



## Gliederung:

<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>3</b>
<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>3</b>
<b>1. AFZS-Anwendungen im VBB.....</b>	<b>4</b>
1.1 Zielsetzung .....	4
1.2 Anwendungsfelder .....	5
1.3 Methodische und statistische Anforderungen .....	8
1.3.1 Übersicht .....	8
1.3.2 Statistische Qualität von AFZS-Daten .....	8
1.3.3 Messfahrtenplanung .....	11
1.3.4 Stichproben- und Ausrüstungsumfang .....	14
1.3.5 Zufällige Auswahl der Messfahrten .....	18
1.3.6 Disposition der Messfahrten im Fahr- bzw. Umlaufplan .....	19
1.3.7 Kontrolle und Korrektur der Qualität der durchgeführten Messfahrten .....	19
1.3.8 Vorgaben zur Messgenauigkeit.....	22
1.3.9 Saldenausgleich und Ausschluss negativer Besetzung und negativer Durchfahrer .....	22
1.3.9.1 Allgemeine Anforderungen.....	22
1.3.9.2 Verbindliche Vorgaben für die Anwendung im VBB .....	24
1.3.10 Plausibilitätsprüfungen und Korrekturen .....	25
1.3.11 Hochrechnung.....	26
1.4 Anwendungskonzept .....	27
<b>2. Konzept zur AFZS-Integration im VBB .....</b>	<b>29</b>
2.1 Datenintegration auf Basis des VDV-Datenmodells.....	29
2.2 Aufbau- und Ablauforganisation.....	31
2.3 Methodik zum AFZS-Einsatz in Verkehrserhebungen.....	32
2.4 Verwendung von AFZS-Daten in RES .....	35
2.4.1 Übersicht zu den Verfahren .....	35
2.4.2 Bedingungen zur Verwendung von Daten aus manuellen Zählungen.....	37
2.4.3 Bedingungen bei der Verknüpfung von Daten.....	38
<b>3. Zertifizierungskonzept .....</b>	<b>41</b>
3.1 Nachweisführung zur Einhaltung der Messgenauigkeit .....	41
3.1.1 Erstabnahme .....	41
3.1.2 Periodische Rezertifizierung .....	41
3.2 Systemabnahme von AFZS-Hintergrundsystemen .....	45
3.3 Statistische Nachweisführung AFZS-Daten .....	45
3.3.1 Zielsetzung .....	45
3.3.2 Erfüllung der Stichprobe im heterograden Fall nach Anzahl der Zählfahrten .....	45
3.3.3 Zufällige Auswahl der Messfahrten .....	46
3.3.4 Stichprobenfehler zur statistischen Maßzahl Mittelwert .....	47
<b>Anlagenverzeichnis.....</b>	<b>48</b>

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Übersicht aktuelle Standards
-----------	------------------------------

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Aspekte zum Einsatz von AFZS .....	5
Abbildung 2	Übersicht der statistischen Anforderungen .....	8
Abbildung 3	Struktur statistischer Fehler .....	9
Abbildung 4	Struktur der Messfahrtenplanung aufgrund geplanter Disposition.....	12
Abbildung 5	Struktur der Messfahrtenplanung aufgrund zufälliger Disposition .....	14
Abbildung 6	Stichproben- und Ausrüstungsumfang.....	15
Abbildung 7	Zufällige Auswahl der Messfahrten .....	18
Abbildung 8	Monitoring.....	20
Abbildung 9	Anwendungskonzept.....	28
Abbildung 10	AFZS-Konfiguration mit Onboard-Ortung und Zuordnung zum Fahrplan .....	30
Abbildung 11	AFZS-Konfiguration bei externer Zuordnung zum Fahrplan.....	30
Abbildung 12	Vergleich Struktur Sollfahrten mit Messfahrten .....	46

