: Unfallbeteiligte Kfz pro 1 Mrd. Fzgkm 2014 gegliedert nach Nationalität des Kfz und Unfallkategorie

lute Unfallbeteiligungsrisiko 643 (deutsche Fahrzeuge) bzw. 276 (ausländische Fahrzeuge) Kfz/1 Mrd. Fzgkm.

Dieses Ergebnis kann eventuell auch damit zu tun haben, dass bei Auslandsfahrten (von Ausländern in Deutschland) möglicherweise eine etwas vorsichtigere Fahrweise an den Tag gelegt wird. Hauptsächlich dürften hierfür jedoch Struktureffekte verantwortlich sein. So liegt der Schwerverkehrsanteil an der Fahrleistung bei den Deutschen nur bei knapp 8 %, während er bei den Ausländern 36 % beträgt. Wie oben gesehen, ist das Risiko im Schwerverkehr (vor allem Lkw und Sattelzüge) aber deutlich geringer als bei Pkw oder gar motorisierten Zweirädern. Darüber hinaus wird die Fahrleistung ausländischer Kfz auf dem deutschen Straßennetz zu zwei Dritteln auf den Autobahnen erbracht (deutsche Fahrzeuge: 29 %), was sich aufgrund des höheren Sicherheitsniveaus der BAB ebenfalls reduzierend auf das Gesamtrisiko auswirkt.

Gliedert man vor diesem Hintergrund zusätzlich noch nach der Straßenklasse (BAB/andere), so fallen die Unterschiede zwischen deutschen und ausländischen Fahrzeugen hinsichtlich des Unfallbeteiligungsrisikos deutlich kleiner aus als bei Betrachtung des Gesamtverkehrs (Tabelle 52).

Im Gesamtverkehr beträgt das Unfallbeteiligungsrisiko der deutschen Kfz das 2,33-fache der ausländischen Fahrzeuge. Betrachtet man dagegen nur das Straßennetz ohne die Autobahnen, so liegt dieses relative Risiko nur noch bei 1,58 (826/523) und auf den Autobahnen bei 1,15.

Tabelle 53 zeigt die Risikokennziffern für deutsche und ausländische Kfz in der Untergliederung nach Fahrzeugart.

Bei allen Fahrzeugarten liegt das Unfallbeteiligungsrisiko der deutschen Kfz über dem der im Ausland zugelassenen Fahrzeuge, wobei hier der bei den ausländischen Kfz deutlich höhere Autobahnanteil an der Fahrleistung eine Rolle spielt.

Nationalität des Kfz	Straßenklasse		Insgesamt
	BAB	andere	
	Unfallbeteiligte Kfz pro 1 Mrd. Fzgkm		
deutsch	182	826	643
andere	158	523	276

Tab. 52: Unfallbeteiligte Kfz pro 1 Mrd. Fzgkm 2014 gegliedert nach Nationalität des Kfz und Straßenklasse

Fahrzeugart	Nationalität des Kfz	
	deutsch	andere
	Unfallbeteiligte Kfz pro 1 Mrd. Fzgkm	
Motor. Zweiräder	2.899	413
Pkw	640	356
Lieferwagen	314	175
Pkw mit Anhänger	195	163
Busse	1.281	266
Lkw ohne Anhänger	294	99
Lkw mit Anhänger	200	122
Sattelzüge	278	230
Sonstige Kfz	1.862	164

Tab. 53: Unfallbeteiligte Kfz pro 1 Mrd. Fzgkm 2014 gegliedert nach Fahrzeugart und Nationalität des Kfz

Besonders stark sind die Unterschiede bei motorisierten Zweirädern, Bussen und sonstigen Fahrzeugen. Bei den Bussen könnte dies mit dem hohen Unfallrisiko im innerörtlichen Linienverkehr zu tun haben, der ja praktisch ausschließlich mit deutschen Fahrzeugen abgewickelt wird. Eine mögliche Erklärung für den Unterschied bei den sonstigen Kfz sind die Unfälle von landwirtschaftlichen Fahrzeugen, die ebenfalls weit überwiegend ein deutsches Kennzeichen haben dürften.

In Tabelle 54 finden sich die Risikokennziffern für einzelne Nationalitäten. Da die Fallzahlen für einzelne Nationalitäten sowohl auf der Unfallseite wie auch auf der Seite der Fahrleistungserhebung (gezählte Fahrzeuge) recht klein sind, werden nur die Anrainerstaaten Deutschlands betrachtet.

Bei der Aufgliederung nach einzelnen Nationalitäten fallen vor allem die Schweiz, Frankreich und Luxemburg als Länder mit einem hohen Unfallbeteiligungsrisiko auf. Dies gilt sowohl insgesamt als auch in Bezug auf Unfälle mit Schwerverletzten und Unfälle mit Leichtverletzten. Eine mögliche Erklärung

Nationalität des Kfz	Unfall mit Getöteten	Unfall mit Schwerverletzten	Unfall mit Leichtverletzten	Insgesamt
	Unfallbeteiligte Kfz pro 1 Mrd. Fzgkm			
Österreich	5	54	187	246
Belgien	4	41	128	172
Schweiz	8	121	446	574
Tschechien	5	51	158	214
Dänemark	2	36	122	161
Frankreich	9	144	481	633
Luxemburg	3	137	436	577
Niederlande	5	72	204	282
Polen	8	59	172	239
Deutschland	7	112	524	643

Tab. 54: Unfallbeteiligte Kfz pro 1 Mrd. Fzgkm 2014 gegliedert nach Nationalität des Fahrzeugs (nur Anrainerstaaten) und Unfallkategorie

Wochentag	Unfall mit Getöteten	Unfall mit Schwerverletzten	Unfall mit Leichtverletzten	Insgesamt
	Unfallbeteiligte Kfz pro 1 Mrd. Fzgkm			
Montag	7	112	557	675
Dienstag	6	108	553	668
Mittwoch	6	99	487	592
Donnerstag	6	109	532	647
Freitag	7	105	521	633
Samstag	8	121	476	605
Sonn-/Feiertag	8	115	379	502

Tab. 55: Unfallbeteiligte Kfz pro 1 Mrd. Fzgkm 2014 gegliedert nach Wochentag und Unfallkategorie

lung liegt darin, dass die Fahrleistung der schweizerischen und französischen Fahrzeuge auf dem deutschen Straßennetz hauptsächlich aus Pkw-Fahrleistung besteht, was ein höheres Risiko mit sich bringt. So beträgt der Schwerverkehrsanteil an der Fahrleistung bei den schweizerischen Fahrzeugen 6 % und bei den französischen 13 %, was weit unter dem Durchschnitt aller ausländischen Kraftfahrzeuge liegt (36 %). Die Luxemburger weisen einen Schwerverkehrsanteil von 28 % auf, allerdings ist hier das Risiko der Beteiligung an einem Unfall mit Getöteten mit 3 Kfz/1 Mrd. Fzgkm vergleichsweise gering.

Im Hinblick auf den Wochentag (Tabelle 55) stellen sich die Strukturen je nach Unfallkategorie unterschiedlich dar. Im Hinblick auf Unfälle mit Getöteten bzw. Schwerverletzten ist das Unfallbeteiligungsrisiko an Samstagen und Sonntagen am höchsten.

Bei Unfällen mit Leichtverletzten ist es genau umgekehrt, d. h. am Wochenende besteht ein erhöhtes Risiko für schwere Unfälle. Dies kann mit höheren Fahrgeschwindigkeiten (wenig Schwerverkehr) und einer anderen Fahrtzweckstruktur (z. B. „Disco-Unfälle“, Motorradunfälle) in Verbindung mit dem vermehrten Auftreten von Fahrten unter Alkohol- oder Drogeneinfluss zu tun haben. Ähnliche Erklärungsmuster gelten auch für die in Tabelle 56 dargestellten tageszeitlichen Unterschiede des Unfallbeteiligungsrisikos.

In den Nacht- und frühen Morgenstunden ist das Risiko der Beteiligung an Unfällen, bei denen Personen getötet oder schwer verletzt wurden, deutlich erhöht. Es kann davon ausgegangen werden, dass hier Risikofaktoren wie Dunkelheit und Müdigkeit ein bedeutsamer Einfluss zukommt. Am geringsten ist das Risiko schwerer Unfälle am Vormittag. So ist



etwa das Risiko der Beteiligung an einem Unfall mit Getöteten zwischen 1 und 2 Uhr viermal so hoch wie z. B. zwischen 8 und 9 Uhr (siehe Tabelle 56).

Schaut man nochmals gesondert auf die an Unfällen mit Getöteten beteiligten Kfz und gliedert diese zusätzlich nach Wochentagstyp (Tabelle 57), so

zeigt sich, dass das ohnehin schon erhöhte Risiko in den frühen Morgenstunden (0 bis 6 Uhr) an Samstagen und Sonntagen nochmals deutlich ansteigt. Es kann angenommen werden, dass hierfür überwiegend Pkw-Unfälle im Freizeitverkehr – nicht selten bedingt durch Alkohol- und/oder Drogeneinfluss – verantwortlich sind.