# 1. AFZS-Anwendungen im VBB

## 1.1 Zielsetzung

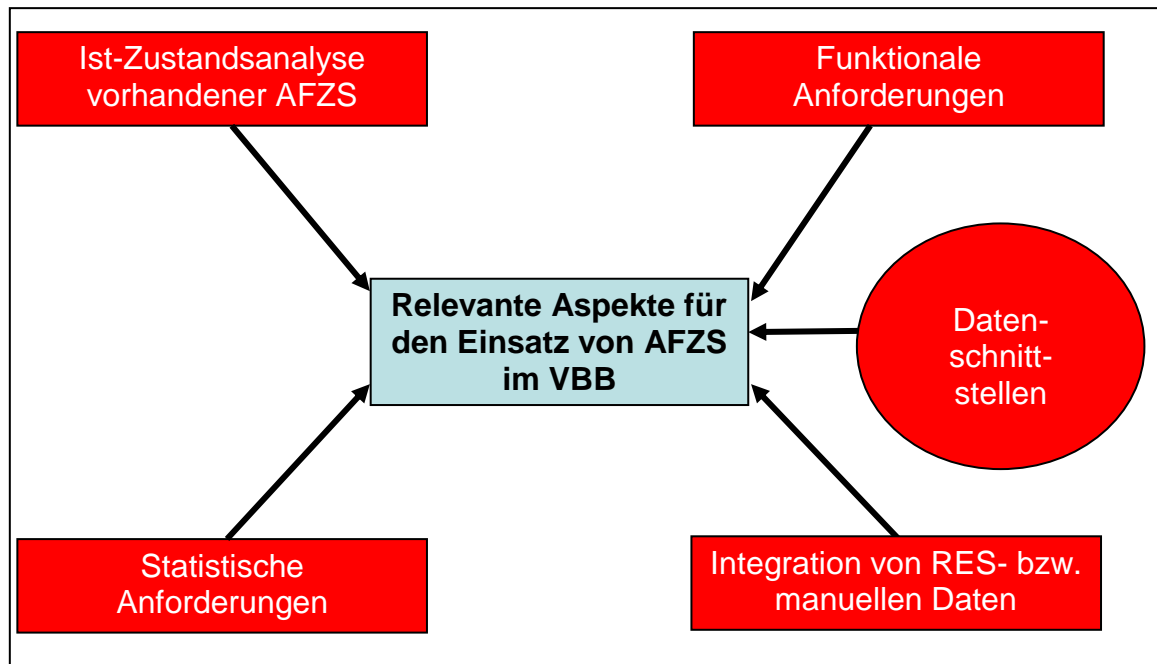
Der Verkehrsverbund Berlin-Brandenburg (VBB) beabsichtigt, die Anwendung von automatischen Fahrgastzählssystemen (AFZS) für die Ermittlung von Daten für die Verwendung im Rahmen der Einnahmenaufteilung zu ermöglichen und dafür einheitliche methodische und technische Rahmenbedingungen zu schaffen. Dazu wurden die Ausgangsbedingungen bei allen Unternehmen, die bereits AFZS anwenden sowie bei den Verkehrsunternehmen, die eine Anwendung von AFZS planen, erfasst. Das vorliegende Konzept zur Anwendung von AFZS im VBB aus dem Jahr 2011 berücksichtigt diese Bedingungen sowohl hinsichtlich der Investitionssicherheit als auch im Sinne einer einheitlichen Methodik für die Ermittlung von Daten aus AFZS für die Einnahmenaufteilung.

Diese bisherige bestätigte Fassung wurde nunmehr überarbeitet und aktualisiert. Dabei wurden insbesondere die aus der Zusammenfassung und Überarbeitung der bisherigen VDV-Schriften 457 und 458 in einer neuen VDV-Schrift 457 Version 2.0 „Handlungsempfehlungen zur Anwendung von AFZS im öffentlichen Personenverkehr“ resultierenden Veränderungen berücksichtigt. Außerdem erfolgte eine redaktionelle Überarbeitung des Systemkonzeptes, um insbesondere Überschneidungen zu den Anlagen zu vermeiden. Damit wird im Teil Systemkonzept vor allem bei mathematisch-statistischen Ansätzen und Spezifikationen auf die dezidierten Aussagen in den Anlagen verwiesen.

Die aus automatischen Fahrgastzählssystemen zu generierenden Daten sollen – sofern die betroffenen Verkehrsunternehmen dies wünschen und die dazu erforderlichen Testate dem VBB vorgelegt werden können – für alle relevanten Anwendungen im VBB einschließlich Einnahmenaufteilung zur Verfügung stehen und insbesondere auch innerhalb von Verkehrserhebungen mit Zählung und Befragung anstelle der bisherigen manuellen Zählungen verwendet werden. Eine genaue Definition erfolgt im **Abschnitt 2.3**.

Dieses nunmehr inhaltlich und redaktionell überarbeitete VBB-einheitliche AFZS-Systemkonzept soll nach seiner Bestätigung allen Neu- und Ersatzbeschaffungen von automatischen Zählssystemen bei allen Verkehrsunternehmen im VBB verbindlich zugrunde gelegt werden, sofern die automatisch gewonnenen Zähldaten für die Einnahmenaufteilung verwendet werden sollen. Das Gleiche gilt für alle Prozesse zur Abnahme, Testierung und Zertifizierung von AFZS bzw. von AFZS-Daten. Daraus ergibt sich ein außerordentlich komplexer Regelungsbedarf für alle methodischen, technischen und organisatorischen Anforderungen und Vorgaben, die im VBB ganzheitlich und revisionssicher zur Anwendung kommen sollen. Innerhalb der Erhebung zur systematischen linien- und/oder netzweiten Datenermittlung für Verkehrs-, Kapazitäts- und Betriebsplanung, für Linienerechnungen und für Abrechnungszwecke kommt der Anwendung von AFZS-Daten für die Einnahmenaufteilung eine besondere Bedeutung zu.

Im VBB steht weiterhin die Aufgabe, teilweise vorhandene Lösungen für AFZS zu berücksichtigen und zu sichern, dass eine verbundeinheitliche Datenplattform für AFZS-Daten und weitere, aus anderen Systemen generierte Daten, hier vor allem von Daten aus dem Reisendenerfassungssystem der DB AG (RES), sofern diese künftig aus der Anwendung von AFZS in RES Baustein 1 gewonnen werden, implementiert werden kann. Ziel ist die Verfügbarkeit einer statistisch einheitlichen Plattform für die Verwendung von Daten aus vorhandenen bzw. neu zu beschaffenden AFZS, RES und manuellen Zählungen. Insofern ergeben sich die in **Abbildung 1** dargestellten Aspekte für den Einsatz von AFZS im VBB.



**Abbildung 1** Aspekte zum Einsatz von AFZS

Die Entscheidung zur Anwendung von AFZS im VBB wird im Wesentlichen bestimmt von den durch bzw. mit AFZS gewinnbaren Ergebnissen, ihrer Genauigkeit sowie von den investiven und laufenden Kosten für die Implementierung und den Betrieb solcher Systeme im Vergleich oder in Kombination mit konventionellen manuellen Erhebungsverfahren.

Auf die Fragen zu den aus AFZS gewinnbaren Daten und ihrer statistischen Qualität wird im weiteren Verlauf der Darstellungen vertiefend eingegangen.