Tageszeit	Unfall mit Getöteten	Unfall mit Schwerverletzten	Unfall mit Leichtverletzten	Insgesamt
	Unfallbeteiligte Kfz pro 1 Mrd. Fzgkm			
0-1 Uhr	17	176	610	803
1-2 Uhr	20	167	497	684
2-3 Uhr	15	186	519	721
3-4 Uhr	18	153	397	568
4-5 Uhr	17	110	299	427
5-6 Uhr	8	96	336	440
6-7 Uhr	7	88	357	452
7-8 Uhr	5	98	581	684
8-9 Uhr	5	74	445	524
9-10 Uhr	5	86	416	507
10-11 Uhr	5	90	438	533
11-12 Uhr	6	95	480	580
12-13 Uhr	6	103	505	615
13-14 Uhr	7	113	561	681
14-15 Uhr	7	118	560	685
15-16 Uhr	7	120	577	704
16-17 Uhr	7	122	579	707
17-18 Uhr	7	131	611	748
18-19 Uhr	6	116	532	654
19-20 Uhr	6	112	474	592
20-21 Uhr	8	112	438	558
21-22 Uhr	8	118	423	549
22-23 Uhr	9	126	444	578
23-24 Uhr	13	141	481	634

Tab. 56: Unfallbeteiligte Kfz pro 1 Mrd. Fzgkm 2014 gegliedert nach Tageszeit (Stunde) und Unfallkategorie

Tageszeit	Montag	Di., Mi., Do.	Freitag	Samstag	Sonntag
	An Unfällen mit Getöteten beteiligte Kfz pro 1 Mrd. Fzgkm				
0 bis 6 Uhr	12	9	12	19	24
6 bis 12 Uhr	6	5	6	5	6
12 bis 18 Uhr	6	6	8	7	8
18 bis 24 Uhr	7	6	9	10	7

Tab. 57: An Unfällen mit Getöteten beteiligte Kfz pro 1 Mrd. Fzgkm 2014 gegliedert nach Tageszeit (Stunde) und Wochentagstyp

#### 4.4 Verunglücktenrate der Kraftfahrzeugbenutzer

Die jährliche Zahl der verunglückten, d. h. der bei Straßenverkehrsunfällen verletzten oder getöteten Kraftfahrzeugbenutzer bezogen auf das Jahrestotal der Fahrleistung dieser Kraftfahrzeuge, also die Kennzahl

$$VR = \frac{\text{Anzahl verunglückter Kfz-Benutzer}}{\text{Kfz-Inlandsfahrleistung}}$$

wird „Verunglücktenrate“ genannt und hier in der Dimension (Verunglückte/1 Mrd. Fzghm) angegeben. Die Kennziffer ist ein Maß für das Risiko, dass Fahrzeugbenutzer im Straßenverkehr einen unfallbedingten Personenschaden erleiden. Insbesondere bei der Differenzierung der Kennziffern nach Fahrzeugart muss bei der Interpretation dieser fahrleistungsbezogenen Verunglücktenrate der unterschiedliche Besetzungsgrad der einzelnen Fahrzeugarten berücksichtigt werden: Fahrzeugarten mit einer überdurchschnittlich hohen Insassenzahl weisen bei gleicher Fahrleistung und gleicher Unfallbeteiligung tendenziell eine höhere Verunglücktenzahl auf als solche mit einem niedrigen Besetzungsgrad.

Die Struktur der dargestellten Tabellen zur Verunglücktenrate sind im Wesentlichen identisch mit denen zum Unfallbeteiligungsrisiko.

Insgesamt wurden im Jahr 2014 pro 1 Mrd. Fahrzeugkilometer 378 Kfz-Benutzer bei einem Unfall verletzt oder getötet (Tabelle 58). Die Verunglücktenrate liegt somit deutlich unter der Unfallbeteiligungsrate, was darauf zurückzuführen ist, dass ein gewisser Anteil der Unfallbeteiligungen von Kfz nicht auf Alleinunfälle oder Kollisionen zwischen Kraftfahrzeugen zurückgeht, sondern aus Unfällen mit Fußgängern oder Radfahrern resultiert, bei denen dann ganz überwiegend der nichtmotorisierte Unfallgegner verunglückt, d. h. verletzt oder getötet wird. Gestützt wird diese Interpretation dadurch, dass im Innerortsbereich die Verunglücktenraten deutlich niedriger sind als die Unfallbeteiligungsrate, während außerorts kaum Unterschiede bestehen. Insgesamt ist bei allen Straßenklassen die Verunglücktenrate innerorts höher als außerorts, bei Getöteten und zum Teil auch bei Schwerverletzten ist dies jedoch umgekehrt. Hinsichtlich der einzelnen Straßenklassen kristallisieren sich auch bei der Verunglücktenrate die Autobahnen als die sichersten Straßen heraus. Danach folgen die Bundesstraßen, wobei hier das Verlet-

Straßenklasse	Ortslage	Getötete	Schwerverletzte	Leichtverletzte	Insgesamt
		Verunglückte Kfz-Benutzer pro 1 Mrd. Fzghm			
Autobahn		2	25	110	136
Bundesstraße	außerorts	5	65	231	301
	innerorts	1	62	541	604
	Insgesamt	4	64	321	389
Landesstraße	außerorts	7	103	312	423
	innerorts	2	82	588	672
	Insgesamt	5	96	409	510
Kreisstraße	außerorts	7	93	265	365
	innerorts	2	78	521	601
	Insgesamt	5	88	349	443
Sonst. Straße	außerorts	2	24	76	102
	innerorts	2	108	965	1.076
	Insgesamt	2	67	534	603
Insgesamt	Autobahn	2	25	110	136
	außerorts	5	71	227	303
	innerorts	2	86	707	795
	Insgesamt	3	61	314	378

Tab. 58: Verunglückte Kfz-Benutzer pro 1 Mrd. Fzghm 2014 gegliedert nach Straßenklasse, Ortslage und Unfallfolge

zungsrisiko als Kfz-Benutzer fast dreimal so hoch ist wie auf Autobahnen. Dies hängt im Wesentlichen damit zusammen, dass Unfallkonstellationen mit einer besonders hohen Unfallschwere durch die Straßengestaltung möglichst ausgeschlossen werden. So werden auf Autobahnen durch die Fahrtrichtungstrennung Frontalzusammenstöße nahezu ausgeschlossen und kreuzender Verkehr kommt durch die planfreie Gestaltung von Knotenpunkten nicht vor (siehe Tabelle 58).

Wie bei der Unfallbeteiligung findet sich auch bezüglich der Verunglücktenrate das höchste Risiko aller Fahrzeuggruppen bei den Nutzern eines motorisierten Zweirads (Tabelle 59). Dabei unterscheidet sich die Verunglücktenrate kaum von der Unfallbeteiligungsrate (siehe oben). Das heißt, dass Nutzer eines motorisierten Zweirads im Falle einer Verwicklung in einen Unfall mit Personenschaden mit hoher Wahrscheinlichkeit selbst eine (u. U. tödliche) Verletzung davontragen. Das zweithöchste Insgesamt-Verletzungsrisiko haben Businsassen, was aufgrund des im Durchschnitt hohen Besetzungsgrades von Bussen plausibel ist.<sup>63</sup>

<sup>63</sup> Würde man die Zahl der verunglückten Fahrzeugbenutzer nicht auf die Summe der Fahrzeugkilometer (Fahrleistung) sondern auf die Summe der Personenkilometer (Verkehrsleistung) beziehen, so ergäbe sich bei den Businsassen eine deutlich niedrigere „verkehrsleistungsbezogene Verunglücktenrate“. Die je nach Fahrzeugart unterschiedlichen Besetzungsgrade müssen bei der Interpretation der hier vorliegenden „fahrleistungsbezogenen Verunglücktenrate“ berücksichtigt werden.

<sup>64</sup> Auch hier sei nochmals auf das Problem kleiner und über die Jahre schwankender Fallzahlen hingewiesen.

Jedoch fallen im Hinblick auf Unfälle mit Getöteten die Busse – anders als bei der Unfallbeteiligung – nicht besonders auf. Dies gilt auch für Sattelzüge, d. h. Busse und Sattelzüge weisen ein überdurchschnittliches Risiko der Beteiligung an Unfällen mit Getöteten auf, von der tödlichen Verletzung sind dann aber eher die Unfallgegner betroffen.<sup>64</sup> Die in allen Unfallkategorien niedrigsten Verunglücktenraten weisen Lkw mit Anhänger auf.

Hinsichtlich des Verursacherstatus (Tabelle 60) ist im Gegensatz zum Beteiligungsrisiko die Verunglücktenrate niedriger, wenn es sich um Benutzer von Fahrzeugen handelt, deren Führer als Hauptverursacher des Unfalls eingestuft wurde. Über alle

Fahrzeugart	Hauptverursacher	
	nein	ja
	Verunglückte pro 1 Mrd. Fzgkm	
Motor. Zweiräder	1.327	1.355
Pkw	216	153
Lieferwagen	59	53
Pkw mit Anhänger	51	36
Busse	880	390
Lkw ohne Anhänger	35	33
Lkw mit Anhänger	19	25
Sattelzüge	22	37
Sonstige Kfz	229	301
Insgesamt	215	163

Tab. 60: Verunglückte Kfz-Benutzer pro 1 Mrd. Fzgkm 2014 gegliedert nach Fahrzeugart und Verursacherstatus des Fahrzeugführers

Fahrzeugart	Getötete	Schwerverletzte	Leichtverletzte	Insgesamt
	Verunglückte Kfz-Benutzer pro 1 Mrd. Fzgkm			
Motor. Zweiräder	39	762	1.882	2.683
Pkw	3	49	317	368
Lieferwagen	1	20	91	112
Pkw m. Anhänger	1	16	70	87
Busse	3	111	1.157	1.270
Lkw o. Anhänger	1	13	54	68
Lkw m. Anhänger	1	10	32	43
Sattelzüge	1	16	42	59
Sonstige Kfz	10	120	401	531

Tab. 59: Verunglückte Kfz-Benutzer pro 1 Mrd. Fzgkm 2014 gegliedert nach Fahrzeugart und Unfallfolge

Fahrzeuggruppen hinweg beträgt die Verunglücktenrate bei „Hauptverursacher: nein“ 215 Verunglückte/1 Mrd. Fzgm, bei „Hauptverursacher: ja“ 163 Verunglückte/1 Mrd. Fzgm.