Wesentlich ist jedoch darauf zu verweisen, dass Daten aus AFZS nicht Ergebnisaussagen aus Verkehrserhebungen mit Befragungen ersetzen können. Hier ist insbesondere auf Merkmale wie Wege-Ketten, Quelle-Ziel-Beziehungen, Anteilswerte nach Tarifarten und Nutzungshäufigkeiten zu verweisen, deren Träger der Fahrgast ist und die nur durch Befragung zu erfassen sind.

Deshalb ist der komplementäre Zusammenhang beider Erhebungsformen – speziell mit Blick auf die Anwendung für die Einnahmenaufteilung im VBB – zu betonen. Eine dezidierte Betrachtung erfolgt im **Abschnitt 3.3**.

## 1.2 Anwendungsfelder

Im VBB stellt die AFZS-Anwendung im Sinne dieser Regelungen vor allem ab auf die Verwendung von Daten für

- die Einnahmenaufteilung
- die Kapazitäts- und Verkehrsplanung für Verkehrsunternehmen und Aufgabenträger (mit allen hieraus zu berücksichtigenden Anforderungen zur Verwendung der Daten hinsichtlich Vertraulichkeitsschutz, Wettbewerb)
- Linienerfolgsrechnungen/Verkehrsleistungsfinanzierungsverträge

- die automatische Erfassung von Verkehrsmengen und daraus abgeleitete Berechnung von Verkehrsleistungen im Rahmen der periodischen VBB-Verkehrserhebungen mit Zählung und Befragung, einschließlich der Zusammenführung von manuellen Befragungs- und automatischen Zählwerten
- die Fortschreibung von Verkehrserhebungen bzw. der Einnahmenaufteilung (optional)

Die Verwendung der Daten aus den AFZS durch die VBB GmbH unterliegt – wie die Verwendung aller Daten aus VBB-Verkehrserhebungen – den Regelungen des § 7 (Datenschutz, Datenverwertung und -weitergabe) der „Vereinbarung über die gemeinsame Durchführung von Verkehrserhebungen und die Verwendung der Daten“ (Datenvereinbarung) vom 13. September 2007.

Die Daten aus den AFZS müssen hinsichtlich ihrer Merkmalsausprägungen so bereitgestellt werden, dass in den AFZS-Hintergrundsystemen für alle definierten Merkmale erwartungstreue Schätzwerte erzeugt werden können.

Damit müssen von den AFZS die originären Merkmale

- Einsteiger ( $P \geq 1,20$  m, ggf. zusätzlich P gesamt)
- Aussteiger ( $P \geq 1,20$  m, ggf. zusätzlich P gesamt)

als Linienbeförderungsfälle (LBF) in den Merkmalsrealisationen

- Unternehmen insgesamt
- Differenzierung nach Unternehmensbereichen
- Differenzierung nach Linien
- Differenzierung nach Haltestellen, parametrisierbaren Haltestellenabschnitten bzw. weiteren Verkehrsräumen in Abhängigkeit von der vorhandenen Verfügbarkeit der Soll-Daten und Datenversorgung für Anwendungen außerhalb der EAV-Erhebungen, wo die Erhebungsräume einheitlich vorgegeben werden
- Differenzierung nach parametrisierbaren Tages- und Zeitschichten außerhalb von Anwendungen in EAV-Erhebungen, wo die im VBB definierten Zeitschichten zwingend und einheitlich anzuwenden sind

bereitgestellt werden.

Die Einschränkung der originären Merkmale Ein- und Aussteiger auf  $P \geq 1,20$  m ergibt sich aus der Besonderheit, dass Kinder unter 6 Jahren im VBB kostenlos fahren und daher bei der manuellen Zählung zum Zweck der Einnahmenaufteilung nicht berücksichtigt werden. Bei Zählungen mit AFZS werden Kinder unter 6 Jahren hilfsweise über die Körpergröße ausgeschlossen (Höhenklassifikation). Diese Vorgabe gilt für alle ab 01.06.2018 neu beauftragten AFZS; für alle vorhandenen AFZS gilt ein Bestandsschutz. In diesen Fällen sind – sofern das System keine Höhenklassifikation vornehmen kann – Kinder unter 6 Jahren beim Einsatz der AFZS zum Zweck der VBB-Einnahmenaufteilung im Rahmen der Fahrgastbefragung manuell zu zählen und dem Gutachter der VBB-Verkehrserhebung zur Bereinigung der Daten zu übergeben. Verkehrsunternehmen, die für ihre AFZS von diesem Bestandsschutz Gebrauch machen, sind gehalten – abhängig von den technischen Möglichkeiten und der statistischen Belastbarkeit der Zählergebnisse – auf eine baldmöglichste Realisierung der Höhenklassifikation hinzuwirken.

Sofern ein Verkehrsunternehmen die Zählergebnisse für andere Zwecke als die Einnahmenaufteilung verwendet, z.B. für Anreizsysteme im Rahmen von Bruttoverkehrsverträgen, für die Erlöszuscheidung im Rahmen von Tarif- und Vertriebskooperationen usw., kann es erforderlich sein, dass die originären Merkmale Ein- und Aussteiger zusätzlich auch für die Gesamtheit aller selbständig ein- bzw. aussteigenden Personen (P gesamt, unabhängig von der Körpergröße) bereitgestellt werden müssen.