Wird die Verunglücktenrate nach Straßenklasse/Ortslage-Kombinationen und Fahrzeugart untergliedert (Tabelle 61), fällt auf, dass auf Autobahnen die Busse mit 676 Verunglückten pro 1 Mrd. Fzgm die höchste Verunglücktenrate aufweisen – sogar höher als motorisierte Zweiräder. Dies kann auf die hohen Besetzungsgrade bei Bussen zurückgeführt werden, was dazu führt, dass im Falle einer Unfallbeteiligung häufig mehrere Insassen verletzt oder getötet werden.

Bei motorisierten Zweirädern, Pkw und Bussen sowie auf sonstigen Straßen liegt die Verunglücktenrate im Innerortsbereich durchweg höher als außerorts. Bei sonstigen Straßen nehmen die diesbezüglichen Unterschiede z. T. extreme Formen an. Insbesondere ist diese bei den sonstigen Kfz der

Fall, was u. U. auf eine Unterschätzung der Fahrleistung sonstiger Kfz auf innerörtlichen Gemeindestraßen hindeutet. Dagegen ist bei Lkw, Sattelzügen und sonstigen Kfz außerorts das Risiko tendenziell höher als innerorts. Das hat mit der Masse dieser Fahrzeuge zu tun, aufgrund derer die Fahrzeuginsassen insbesondere bei niedrigen Geschwindigkeiten (innerorts) eher selten verletzt oder gar getötet werden.

Bezüglich der Nationalität sind die Strukturen beim Verletzungsrisiko denen beim Unfallbeteiligungsrisiko sehr ähnlich. Die Benutzer von in Deutschland zugelassenen Kfz haben ein deutlich höheres Risiko einer schweren oder leichten Verletzung als die Insassen von Fahrzeugen mit ausländischem Kennzeichen (Tabelle 62). Bei Getöteten existiert hingegen kein Unterschied. Insgesamt beträgt die Verunglücktenrate 391 (deutsche Fahrzeuge) bzw. 161 Verunglückte/1 Mrd. Fzgm (ausländische Fahrzeuge), wie sich Tabelle 63 entnehmen lässt.

Straßenklasse/ Ortslage	Motor. Zweiräder	Pkw	Lieferwagen	Pkw mit Anhänger	Busse	Lkw ohne Anhänger	Lkw mit Anhänger	Sattelzüge	Sonstige Kfz
	Verunglückte Kfz-Benutzer pro 1 Mrd. Fzgm								
BAB	526	160	66	74	676	47	28	53	45
Bundesstr. außerorts	1.986	310	98	149	449	63	89	76	451
Bundesstr. innerorts	4.604	638	167	26	2.087	43	26	44	449
Bundesstr. insgesamt	2.840	402	113	78	1.111	55	65	68	450
Landesstr. außerorts	2.045	397	178	104	313	119	156	96	1.167
Landesstr. innerorts	3.773	609	156	119	1.733	120	94	82	471
Landesstr. insgesamt	2.657	471	170	108	855	119	135	93	684
Kreisstr. außerorts	1.832	333	129	144	365	94	92	64	968
Kreisstr. innerorts	4.148	524	169	63	1.486	71	17	65	848
Kreisstr. insgesamt	2.522	396	142	109	893	85	70	64	921
Sonst. Str. außerorts	1.296	87	40	46	46	21	19	14	823
Sonst. Str. innerorts	3.940	924	222	164	4.319	134	149	584	13.389
Sonst. Str. insgesamt	3.399	513	145	111	2.005	73	61	57	3.727
Insgesamt	2.683	368	112	87	1.270	68	43	59	531

Tab. 61: Verunglückte Kfz-Benutzer pro 1 Mrd. Fzgm 2014 gegliedert nach Straßenklasse, Ortslage und Fahrzeugart

Nationalität des Kfz	Getötete	Schwer- verletzte	Leicht- verletzte
	Verunglückte Kfz-Benutzer pro 1 Mrd. Fzgkm		
deutsch	3	62	326
andere	3	38	120

Tab. 62: Verunglückte Kfz-Benutzer pro 1 Mrd. Fzgkm 2014 gegliedert nach Nationalität des Kfz und Unfallfolge

Nationalität des Kfz	Straßenklasse		Insgesamt
	BAB	andere	
	Unfallbeteiligte Kfz-Benutzer pro 1 Mrd. Fzgkm		
deutsch	140	491	391
andere	105	278	161

Tab. 63: Verunglückte Kfz-Benutzer pro 1 Mrd. Fzgkm 2014 gegliedert nach Nationalität des Kfz und Straßenklasse

Fahrzeugart	Nationalität des Kfz	
	deutsch	andere
	Verunglückte pro 1 Mrd. Fzgkm	
Motor. Zweiräder	2.910	408
Pkw	373	238
Lieferwagen	113	86
Pkw mit Anhänger	85	114
Busse	1.303	692
Lkw ohne Anhänger	72	26
Lkw mit Anhänger	51	22
Sattelzüge	63	51
Sonstige Kfz	565	59

Tab. 64: Verunglückte Kfz-Benutzer pro 1 Mrd. Fzgkm 2014 gegliedert nach Fahrzeugart und Nationalität des Kfz

Nationalität des Kfz	Getötete	Schwer- verletzte	Leicht- verletzte	Insgesamt
	Unfallbeteiligte Kfz pro 1 Mrd. Fzgkm			
Österreich	2	25	130	157
Belgien	2	32	94	128
Schweiz	2	78	331	411
Tschechien	2	20	63	84
Dänemark	2	28	109	139
Frankreich	5	114	326	445
Luxemburg	0	73	291	364
Niederlande	2	45	143	190
Polen	5	36	87	129
Deutschland	3	62	326	391

Tab. 65: Verunglückte Kfz-Benutzer pro 1 Mrd. Fzgkm 2014 gegliedert nach Nationalität des Fahrzeugs (nur Anrainerstaaten) und Unfallfolge beim Kfz-Benutzer

Auch hier sind im Wesentlichen Struktureffekte (unterschiedlicher Autobahn- und Schwerverkehrsanteil bei deutschen und ausländischen Fahrzeugen) für diese Differenzen verantwortlich. Kontrolliert man diese Strukturunterschiede in der Auswertung, so werden die Abstände deutlich geringer, wie Tabelle 63 zeigt, wo Autobahnen und die restlichen Straßenklassen separat betrachtet werden.

Mit Ausnahme der Pkw mit Anhänger ist die Verunglücktenrate der Benutzer von in Deutschland zugelassenen Fahrzeugen höher als die der im Ausland gemeldeten Fahrzeuge (Tabelle 64).

Besonders stark sind die Unterschiede bei motorisierten Zweirädern und sonstigen Fahrzeugen. Auf mögliche Ursachen wurde oben bei der Darstellung des Unfallbeteiligungsrisikos bereits eingegangen.

Bei den einzelnen Nationalitäten sind die Strukturen bei den Verunglücktenraten (Tabelle 65) identisch mit denen beim Unfallbeteiligungsrisiko. Betrachtet man nur den Ausländerverkehr, finden sich bei Nutzern französischer, schweizerischer und luxemburgischer Fahrzeuge die höchsten Werte. Französische Kfz weisen mit Abstand die höchste Rate bei Schwerverletzten und – zusammen mit polnischen – die höchste Getötetenrate auf.

Die Aufgliederung der Verunglücktenrate nach Wochentagen in Tabelle 66 zeigt ein erhöhtes Risiko an Samstagen und Sonntagen. Am Samstag ist sowohl der Gesamtwert als auch die Verunglücktenrate in Bezug auf Getötete und Leichtverletzte am höchsten. Die Ursachen dürften in der im Vergleich zu Werktagen unterschiedlichen Verkehrszusammensetzung (mehr Pkw-, weniger Lkw-Fahrleistung) liegen, wobei gerade am Wochenende die



Besetzungsgrade im Pkw-Verkehr höher sind (Freizeitverkehr), was natürlich einen Einfluss auf die Zahl der verunglückten Personen hat.

Bei einem abschließenden Blick auf die Verunglücktenraten zu verschiedenen Tageszeiten (siehe

Tabelle 67) zeichnen sich ganz ähnliche Strukturen wie beim Unfallbeteiligungsrisiko ab, nämlich ein stark erhöhtes Risiko in den späten Abend- und frühen Morgenstunden (22 bis 5 Uhr). Auf mögliche Ursachen wurde oben im Kontext der Unfallbeteiligung bereits eingegangen.