Damit ist der grundsätzliche methodische Anspruch zu sichern bzw. vorbehaltlich jetziger Anwendungen offen zu halten, dass

- Daten für qualitative Merkmale (z. B. Anteilswerte), die nicht aus AFZS gewonnen werden können, auf AFZS-Daten zu Verkehrsmengen bzw. Verkehrsleistungen transformiert
- und
- Daten aus Verkehrserhebungen mit qualitativen Ausprägungen (z. B. Anteilswerte) über Proportionalitätsfaktoren mit quantitativen Daten aus AFZS fortgeschrieben

werden können.

Weiterhin muss gesichert werden, dass manuell gezählte Daten zu Verkehrsmengen für einen Anteil von mittels Zählgeräten nicht erhebbarer Fahrten, wie z. B.

- Fahrten oder Linienvarianten, die von Nachauftragnehmern befahren werden (die nicht mit AFZS ausgestattet sind oder deren Systeme nicht passfähig/zugelassen sind)
- Ruftaxi, Haustürservice, die sich ebenfalls technisch eher nicht zählen lassen

in das AFZS-Hintergrundsystem über eine gesonderte Schnittstelle eingegeben und nach der einheitlichen mathematisch-statistisch gesicherten Methodik geprüft, verarbeitet und hochgerechnet werden können.

Aus statistischer Sicht ist zu beachten, dass aus AFZS-Systemen sowie aus manuellen Zählungen im Rahmen einer Stichprobe generierte Ergebnisse erwartungstreue Schätzwerte sind, die mit einer jeweils definierten Genauigkeit (bestimmt durch den relativen Stichprobenfehler) und Wahrscheinlichkeit (bestimmt durch die Statistische Sicherheit) in der Grundgesamtheit eintreten.

Als Ergebnisse in jeweils definierten raumzeitlichen Einheiten stehen zur Verfügung

- Verkehrsmenge in Personen, gemessen in Linienbeförderungsfällen (LBF) für alle Personen  $\geq 1,20$  m, ggf. zusätzlich auch für alle Personen, unabhängig von der Körpergröße, und
- daraus berechnet die Fahrzeugbesetzung sowie
- unter Hinzuziehung einer Entfernungsmatrix die Verkehrsleistung in Pkm.

Daraus müssen abgeleitet werden können:

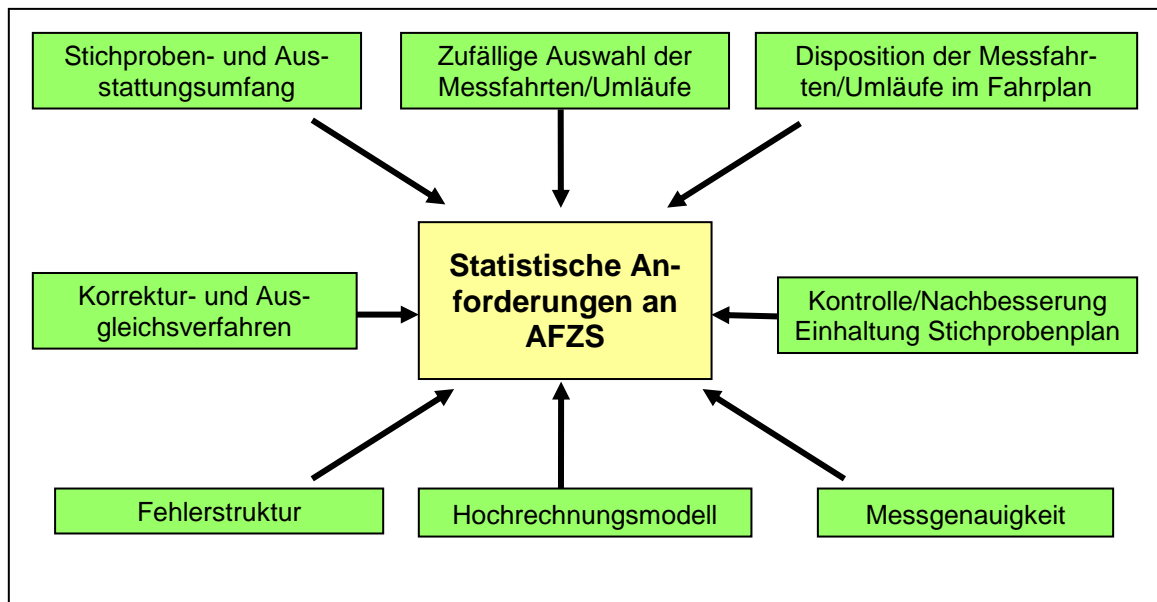
- unmittelbar die mittlere Beförderungsweite je LBF nach einzelnen Linien und aggregiert sowie
- mittelbar, d. h. unter Einbeziehung des durch eine Befragung zu ermittelnden Umsteigefaktors die mittlere Beförderungsweite je Unternehmensbeförderungsfall (UBF).

Deshalb muss das Erhebungssystem sichern, dass die erforderliche statistische Qualität sowohl für die Grundgesamtheit als auch für die einzelnen Merkmale und Verkehrsunternehmen mit Gewissheit erzielt wird. Dies gilt auch für die erforderlichen Hochrechnungen.

### 1.3 Methodische und statistische Anforderungen

#### 1.3.1 Übersicht

Die generelle Übersicht der mathematisch-statistischen Anforderungen für eine AFZS-Anwendung im VBB zeigt **Abbildung 2**.