Wochentag	Getötete	Schwerverletzte	Leichtverletzte	Insgesamt
	Verunglückte Kfz-Benutzer pro 1 Mrd. Fzgkm			
Montag	3	58	331	392
Dienstag	3	56	321	380
Mittwoch	3	51	285	339
Donnerstag	3	56	309	368
Freitag	3	56	318	377
Samstag	5	77	341	423

Tab. 66: Verunglückte Kfz-Benutzer pro 1 Mrd. Fzgkm 2014 gegliedert nach Wochentag und Unfallfolge

Tageszeit	Getötete	Schwerverletzte	Leichtverletzte	Insgesamt
	Verunglückte Kfz-Benutzer pro 1 Mrd. Fzgkm			
0-1 Uhr	11	130	495	636
1-2 Uhr	11	140	458	610
2-3 Uhr	10	153	450	613
3-4 Uhr	11	123	343	477
4-5 Uhr	8	91	260	359
5-6 Uhr	5	61	235	301
6-7 Uhr	3	51	224	278
7-8 Uhr	2	48	319	369
8-9 Uhr	2	39	246	287
9-10 Uhr	2	42	242	286
10-11 Uhr	3	46	256	304
11-12 Uhr	3	50	281	334
12-13 Uhr	3	58	311	372
13-14 Uhr	3	62	344	409
14-15Uhr	3	66	346	416
15-16 Uhr	3	65	352	420
16-17 Uhr	3	64	352	419
17-18 Uhr	3	67	367	437
18-19 Uhr	3	62	329	394
19-20 Uhr	3	63	316	383
20-21 Uhr	4	70	307	380
21-22Uhr	4	79	318	402
22-23 Uhr	5	82	335	422
23-24 Uhr	7	104	404	515

Tab. 67: Verunglückte Kfz-Benutzer pro 1 Mrd. Fzgkm 2014 gegliedert nach Tageszeit (Stunde) und Unfallfolge

## 4.5 Vergleich des Unfallrisikos 2002-2014

Bei der Fahrleistungserhebung 2002 konnte die Inlandsfahrleistung lediglich nach den Merkmalen Fahrzeugart und Straßenklasse (BAB, außerörtliche Bundesstraße, übrige Straßen) aufgegliedert werden.

Für einen sinnvollen Vergleich bezüglich der Fahrzeugart müssen zum einen Pkw und Pkw mit Anhänger sowie zum anderen Lkw ohne Anhänger, Lkw mit Anhänger und Sattelzüge zusammengefasst werden. Darüber hinaus mussten für 2002 die Risikokennziffern für motorisierte Zweiräder neu berechnet werden (Zusammenfassung der Kategorien Krafräder mit Versicherungskennzeichen und Krafräder mit amtlichem Kennzeichen). Die Ergebnisse für das Jahr 2002 finden sich in HAUTZINGER et al. 2005b, S. 20-22. Sonstige Kfz bleiben bei diesem Vergleich unberücksichtigt, da die Werte – insbesondere wegen der unterschiedlichen Behandlung der landwirtschaftlichen Zugmaschinen – nicht miteinander vergleichbar sind. Die (neu berechneten) Gesamtwerte über alle Fahrzeugarten unterscheiden sich daher für 2014 leicht von den oben dargestellten Kennziffern (wegen des Fehlens der sonstigen Kfz). Auf die Gesamtwerte 2002 hat dies praktisch keinen Einfluss.

Auf einen Vergleich mit 2002 im Hinblick auf die Straßenklasse muss verzichtet werden, da dieser aufgrund der unterschiedlichen Abgrenzung sowohl der Unfall- als auch der Risikopopulation (insbes. sonstige Kfz wegen der Problematik mit landwirtschaftlichen Zugmaschinen) zu verzerrten Resultaten führen würde. Eine Neuberechnung der Resul-

tate für 2002 ohne sonstige Kfz ist ohne weiteres nicht möglich, da deren Fahrleistung in Ermangelung entsprechender Datengrundlagen im damaligen Ergebnisbericht nicht nach Straßenklasse/Ortslage tabelliert war.

Insgesamt hat die Unfallbeteiligungsrate von 2002 bis 2014 von 830 auf 616 Kfz pro 1 Mrd. Fzghm abgenommen, was einem Rückgang um rund 26 % entspricht. Im Hinblick auf die einzelnen Fahrzeuggruppen sind die stärksten Rückgänge bei den Lkw/Sattelzugmaschinen zu verzeichnen, und dies in allen Unfallkategorien (Tabelle 68).

Aus Sicht der Verkehrssicherheit ist positiv hervorzuheben, dass über alle Fahrzeugarten hinweg das Risiko der Beteiligung an Unfällen mit Getöteten mit -53 % die stärkste Reduktion erfahren hat. Allerdings liegen in dieser Hinsicht motorisierte Zweiräder mit -42 % unter dem Durchschnitt. Gerade die Fahrzeuggruppen mit einem hohen Gesamtrisiko 2014 (motorisierte Zweiräder und Busse) weisen, was die Beteiligung an Unfällen mit Getöteten bzw. Schwerverletzten angeht, die geringsten Rückgänge zwischen 2002 und 2014 auf.

Die Verunglücktenrate der Kfz-Benutzer ist von 2002 bis 2014 von insgesamt 530 auf 378 Verunglückte pro 1 Mrd. Fzghm zurückgegangen. Mit -29 % ist hier sogar eine noch stärkere Abnahme zu verzeichnen als bei der Unfallbeteiligungsrate. Über alle Fahrzeugarten ist das Risiko der Insassen, eine tödliche Verletzung zu erleiden, am stärksten gesunken, deutlich stärker als das einer schweren oder leichten Verletzung (s. Tabelle 69).

Mit Blick auf die Fahrzeugarten haben auch hier bei den Lkw/Sattelzügen die größten Rückgänge statt-

Fahrzeugart	Unfall mit Getöteten		Unfall mit Schwerverletzten		Unfall mit Leichtverletzten		Insgesamt	
	Beteiligungsrate 2002	Veränderung 2002/2014 (%)	Beteiligungsrate 2002	Veränderung 2002/2014 (%)	Beteiligungsrate 2002	Veränderung 2002/2014 (%)	Beteiligungsrate 2002	Veränderung 2002/2014 (%)
Motor. Zweirad	72	-42	1.032	-24	2.390	-23	3.494	-23
Pkw	12	-55	133	-27	650	-21	795	-22
Bus	26	-50	245	-19	1.122	-10	1.393	-12
Lkw < 3,5 t zGM	8	-52	90	-42	413	-40	511	-40
Lkw/Sattelzug	25	-59	129	-53	401	-56	556	-56
Insgesamt	14	-53	152	-29	664	-24	830	-26

Tab. 68: Veränderung der Beteiligungsrate (unfallbeteiligte Kfz pro 1 Mrd. Fzghm) für Unfälle mit Personenschaden von 2002 nach 2014 gegliedert nach Fahrzeugart und Unfallkategorie

Fahrzeugart	Getötete		Schwerverletzte		Leichtverletzte		Insgesamt	
	Verunglücktenrate 2002	Veränderung 2002/2014 (%)	Verunglücktenrate 2002	Veränderung 2002/2014 (%)	Verunglücktenrate 2002	Veränderung 2002/2014 (%)	Verunglücktenrate 2002	Veränderung 2002/2014 (%)
Motor. Zweirad	66	-42	1.002	-24	2.470	-24	3.538	-24
Pkw	7	-62	74	-35	414	-25	495	-27
Bus	3	-5	94	+18	1.085	+7	1.182	+7
Lkw < 3,5 t zGM	3	-56	33	-40	170	-47	206	-46
Lkw/Sattelzug	3	-63	30	-56	104	-58	137	-58
Insgesamt	8	-59	90	-33	432	-27	530	-29

Tab. 69: Veränderung der Verunglücktenrate (Verunglückte pro 1 Mrd. Fz/gkm) von 2002 nach 2014 gegliedert nach Fahrzeugart und Unfallfolge

gefunden, dies gilt für jede der drei Unfallschwerekategorien. Generell sind bei allen Fahrzeugarten außer Bussen zwischen 2002 und 2014 rückläufige Risikokennziffern zu verzeichnen. Bei den Bussen ist im fraglichen Zeitraum die Zahl der verunglückten Insassen etwas stärker gestiegen als die Fahrleistung, hier zeigt sich entgegen dem allgemeinen Trend sogar eine Zunahme der Schwer- bzw. Leichtverletztenrate um 18 bzw. 7 %. Im Hinblick auf die Zahl der schwerverletzten Businsassen war 2014 ein eher ungewöhnliches Jahr. 503 Businsassen verletzten sich bei Verkehrsunfällen schwer, das ist der höchste Wert seit 1999; im Jahr 2002 waren es 383 (Statistisches Bundesamt 2015b, S. 24). Nichtsdestotrotz steigt die Zahl der verunglückten Businsassen seit 20 Jahren mehr oder weniger kontinuierlich an. 1992 lag deren Zahl noch bei 4.701, für 2014 werden 5.779 Verunglückte ausgewiesen (ebenda), was insbesondere mit einer Zunahme der Leichtverletzten zu tun hat. Eine mögliche Ursache hierfür ist die Zunahme des Anteils älterer Menschen in der Bevölkerung, was zu einer höheren Verletzungsanfälligkeit bei (leichten) Unfällen beitragen kann.

Insgesamt belegen die Risikovergleiche jedoch die Erfolge der Verkehrssicherheitsarbeit. Zwischen 2002 und 2014 ist für die am Straßenverkehr in Deutschland teilnehmenden Kraftfahrzeuge die Gefahr einer Unfallbeteiligung deutlich zurückgegangen (-26 %). Sogar noch stärker ist das Risiko gesunken, als Fahrzeugbenutzer in einem Straßenverkehrsunfall verletzt oder gar getötet zu werden (-29 %).

Die vorgelegten Ergebnisse zum Unfallrisiko belegen nochmals eindrucksvoll den Nutzen der zur Er-

mittlung der Inlandsfahrleistung durchgeführten bundesweiten Verkehrszählung. Im Vergleich zur Vorgängerstudie von 2002, wo es keine separate Erhebung zur Inlandsfahrleistung gab, sind diesmal deutlich mehr und sehr viel tiefer gegliederte Analysen zum Unfallrisiko möglich. Insgesamt kann den ermittelten Risikokennziffern eine hohe Plausibilität zugesprochen werden, was indirekt auch nochmals die Validität der Ergebnisse der Verkehrszählung und damit der Fahrleistungsschätzungen unterstreicht. Die Fortführung dieser Form der Erhebung als Grundlage zur Schätzung der Inlandsfahrleistung ist aus Sicht der Autoren unbedingt zu empfehlen, insbesondere wenn sich dabei ein höherer Stichprobenumfang realisieren lässt und die – bislang schon hohe – Erfassungsgenauigkeit der Erhebungsinstrumente noch weiter gesteigert werden kann.

## 5 Zusammenführung der Ergebnisse zur Inländer- und Inlandsfahrleistung

### 5.1 Grundkonzept

In der Verkehrszählung zur Ermittlung der Inlandsfahrleistung wurde neben der Fahrzeuggruppe auch die Nationalität des Fahrzeugs erfasst, sodass sich daraus die Inlandsfahrleistung der in Deutschland zugelassenen Kfz schätzen lässt. Dieselbe Kennzahl kann auch aus der 2014 im Rahmen der Fahrleistungserhebung durchgeführten Halterbefragung geschätzt werden, indem von der dort ermittelten Gesamtfahrleistung der inländischen Kraftfahrzeuge (= Inländerfahrleistung) die

im Ausland gefahrenen Kilometer abgezogen werden. Es handelt sich somit um zwei „konkurrierende“ Schätzungen derselben Fahrleistungskennzahl, die sich eigentlich nur zufallsbedingt unterscheiden sollten. Im Folgenden werden die auf der Verkehrszählung bzw. der Halterbefragung basierenden Schätzungen der Inlandsfahrleistung inländischer Kfz näher betrachtet.

## 5.2 Vergleich der beiden Schätzungen für die Inlandsfahrleistung inländischer Kfz

Wie in Kapitel 3.9 dargestellt, resultiert aus der Verkehrszählung eine Gesamtfahrleistung auf dem deutschen Straßennetz (Inlandsfahrleistung 2014) von 743,82 Mrd. Fzgkm. Davon werden 41,79 Mrd. Fzgkm von im Ausland zugelassenen Kraftfahrzeugen zurückgelegt. Die Schätzung der Inländerfahrleistung 2014 auf Basis der Halterbefragung beläuft sich auf 707,02 Mrd. Fzgkm, davon entfallen 21,25 Mrd. Fzgkm auf Fahrten inländischer Kfz im Ausland.

Eine Gegenüberstellung der beiden Hochrechnungen zeigt zunächst, dass die Fahrleistung ausländischer Fahrzeuge in Deutschland etwa doppelt so hoch ist wie die der inländischen Kfz im Ausland. Der „Importüberschuss“ bei den Fahrleistungen beträgt im Untersuchungsjahr 2014 rund 20,5 Mrd. Fzgkm ( $41,79 - 21,25 = 20,54$ ).

Da der Unterschied zwischen der gesamten Inlandsfahrleistung und der gesamten Inländerfahrleistung mit 36,80 Mrd. Fzgkm ( $743,82 - 707,02 = 36,80$ ) etwas größer ist als der Importüberschuss von 20,54 Mrd. Fzgkm heißt dies, dass die Punktschätzungen für die Inlandsfahrleistung inländischer Kfz je nach verwendeter Datenbasis unterschiedlich ausfallen:

- Verkehrszählung: 702,03 Mrd. Fzgkm,
- Halterbefragung: 685,77 Mrd. Fzgkm.

Da die beiden Schätzungen nur um rund 2 Prozent voneinander abweichen, kann von einer guten Übereinstimmung gesprochen werden.<sup>65</sup> Zwei grundlegend verschiedene empirische Methoden der Fahrleistungsschätzung liefern praktisch dasselbe Resultat.

Im Folgenden werden die Ergebnisse zur Inlandsfahrleistung inländischer Kfz auf der Ebene der Fahrzeugarten verglichen.

## 5.3 Ergebnisvergleich differenziert nach Fahrzeugarten

Für einen solchen Vergleich müssen zunächst die in den beiden Erhebungen unterschiedlichen Abgrenzungen der Fahrzeugarten<sup>66</sup> soweit wie möglich kompatibel gemacht werden. Dies läuft auf die Bildung von 7 Fahrzeugarten hinaus. Insbesondere war die Halterbefragung an die 8+1-Messung der Verkehrszählung anzupassen, was zu folgenden Neudefinitionen führt:

- Motorisierte Zweiräder  
Krafträder mit amtlichem Kennzeichen plus Krafträder mit Versicherungskennzeichen
- Pkw  
Pkw privater Halter plus Pkw gewerblicher Halter
- Lieferwagen  
Lkw privater Halter bis 3,5 t zGM plus Lkw gewerblicher Halter bis 3,5 t zGM plus Wohnmobile
- Lkw > 3,5 t zGM  
Lkw privater Halter ab 3,5 t zGM plus Lkw gewerblicher Halter ab 3,5 t zGM
- Zugmaschinen  
Sattelzugmaschinen plus sonstige Zugmaschinen

Dementsprechend werden in den Daten der Verkehrszählung die Kategorien Pkw und Pkw mit Anhänger (= Pkw) sowie Lkw und Lkw mit Anhänger (= Lkw > 3,5 t zGM) zusammengefasst. Die Fahrzeugarten Busse und sonstige Kfz werden aus beiden Erhebungen unverändert übernommen. Generell ist zu beachten, dass in der Halterbefragung landwirtschaftliche Zugmaschinen ausgeschlossen waren.

In Tabelle 70 ist für die so gebildeten 7 Fahrzeugarten die aus der Halterbefragung (Tachostandsablesungen) hochgerechnete Inländerfahrleistung dargestellt. Detaillierte Ergebnisse zur Inländerfahrleistung finden sich im Schlussbericht zur Halterbefragung.

<sup>65</sup> Die beiden 95%-Konfidenzintervalle (Verkehrszählung bzw. Halterbefragung) überlappen sich.

<sup>66</sup>Halterbefragung: Krafträder mit amtlichem Kennzeichen/ Pkw privater Halter/Pkw gewerblicher Halter/Lkw privater Halter/Lkw gewerblicher Halter/Kraftomnibusse/Sattelzugmaschinen/sonstige Zugmaschinen/sonstige Kfz/Krafträder mit Versicherungskennzeichen; Verkehrszählung: 8+1-Fahrzeugarten (siehe oben).

Über alle Fahrzeugarten werden 3 Prozent der Fahrleistung inländischer Kfz-Halter im Ausland erbracht. Die höchsten Anteile an im Ausland erbrachter Fahrleistung finden sich bei motorisierten Zweirädern und Zugmaschinen mit 6,6 bzw. 6,3 %. Tabelle 71 zeigt die korrespondierenden Ergebnisse für die aus der Verkehrszählung hochgerechnete Inlandsfahrleistung. Vgl. hierzu Kapitel 3.9.4.

Knapp 6 von 100 auf dem deutschen Straßennetz gefahrenen Fahrzeugkilometern werden von Kraft-

fahrzeugen zurückgelegt, die im Ausland zugelassen sind. Besonders hohe Auslandsanteile finden sich bei großen Lkw und vor allem bei Zugmaschinen, wo fast ein Drittel der Fahrleistung von ausländischen Fahrzeugen stammt.

In Tabelle 72 werden die Auslandsanteile der Halterbefragung (von inländischen Fahrzeugen im Ausland gefahrene km) und die Ausländeranteile der Verkehrszählung (von ausländischen Fahrzeugen im Inland gefahrene km) einander gegenübergestellt.