**Abbildung 2** Übersicht der statistischen Anforderungen

#### 1.3.2 Statistische Qualität von AFZS-Daten

Ein AFZS besitzt drei potenzielle Fehlerquellen. Fehler können somit entstehen

- im technischen Bereich des Systems, z.B. durch Ausfall von Erfassungselementen, Schnittstellen bzw. des Gesamtsystems (**Technische Ausfallrate**)
- im Zählvorgang selbst, in dem z. B. Fahrgäste durch die Sensoren nicht oder ungenau erfasst werden (**Messfehler**)
- bei der Stichprobenplanung im heterograden Fall, in dem beispielsweise die Fehler bestimmenden Parameter falsch oder gar nicht festgelegt bzw. die Stichprobenumfänge

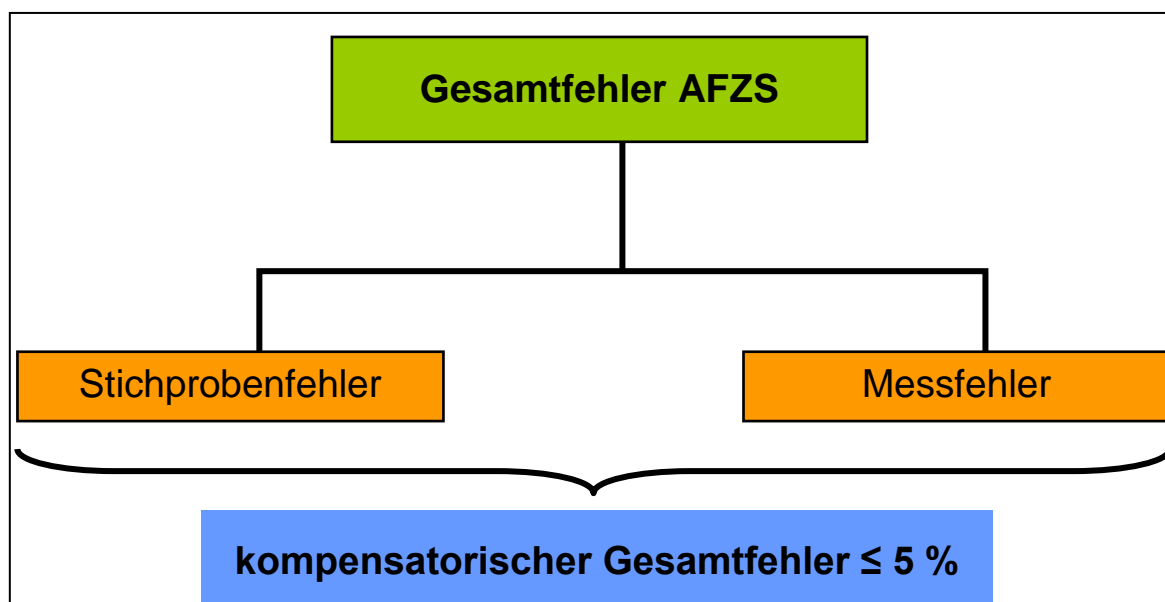


nicht sachgerecht bestimmt werden oder bei der Umsetzung der Stichprobe gegen die Regeln einer Zufallsauswahl und einer zur Grundgesamtheit proportionalen Auswahl verstoßen wird (**Stichprobenfehler**)

Neben diesen quantitativ bestimmbar Fehlerquellen existieren weitere in Form von Zuordnungsproblemen (Linie/Kurs, Ortung usw.).

Es ist dabei das Ziel zu verfolgen, dass die AFZS im Kontext mit einem entsprechenden Hintergrundsystem so zu ertüchtigen sind, dass die technisch bedingte Ausfallrate dauerhaft auf einem so niedrigen Niveau zu halten ist, dass von ihr keine negativen Wirkungen auf die erforderliche Datenqualität ausgeht. Hierzu wird insbesondere auf Anlage 1 zur VDV-Schrift 457 2.0 „Checkliste Qualitätsmanagement laufender Betrieb AFZS“ verwiesen.

Für eine Bewertung der aus statistischer Sicht relevanten Fehler bei AFZS-Verkehrserhebungen ist festzuhalten, dass in einem AFZS neben dem Stichprobenfehler ein Messfehler besteht. Der Zusammenhang ergibt sich aus **Abbildung 3**.



**Abbildung 3** Struktur statistischer Fehler

Die nachfolgenden Darstellungen verstehen sich als generelle mathematische Herleitung des Zusammenhanges zwischen einem Stichprobenfehler zur statistischen Maßzahl Mittelwert und einem Messfehler im Sinne eines kompensatorischen Gesamtfehlers. Für Ausschreibungen im VBB sind gegenüber den AFZS-Anbietern ausdrücklich die Vorgaben zur Messgenauigkeit nach **Abschnitt 1.3.8** zu verwenden. Damit ist herauszustellen, dass das aus der Definition eines kompensatorischen Gesamtfehlers resultierende größere Fehlerintervall zur Messgenauigkeit für die Schranke a) (siehe **Abschnitt 1.3.8**) keine Reduzierung der Anforderung für den AFZS-Anbieter darstellt. Für die Messgenauigkeit der AFZS in den Fahrzeugen gelten diese Anforderungen unverändert.

Deshalb kann für Abnahmen von AFZS durch die Auftraggeber das Intervall des kompensatorischen Gesamtfehlers nur für Anwendungen außerhalb der Einnahmeaufteilung ausgenutzt werden.

Davon unbenommen ist auf den Zusammenhang zwischen dem Stichprobenfehler zur statistischen Maßzahl Mittelwert und dem AFZS-Ausstattungsumfang zu verweisen.