Fahrzeugart	Gesamtfahrleistung in Mrd. Fzgkm	davon im Ausland	
		Mrd. Fzgkm	in %
Motor. Zweiräder	16,99	1,12	6,6
Pkw	594,59	16,87	2,8
Lieferwagen	48,24	1,43	3,0
Busse	3,96	0,17	4,3
Lkw > 3,5 t zGM	19,76	0,36	1,8
Zugmaschinen	19,87	1,25	6,3
Sonstige Kfz	3,63	0,04	1,2
Insgesamt	707,02	21,25	3,0

Tab. 70: Inländerfahrleistung 2014 gegliedert nach Fahrzeugart

Fahrzeugart	Gesamtfahrleistung in Mrd. Fzgkm	davon ausländische Kfz	
		Mrd. Fzgkm	in %
Motor. Zweiräder	17,48	1,59	9,1
Pkw	600,96	21,86	3,6
Lieferwagen	51,78	2,96	5,7
Busse	4,55	0,24	5,4
Lkw > 3,5 t zGM	39,01	6,55	16,8
Zugmaschinen	26,25	8,33	31,7
Sonstige Kfz	3,80	0,26	6,7
Insgesamt	743,82	41,79	5,6

Tab. 71: Inlandsfahrleistung 2014 gegliedert nach Fahrzeugart

Fahrzeugart	Fahrleistung inländischer Kfz-Halter im Ausland in Mrd. Fzgkm	Fahrleistung ausländischer Kfz im Inland in Mrd. Fzgkm	Saldo (Mrd. Fzgkm)
Motor. Zweiräder	1,12	1,59	-0,47
Pkw	16,87	21,86	-4,99
Lieferwagen	1,43	2,96	-1,53
Busse	0,17	0,24	-0,07
Lkw > 3,5 t zGM	0,36	6,55	-6,19
Zugmaschinen	1,25	8,33	-7,08
Sonstige Kfz	0,04	0,26	-0,22
Insgesamt	21,25	41,79	-20,54

Tab. 72: Export und Import von Fahrleistungen 2014 gegliedert nach Fahrzeugart



Wie eingangs bereits erwähnt, ist die Fahrleistung ausländischer Fahrzeuge in Deutschland insgesamt etwa doppelt so hoch wie die der inländischen Fahrzeuge im Ausland. Per Saldo werden von ausländischen Kfz in Deutschland rund 20,5 Mrd. Fzgkm mehr zurückgelegt als von in Deutschland zugelassenen Kfz im Ausland. Dies gilt – in unterschiedlichem Ausmaß – für alle Fahrzeugarten. Allein große Lkw und Zugmaschinen tragen zusammen mehr als 13 Mrd. Fzgkm zu diesem Saldo bei, Pkw nochmals rund 5 Mrd. Fzgkm. Die nach Abzug der jeweiligen Auslandsanteile resultierenden „konkurrierenden“ Schätzungen der Inlandsfahrleistung inländischer Fahrzeuge sind in Tabelle 73 zusammengestellt.

Wie den Tabellen 72 und 73 zu entnehmen ist, weisen die beiden Erhebungen bei fast allen Fahrzeugarten eine außerordentlich hohe Übereinstimmung auf, wobei dies bei motorisierten Zweirädern natürlich mit der Korrektur der Verkehrszählungsdaten auf Basis der Ergebnisse der Halterbefragung zu tun hat (siehe Kapitel 3.9.1). Nur bei der Fahrzeugart Lkw > 3,5 t zGM besteht eine deutliche Differenz zwischen den beiden Erhebungen, die nicht auf Stichprobenfehler zurückgeführt werden kann. Hier resultiert aus der Verkehrszählung eine wesentlich höhere Fahrleistung.

Die Inlandsfahrleistung der Inländer für große Lkw (und Sattelzüge) wird auch in der Güterkraftverkehrsstatistik (GKVS) des Kraftfahrt-Bundesamts ausgewiesen. Allerdings werden in der GKVS nur Lkw mit einer Nutzlast von mehr als 3,5 t erfasst. Dort wird die Inlandsfahrleistung deutscher Lkw und Sattelzugfahrzeuge für 2014 mit 27,6 Mrd.

Fzgkm angegeben (Kraftfahrt-Bundesamt 2015a, S. 5). Davon entfallen 15,3 Mrd. Fzgkm auf Sattelzüge und 12,3 Mrd. Fzgkm auf Lkw mit mehr als 3,5 t Nutzlast (ebenda, S. 10 f.). Grenzt man in der Halterbefragung die Lkw ebenfalls anhand der Nutzlast ab (mehr als 3,5 t<sup>67</sup>), so beträgt die um den Auslandsanteil verminderte Fahrleistung 13,5 Mrd. Fzgkm (13,8 Mrd. Fzgkm gesamt, davon 0,3 Mrd. Fzgkm im Ausland).

Vom Kraftfahrt-Bundesamt werden darüber hinaus Fahrleistungen berechnet, die auf den Meldungen aller im Rahmen der Hauptuntersuchung vorgeführten deutschen Fahrzeuge basieren. Für Lkw > 3,5 zGM und das Jahr 2014 wird eine Fahrleistung von 16,4 Mrd. Fzgkm ausgewiesen, wobei dieser Wert auch die im Ausland gefahrenen Fzgkm enthält (Kraftfahrt-Bundesamt 2015b).

In der vom BMVI herausgegebenen Veröffentlichung „Verkehr in Zahlen“ werden Fahrleistungen nur für die deutschen Lkw insgesamt ausgewiesen (inkl. Auslands-km). Der entsprechende Wert für 2014 liegt bei 66,3 Mrd. Fzgkm (BMVI 2015, S. 153).

Insgesamt deuten diese Vergleichsergebnisse darauf hin, dass die aus der Halterbefragung geschätzte Inlandsfahrleistung der deutschen Lkw mehr Plausibilität für sich in Anspruch nehmen kann als diejenige aus der Verkehrszählung. Die Ur-

<sup>67</sup>Lkw mit fehlender Nutzlast-Angabe wurden dann der Gruppe Lkw > 3,5 t Nutzlast zugeordnet, wenn die zulässige Gesamtmasse größer als 7,5 t war.

Fahrzeugart	Inlandsfahrleistung inländischer Fahrzeuge in Mrd. Fzgkm gemäß ...		Differenz (Mrd. Fzgkm)
	Halterbefragung	Verkehrszählung	
Motor. Zweiräder	15,9	15,9	0,0
Pkw	577,7	579,1	-1,4
Lieferwagen	46,8	48,8	-2,0
Busse	3,8	4,3	-0,5
Lkw > 3,5 t zGM	19,4	32,5	-13,1
Zugmaschinen	18,6	17,9	0,7
Sonstige Kfz	3,6	3,5	0,1
Insgesamt	685,8	702,0	-16,2

**Tab. 73:** Inlandsfahrleistung inländischer Fahrzeuge 2014 gemäß Halterbefragung und Verkehrszählung gegliedert nach Fahrzeugart

sache hierfür könnte darin liegen, dass in der Verkehrszählung die – in der Halterbefragung ausgeschlossenen – landwirtschaftlichen Zugmaschinen möglicherweise als Lkw erfasst worden sind. Hinzu kommt, dass die in der Halterbefragung ebenfalls ausgeschlossenen Fahrzeuge der Bundeswehr bei der Verkehrszählung vermutlich überwiegend als Lkw gezählt worden sind.

Angesichts der bei den meisten Fahrzeugarten enorm hohen Übereinstimmung der beiden „konkurrierenden“ Schätzungen für die Inlandsfahrleistung inländischer Kfz erwies sich die im Vorfeld ins Auge gefasste Bildung eines kombinierten bzw. harmonisierten Schätzwerts<sup>68</sup> als nicht erforderlich.

## 6 Literatur

- BARNETT, V. (1991): *Sample Survey Principles and Methods*. London: Hodder & Stoughton
- BARNETT, V.; LEWIS, T. (1994): *Outliers in Statistical Data*, 3. Aufl. Chichester: John Wiley & Sons
- BAST (Hrsg.) (1978): *Fahrleistungen im Straßenverkehr – Datenbedarf, Erhebungsmethoden und Realisierungsempfehlungen zu Fahr- und Verkehrsleistungsstatistiken*. In: BAUR, R.; BIHN, W. R.; BRÜHNING, E.; EICHBERG, J.; GRUNAU, B.; OTTO, H.; RIEKE, H.; ZIMMERMANN, G.: *Projektgruppenberichte der BAST, Bereich Straßenverkehrstechnik, Köln, Dezember 1978*
- BÄUMER, M.; HAUTZINGER, H.; KATHMANN, T.; SCHMITZ, S.; SOMMER, C.; WERMUTH, M. (2010): *Ermittlung von Standards für anforderungsgerechte Datenqualität bei Verkehrserhebungen*. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Reihe Verkehrstechnik, Heft V 200, Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW
- BÄUMER, M.; HAUTZINGER, H.; PFEIFFER, M. et al. (2017): *Fahrleistungserhebung 2014 – Inländerfahrleistung*. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Reihe Verkehrstechnik, Heft V 290, Bergisch Gladbach
- BIEMER, P. B.; LYBERG, L. E. (2003): *Introduction to Survey Quality*. New York: John Wiley & Sons
- BMVI (Hrsg.) (2015): *Verkehr in Zahlen 2015/2016*. Hamburg: DVV Media Group
- BÖHNING, D. (1998): *Allgemeine Epidemiologie und ihre methodischen Grundlagen*. München/Wien: Oldenbourg
- BUTTLER, G. (1996): *Ein einfaches Verfahren zur Identifikation von Ausreißern bei multivariaten Daten*. Arbeitspapier, Universität Erlangen-Nürnberg
- CASPARY, W. (2013). *Fehlertolerante Auswertung von Messdaten: Daten- und Modellanalyse, robuste Schätzung*. München: Oldenbourg
- COCHRAN, W. G. (1977): *Sampling Techniques*, 3. Aufl. New York: Wiley
- DIETERLE, M. (2011): *Schätzung regionaler Daten mithilfe von Small Area-Schätzmethoden*. In: *Wirtschaft und Statistik*, 12/2011, S. 1212-1218. Stuttgart: Metzler-Poeschel
- ECKSTEIN, P. P. (2008): *Angewandte Statistik mit SPSS – Praktische Einführung für Wirtschaftswissenschaftler*. 6. Auflage. Wiesbaden: Gabler
- FGSV (2012): *Empfehlungen für Verkehrserhebungen (EVE)*, Köln
- FOREMAN, E. K. (1991): *Survey Sampling Principles*, New York: Marcel Dekker
- HANSEN, M. H.; HURWITZ, W. N.; MADOW, W. G. (1953a): *Sample Survey Methods and Theory, Vol. I Methods and Applications*, Wiley, New York
- HANSEN, M. H.; HURWITZ, W. N.; MADOW, W. G. (1953b): *Sample Survey Methods and Theory, Vol. II Theory*, Wiley, New York
- HAUTZINGER, H.; HEIDEMANN, D.; KRÄMER, B. (1996): *Inländerfahrleistung 1993*. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Reihe Mensch und Sicherheit, Heft M 61. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW
- HAUTZINGER, H.; STOCK, W.; MAYER, K.; SCHMIDT, J.; HEIDEMANN, D. (2005a): *Fahrleistungserhebung 2002 – Inländerfahrleistung*.

<sup>68</sup>Im Arbeitsprogramm war die Möglichkeit vorgesehen, die beiden konkurrierenden Schätzungen erforderlichenfalls zu einem Gesamtergebnis für die Inlandsfahrleistung inländischer Kfz zusammenzufassen (z. B. gewichteter Mittelwert, bei dem das Gewicht des jeweiligen Schätzwerts umgekehrt proportional zur Varianz der Schätzung ist).

- Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Reihe Verkehrstechnik, Heft V 120. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW
- HAUTZINGER, H.; STOCK, W.; SCHMIDT, J. (2005b): Fahrleistungserhebung 2002 – Inlandsfahrleistung und Unfallrisiko. Berichte der BAST, Reihe Verkehrstechnik, Heft V 121. Bergisch Gladbach: Wirtschaftsverlag NW
- HAUTZINGER, H.; PASTOR, C.; PFEIFFER, M.; SCHMIDT, J. (2007): Analysis Methods for Accident and Injury Risk Studies. EU-Projekt TRACE, Deliverable 7.3
- HAUTZINGER, H.; PFEIFFER, M.; SCHMIDT, J. (2012): Entwicklung eines methodischen Rahmenkonzepts für Verhaltensbeobachtung im fließenden Verkehr. Berichte der BAST, Reihe Mensch und Sicherheit, Heft M 227. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW
- IVV (2004): Fahrleistungserhebung 2002, Teil: Grenzüberschreitender Verkehr. Schlussbericht zum Projekt FE 82.203/2001 der Bundesanstalt für Straßenwesen (unveröffentlicht)
- KÖHLER, K.; LENZ, B.; WINKLER, C.; BÄUMER, M.; HAUTZINGER, H.; PFEIFFER, M.; STOCK, W. (2013): Methodenstudie zur Fahrleistungserhebung. Schlussbericht zum Projekt FE 82.0545/2012 der Bundesanstalt für Straßenwesen (unveröffentlicht)
- Krafftahrt-Bundesamt (2015a): Verkehr deutscher Lastkraftfahrzeuge, Inlandsverkehr, Jahr 2014. Statistische Mitteilungen des Krafftahrt-Bundesamtes VD 3. Flensburg
- Krafftahrt-Bundesamt (2015b): Verkehr in Kilometern der deutschen Kraftfahrzeuge im Jahr 2014. Unter [http://www.kba.de/DE/Statistik/Kraftverkehr/VerkehrKilometer/2014/2014\\_verkehr\\_in\\_kilometern\\_node.html](http://www.kba.de/DE/Statistik/Kraftverkehr/VerkehrKilometer/2014/2014_verkehr_in_kilometern_node.html) vom 10.12.2015
- KRUG, W.; NOURNEY, M.; SCHMIDT, J. (1999): Wirtschafts- und Sozialstatistik. 5., völlig neubearbeitete Auflage. München, Wien: Oldenbourg
- LEE, R. S.; FORTHOFFER, R. N. (2006): Analyzing Complex Survey Data. 2. Auflage, Reihe „Quantitative Applications in the Social Sciences“, SAGE Publications, Inc., Bd. 71, Thousand Oaks, CA
- LENSING, N. (2010): Zählungen des ausländischen Kraftfahrzeugverkehrs auf den Bundesautobahnen und Europastraßen 2008. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Reihe Verkehrstechnik, Heft V 197, Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW
- MANTEL, H.; GIROUX, S. (2009): Variance Estimation in Complex Surveys with One PSU per Stratum. 2009 Joint Statistical Meetings, Section on Survey Research Methods, American Statistical Association, S. 3069-3082
- RUST, K.; KALTON, G. (1987): Strategies for Collapsing Strata for Variance Estimation. Journal of Official Statistics, Vol. 3, No. 1, Hrsg. Statistics Sweden, S. 69-81
- SÄRNDAL, C.-E.; SWENSSON, B.; WRETMAN, J. (1992): Model Assisted Survey Sampling. New York: Springer
- Statistisches Bundesamt (2015a): Verkehrsunfälle 2014. Fachserie 8, Reihe 7. Wiesbaden
- Statistisches Bundesamt (2015b): Verkehrsunfälle. Unfälle von Bussen im Straßenverkehr 2014. Wiesbaden
- STENGER, H. (1971): Stichprobentheorie. Würzburg, Wien: Physica-Verlag
- STENGER, H. (1986): Stichproben. Heidelberg, Wien: Physica-Verlag
- VETTER, L.; HILGENFELD, C.; SCHREIBER, U. (2014): Bestimmung der Durchschnittsgeschwindigkeit eines Verkehrsstroms. In: Internationales Verkehrswesen, 66. Jahrgang, Heft 4, S. 80-83
- WIENERT, A.; WIGLINGHAUS, D.; WITTE, T.; KATHMANN, T.; ROGGENDORF, S.; SCHROEDER, S.; JANSEN, F. (2015): Fahrleistungserhebung 2014 – Teil Erhebung Inlandsfahrleistung. Schlussbericht zum Projekt FE 82.0594/2013 der Bundesanstalt für Straßenwesen (unveröffentlicht)
- WOLTER, K. M. (2007): Introduction to Variance Estimation. 2. Aufl. New York: Springer
- WVI; IVT; DLR; KBA (2011): Kraftfahrzeugverkehr in Deutschland 2010 (KiD 2010). BMVBS-Projekt, Forschungsbericht FE-Nr. 70.0829/2008. Braunschweig

## Anhang

Straßen- klasse/ Ortslage	Motor. Zweiräder	Pkw	Liefer- wagen	Pkw mit Anhänger	Busse	Lkw ohne Anhänger	Lkw mit Anhänger	Sattel- züge	Sonstige Kfz
	Mrd. Fzgkm								
BAB	0,13	12,61	1,99	0,80	0,13	1,47	4,05	6,90	0,23
Bundesstr. außerorts	0,20	2,29	0,31	0,08	0,02	0,16	0,20	0,72	0,01
Bundesstr. innerorts	0,10	0,75	0,08	0,05	0,01	0,07	0,04	0,14	0,01
Landesstr. außerorts	0,31	1,23	0,13	0,04	0,01	0,06	0,03	0,13	0,00
Landesstr. innerorts	0,16	0,54	0,07	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,00
Kreisstr. außerorts	0,18	0,66	0,09	0,03	0,00	0,04	0,02	0,09	0,00
Kreisstr. innerorts	0,07	0,24	0,03	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00
Sonst. Str. außerorts	0,13	0,99	0,11	0,02	0,03	0,13	0,13	0,29	0,00
Sonst. Str. innerorts	0,30	1,45	0,17	0,08	0,03	0,07	0,02	0,04	0,00
Insgesamt	1,59	20,75	2,96	1,11	0,24	2,04	4,51	8,33	0,26

Tab. 74: Inlandsfahrleistung ausländischer Kfz 2014 gegliedert nach Straßenklasse, Ortslage und Fahrzeugart

Straßen- klasse/ Ortslage	Motor. Zweiräder	Pkw	Liefer- wagen	Pkw mit Anhänger	Busse	Lkw ohne Anhänger	Lkw mit Anhänger	Sattel- züge	Sonstige Kfz
	Mrd. Fzgkm								
BAB	1,72	151,85	17,10	4,44	0,48	5,63	7,27	9,75	1,74
Bundesstr. außerorts	1,68	94,55	9,09	1,87	0,48	3,30	1,46	2,93	0,40
Bundesstr. innerorts	0,80	36,81	2,63	2,58	0,34	2,27	0,99	1,17	0,30
Landesstr. außerorts	2,66	73,72	4,90	1,56	0,62	1,97	0,53	1,25	0,18
Landesstr. innerorts	1,47	39,65	2,94	0,64	0,38	1,05	0,28	0,32	0,41
Kreisstr. außerorts	1,61	39,62	2,77	0,58	0,29	1,09	0,39	0,65	0,17
Kreisstr. innerorts	0,69	19,49	1,34	0,46	0,25	0,67	0,16	0,22	0,11
Sonst. Str. außerorts	1,03	54,09	3,44	0,72	0,80	2,34	0,66	1,52	0,20
Sonst. Str. innerorts	4,23	55,65	4,60	0,82	0,68	2,03	0,36	0,11	0,05
Insgesamt	15,89	565,43	48,82	13,67	4,31	20,35	12,11	17,91	3,54

Tab. 75: Inlandsfahrleistung inländischer Kfz 2014 gegliedert nach Straßenklasse, Ortslage und Fahrzeugart