Bei einer Einführung ist deshalb zu berücksichtigen, dass die Vorgaben zur statistischen Qualität der Zähldaten aus AFZS nicht nur auf den Messfehler abstellen dürfen, sondern die Existenz des Stichprobenfehlers zur statistischen Maßzahl Mittelwert sowie dessen Verknüpfung mit dem Messfehler zwingend zu berücksichtigen ist. Andererseits gilt, dass auch manuelle Zählungen Mess- bzw. Zählfehler enthalten, die jedoch nicht ermittelt und ausgewiesen werden.

Bei Anwendung von AFZS ist davon auszugehen, dass die statistische Maßzahl „Mittlere Zahl der Fahrgäste je Fahrt/Haltestelle“ als erwartungstreuer Schätzwert jeweils einen Fehleranteil aus der Messgenauigkeit (zufälliger Messfehler) und aus dem Stichprobenfehler zur statistischen Maßzahl Mittelwert enthält. Systematische Messfehler sind grundsätzlich auszuschließen.

Aus Untersuchungen zu Grenzfällen des Fehleransatzes und der Wahrscheinlichkeit ihres Eintretens ergibt sich das folgende Fazit:

Bei Zähldaten aus AFZS ergibt sich aus der Art der (multiplikativen) Verknüpfung der Größen relativer Stichprobenfehler und Messfehler eine Addition zu einem Gesamtfehler. Im Falle von hier anzunehmenden unabhängigen Größen ergibt sich aus dem Gaußschen Fehlerfortpflanzungsgesetz eine quadratische Addition mit kompensatorischem Effekt. Das bedeutet, dass sich z. B. ein relativer Stichprobenfehler in Höhe von 3 % bzw. 0,03 und ein vorhandener zufälliger Messfehler von 2 % bzw. 0,02 zu einem kompensatorischen Gesamtfehler von 3,6 % bzw. 0,036 addieren.

Dieser Gesamtfehler – unter besonderer Berücksichtigung des Stichprobenfehlers – darf bei einer Systemabnahme maximal in der Nähe der aus manuellen Erhebungen akzeptierten und üblichen Größen (d. h. 5 %) liegen. Dazu gelten die vorgenannten Bedingungen und Einschränkungen.

Die Sicherung dieser Qualitätsvorgaben für die Messgenauigkeit muss erfolgen durch:

- periodische bzw. ereignisbezogene Rezertifizierung der Messgenauigkeit
- Berechnung und Umsetzung des statistisch notwendigen Stichprobenumfanges auf Basis der definierten Qualitätsparameter, der tatsächlichen Relativen Streuung zum Mittelwert der Einsteiger und Verwendung der jeweiligen aktuellen Bezugsgesamtheit in Abhängigkeit von den Aggregations- bzw. Nachweisebenen (Verkehrsunternehmen, Teilnetz oder Linie- bzw. Linienabschnitt)

Mit dem Einsatz von AFZS ist die Generierung erwartungstreuer Schätzwerte mit unteren und oberen Vertrauensgrenzen für statistische Maßzahlen der Merkmale P und Pkm zu gewährleisten.

Als **statistische Qualitätsparameter** sind zu verwenden:

- Statistische Sicherheit  $\geq 95 \%$  also

$$S \geq 0,95 \text{ (bzw. 95 \%)}$$

- relativer Fehler der zu schätzenden Stichprobenmaßzahlen  $\leq 5 \%$ , also

$$d_r \leq 0,05 \text{ (bzw. 5 \%)}$$

- Relative Streuung (Variationskoeffizient) als Verhältnis der Streuung zum Mittelwert

Die Relative Streuung (V) ist unter Bezug auf die Standardabweichung/Mittelwert P (Einsteiger) aus einer Zählung zu verwenden. Dieser Wert ist entweder a priori durch eine hinsichtlich Größe und Schichtung nachzuweisende Pilotstichprobe statistisch gesichert zu berechnen, aus gegebenenfalls vorhandenen statistischen Untersuchungen zu übernehmen oder abzuschätzen. Liegen keine quantifizierten Aussagen vor, hat sich aus durchgeführten Vergleichszählungen ein Wert von  $V = 100\%$  bzw. 1,0 als belastbar bewiesen. Eine Verifizierung des Variationskoeffizienten nach Abschluss der Zählung auf Basis der Berechnung der Kenngrößen Standardabweichung und Mittelwerte P (Einsteiger) muss zwingend erfolgen.

Dazu muss sichergestellt werden, dass die Relative Streuung neben anderen statistischen Kenngrößen (relativer Stichprobenfehler) als statistische Maßzahl aus dem AFZS-Hintergrundsystem zu ermitteln und für die Stichprobenplanungen zum AFZS-Einsatz innerhalb der Messfahrtenplanung zu verwenden ist.

Die detaillierten Regelungen zur Testierung der Messgenauigkeit im VBB ergeben sich aus **Abschnitt 1.3.8** sowie aus **Anlage 1** „Regelkatalog zur Prüfung und Testierung der Messgenauigkeit“. Auf diese wird für alle detaillierten Aussagen verwiesen.

### 1.3.3 Messfahrtenplanung

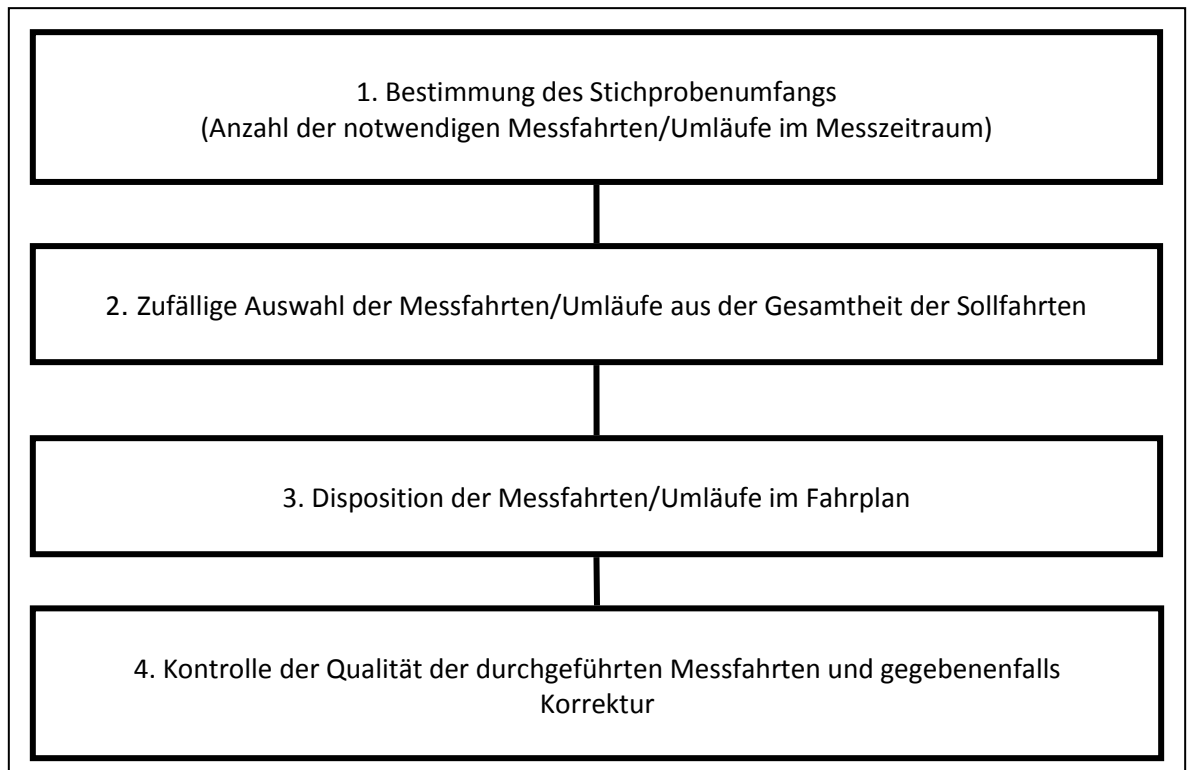
Analog zur VDV-Schrift 457 Version 2.0 werden die mathematisch-statistischen Anforderungen für den ÖPNV und den SPNV vereinheitlicht und harmonisiert. Bei der Methodik zum Einsatz bzw. zur Messfahrtenplanung wird unterschieden nach den Kriterien einer

- geplanten Disposition (Messfahrtenplanung aufgrund geplanter Disposition), die überwiegend im Stadt- und Regionalbusverkehr zur Anwendung kommt  
  
sowie einer
- zufälligen Disposition (Messfahrtenplanung auf Basis zufälliger Disposition), die nur gebunden an eine AFZS-Ausstattungsquote von mindestens 40 % (die aus simulativen Untersuchungen ermittelt wurde) zur Anwendung kommen kann. Davon unbenommen gilt für den SPNV die Regelvorgabe für eine Ausstattungsquote von 100 %. Hierzu wird auf **Anlage 5** verwiesen.

#### a) Messfahrtenplanung aufgrund geplanter Disposition

Die Struktur der Messfahrtenplanung aufgrund geplanter Disposition – gebunden an die Voraussetzung, dass eine Disposition von Zählfahrzeugen auf bestimmte Umläufe möglich ist und eine diesbezügliche mathematisch-statistische Stichproben- und Einsatzplanung erfolgt, umfasst vier aufeinander folgende Elemente gemäß **Abbildung 4**.

Für Verbundlösungen ist die Berücksichtigung eines übergeordneten Kontroll-Tools (Vorgabe der statistischen Rahmenbedingungen, Kontrollmöglichkeit der Umsetzung der Vorgaben) zum Zwecke der Einheitlichkeit und des gegenseitigen Vertrauensschutzes im Verbund sinnvoll. Dazu erfolgen weitere Darstellungen im **Kapitel 4**.



**Abbildung 4 Struktur der Messfahrtenplanung aufgrund geplanter Disposition**

Diese 4 Elemente der Messfahrtenplanung können nach zwei Blöcken zusammengefasst werden. Damit ist der in **Abbildung 4** dargestellte Ablauf einmal als

**Block I: Statistische Komponente**

Element 1: Ermittlung des Stichprobenumfangs

Element 2: Zufällige Auswahl der Messfahrten

sowie zum anderen als

**Block II: Verkehrsbetriebliche Umsetzung**

Element 3: Disposition der Messfahrten/Umläufe im Fahrplan

Element 4: Kontrolle/statistisch begründete Korrekturen der Messfahrten

zu interpretieren.

Dieses Konzept einer zufälligen Auswahl und Disposition ergibt sich bei Maßgabe einer 100 %-Ausrüstung der Fahrzeuge mit AFZS auch für den SPNV als Voraussetzung für die Einbeziehung von Zählergebnissen für eine Verwendung im EA-Verfahren. Diese Darstellungen für den Fall einer zufälligen Disposition werden nachfolgend beschrieben.

Davon abweichende Fälle für Anwendungen außerhalb des EA-Verfahrens werden in einem gesonderten Dokument beschrieben.