## Schriftenreihe

### Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

#### Unterreihe „Verkehrstechnik“

## 2014

V 238: Optimierung der Arbeitsprozesse im Straßenbetriebsdienst – Sommerdienst

Schmauder, Jung, Paritschkow € 19,00

V 239: Dynamische Messung der Griffigkeit von Fahrbahnmarkierungen

Steinauer, Oeser, Kemper, Schacht, Klein € 16,00

V 240: Minikreisverkehre – Ableitung ihrer Einsatzbereiche und Einsatzgrenzen

Baier, Leu, Klemps-Kohnen, Reinartz, Maier, Schmotz € 23,50

V 241: Rastanlagen an BAB – Verbesserung der Auslastung und Erhöhung der Kapazität durch Telematiksysteme

Kleine, Lehmann, Lohoff, Rittershaus € 16,50

V 242: Bordsteinkanten mit einheitlicher Bordhöhe und Bodenindikatoren an Überquerungsstellen

Boenke, Grossmann, Piazzolla, Rebstock, Herrnsdorf, Pfeil € 20,00

V 243: Nutzen und Kosten von Verkehrsbeeinflussungsanlagen über den gesamten Lebenszyklus

Balmberger, Maibach, Schüller, Dahl, Schäfer € 17,50

V 244: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2013

Fitschen, Nordmann € 28,50

V 245: Überprüfung der Befahrbarkeit innerörtlicher Knotenpunkte mit Fahrzeugen des Schwerlastverkehrs

Friedrich, Hoffmann, Axer, Niemeier, Tengen, Adams, Santel  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 246: Auswirkungen von Lang-Lkw auf die Verkehrssicherheit in Einfahrten auf Autobahnen

Kathmann, Roggendorf, Kemper, Baier  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 247: Befahrbarkeit plangleicher Knotenpunkte mit Lang-Lkw

Lippold, Schemmel  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 248: Verkehrsnachfragewirkungen von Lang-Lkw – Grundlagentermittlung

Burg, Röhling  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

## 2015

V 249: Auswirkungen von Querschnittsgestaltung und längsgerichteten Markierungen auf das Fahrverhalten auf Landstraßen

Schlag, Voigt, Lippold, Enzfelder  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 250: Befahrbarkeit spezieller Verkehrsanlagen auf Autobahnen mit Lang-Lkw

Lippold, Schemmel  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 251: Einsatzbereiche und Einsatzgrenzen von Straßenumgestaltungen nach dem „Shared Space“-Gedanken  
Baier, Engelen, Klemps-Kohnen, Reinartz € 18,50

V 252: Standortkataster für Lärmschutzanlagen mit Ertragsprognose für potenzielle Photovoltaik-Anwendungen

Gündra, Barron, Henrichs, Jäger, Höfle, Marx, Peters, Reimer, Zipf € 15,00

V 253: Auswirkungen von Lang-Lkw auf die Sicherheit und den Ablauf des Verkehrs in Arbeitsstellen

Baier, Kemper  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 254: Beanspruchung der Straßeninfrastruktur durch Lang-Lkw

Wellner, Uhlig  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 255: Überholen und Räumen – Auswirkungen auf Verkehrssicherheit und Verkehrsablauf durch Lang-Lkw

Zimmermann, Riffel, Roos  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 256: Grundlagen für die Einbeziehung der sonstigen Anlagenteile von Straßen in die systematische Straßenerhaltung als Voraussetzung eines umfassenden Asset Managements

Zander, Birbaum, Schmidt  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 257: Führung des Radverkehrs im Mischverkehr auf innerörtlichen Hauptverkehrsstraßen

Ohm, Fiedler, Zimmermann, Kraxenberger, Maier, Hantschel, Otto € 18,00

V 258: Regionalisierte Erfassung von Straßenwetter-Daten

Holldorb, Streich, Uhlig, Schäufole € 18,00

V 259: Berücksichtigung des Schwerverkehrs bei der Modellierung des Verkehrsablaufs an planfreien Knotenpunkten

Geistefeldt, Sievers  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 260: Berechnung der optimalen Streudichte im Straßenwinterdienst

Hausmann € 15,50

V 261: Nutzung von Radwegen

in Gegenrichtung – Sicherheitsverbesserungen  
Alrut, Bohle, Busek € 16,50

V 262: Verkehrstechnische Optimierung des Linksabbiegens vom nachgeordneten Straßennetz auf die Autobahn zur Vermeidung von Falschfahrten

Maier, Pohle, Schmotz, Nirschl, Erbsmehl € 16,00

V 263: Verkehrstechnische Bemessung von Landstraßen – Weiterentwicklung der Verfahren

Weiser, Jäger, Riedl, Weiser, Lohoff € 16,50

V 264: Qualitätsstufenkonzepte zur anlagenübergreifenden Bewertung des Verkehrsablaufs auf Außerortsstraßen

Weiser, Jäger, Riedl, Weiser, Lohoff € 17,00

V 265: Entwurfstechnische Empfehlungen für Autobahntunnelstrecken

Bark, Kutschera, Resnikow, Baier, Schuckliß  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 266: Verfahren zur Bewertung der Verkehrs- und Angebotsqualität von Hauptverkehrsstraßen

Baier, Hartkopf € 14,50



V 267: Analyse der Einflüsse von zusätzlichen Textanzeigen im Bereich von Streckenbeeinflussungsanlagen  
Hartz, Saighani, Eng, Deml, Barby  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 268: Motorradunfälle – Einflussfaktoren der Verkehrsinfrastruktur  
Hegewald, Fürneisen, Tautz  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

## 2016

V 269: Identifikation von unfallauffälligen Stellen motorisierter Zweiradfahrer innerhalb geschlossener Ortschaften  
Pohle, Maier € 16,50

V 270: Analyse der Auswirkungen des Klimawandels auf den Straßenbetriebsdienst (KliBet)  
Holldorb, Rumpel, Biberach, Gerstengarbe, Österle, Hoffmann € 17,50

V 271: Verfahren zur Berücksichtigung von Nachhaltigkeitskriterien bei der Ausschreibung von Elementen der Straßeninfrastruktur  
Offergeld, Funke, Eschenbruch, Fandrey, Röwekamp  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 272: Einsatzkriterien für Baubetriebsformen  
Göttgens, Kemper, Volkenhoff, Oeser, Geistefeldt, Hohmann € 16,00

V 273: Autobahnverzeichnis 2016  
Kühnen € 25,50

V 274: Liegedauer von Tausalzen auf Landstraßen  
Schulz, Zimmermann, Roos € 18,00

V 275: Modellversuch für ein effizientes Störfallmanagement auf Bundesautobahnen  
Grah, Skottke  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 276: Psychologische Wirkung von Arbeitsstellen auf die Verkehrsteilnehmer  
Petzoldt, Mair, Krems, Roßner, Bullinger € 30,50

V 277: Verkehrssicherheit in Einfahrten auf Autobahnen  
Kathmann, Roggendorf, Scotti  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 278: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2014  
Fitschen, Nordmann € 30,50

V 279: HBS-konforme Simulation des Verkehrsablaufs auf Autobahnen  
Geistefeldt, Giuliani, Busch, Schendzielorz, Haug, Vortisch, Leyn, Trapp € 23,00

## 2017

V 280: Demografischer Wandel im Straßenbetriebsdienst – Analyse der möglichen Auswirkungen und Entwicklung von Lösungsstrategien  
Pollack, Schulz-Ruckriegel € 15,50

V 281: Entwicklung von Maßnahmen gegen Unfallhäufungsstellen – Weiterentwicklung der Verfahren  
Maier, Berger, Kollmus € 17,50

V 282: Aktualisierung des Überholmodells auf Landstraßen  
Lippold, Vettors, Steinert € 19,50

V 283: Bewertungsmodelle für die Verkehrssicherheit von Autobahnen und von Landstraßenknotenpunkten  
Bark, Krähling, Kutschera, Baier, Baier, Klemps-Kohnen, Schuckließ, Maier, Berger € 19,50

V 284: Berücksichtigung des Schwerverkehrs bei der Modellierung des Verkehrsablaufs an planfreien Knotenpunkten  
Geistefeldt, Sievers  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 285: Praxisgerechte Anforderungen an Tausalz  
Kamptner, Thümmeler, Ohmann  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 286: Telematisch gesteuertes Kompaktparken – Grundlagen und Entwicklung  
Kleine, Lehmann € 16,50

V 287: Werkzeuge zur Durchführung des Bestandsaudits und einer erweiterten Streckenkontrolle  
Bark, Kutschera, Resnikow, Follmann, Biederbick € 21,50

V 288: Überholungen von Lang-Lkw - Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit und den Verkehrsablauf  
Roos, Zimmermann, Köhler  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 289: Verkehrsqualität an verkehrsunabhängig gesteuerten und koordinierten Lichtsignalanlagen  
Geistefeldt, Giuliani, Vieten, Dias Pais in Vorbereitung

V 290: Fahrleistungserhebung 2014 – Inländerfahrleistung  
Bäumer, Hautzinger, Pfeiffer, Stock, Lenz, Kuhnimhof, Köhler € 19,00

V 291: Fahrleistungserhebung 2014 – Inlandsfahrleistung und Unfallrisiko  
Bäumer, Hautzinger, Pfeiffer, Stock, Lenz, Kuhnimhof, Köhler € 18,50

Fordern Sie auch unser kostenloses Gesamtverzeichnis aller lieferbaren Titel an! Dieses sowie alle Titel der Schriftenreihe können Sie unter der folgenden Adresse bestellen:

Fachverlag NW in der Carl Schünemann Verlag GmbH  
Zweite Schlachtpforte 7 · 28195 Bremen  
Tel. +(0)421/3 69 03-53 · Fax +(0)421/3 69 03-63

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

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