## b) Messfahrtenplanung aufgrund zufälliger Disposition

Eine Messfahrtenplanung nach zufälliger Disposition kommt zur Anwendung, wenn eine Messfahrtenplanung nach geplanter Disposition gemäß a) nicht eingehalten bzw. realisiert werden kann.

Bei zufälliger Disposition der ausgerüsteten Fahrzeuge auf Umläufe wird kein expliziter Messfahrtenplan vorgegeben, sondern die Fahrzeuge werden ohne Beachtung von Nebenbedingungen der AFZS (damit ausschließlich zufällig) auf Umläufe disponiert und die resultierenden Zähl- daten als Realisierung einer Zufallsstichprobe ausgewertet.

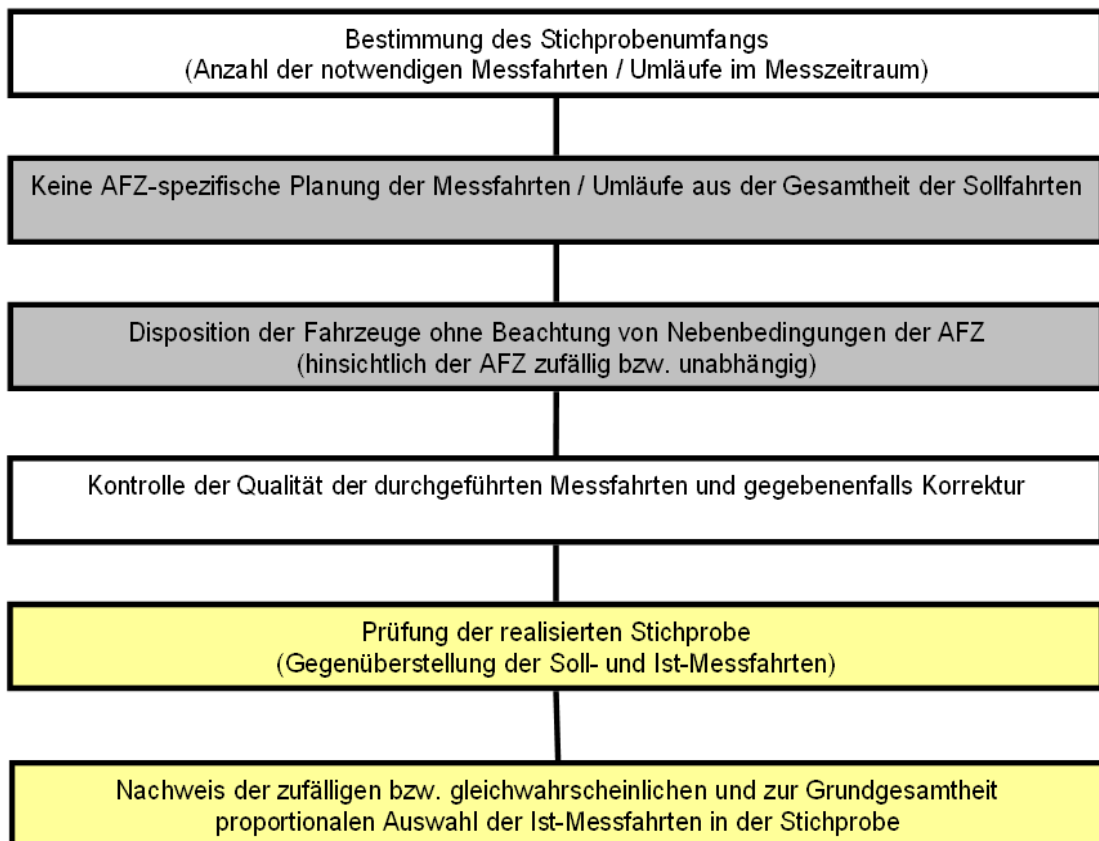
Da damit nicht a priori die Einhaltung von Stichprobenvorgaben gesichert wird, kommen der Sicherung des Ausrüstungsgrades und einer strengen Überwachung des Rücklaufs von Erhebungsdaten große Bedeutung zu.

Hinsichtlich des AFZS-Ausstattungsgrades gilt als Mindestgröße ein Wert von 40 %. Davon unbenommen ist unter Bezug auf **Anlage 5** für den SPNV ein Ausstattungsgrad von 100 % vorgegeben.

Die Berechnung der Anzahl notwendiger Messfahrten, d. h. die Bestimmung des minimalen Stichprobenumfangs, orientiert sich dabei an den Anforderungen zur statistischen Genauigkeit sowie der gewünschten Schichtungsstruktur und unterscheidet sich damit nicht von den Empfehlungen für den Fall der geplanten Disposition.

Bei zufälliger Disposition kann der minimale Stichprobenumfang nicht gezielt in einen Messfahrtenplan umgesetzt werden. Dies bedeutet, dass die minimal nötige Anzahl an Messfahrtenumläufen (statistische Anforderung) durch einen geeigneten – im Normalfall höheren – Ausrüstungsgrad erfüllt werden muss. In der Regel hat dies eine Verbesserung der Erhebungsqualität durch die zusätzlichen Erhebungen für einen großen Anteil der Zugfahrten zur Folge.

Unter Berücksichtigung vorgenannter Bedingungen ergibt sich folgende Struktur der Messfahrtenplanung. Dabei sind die in **Abbildung 5** grau gekennzeichneten Elemente im Vergleich zu a) den beschriebenen Situationen angepasst, während die gelb gekennzeichneten als neue Elemente ergänzt wurden.



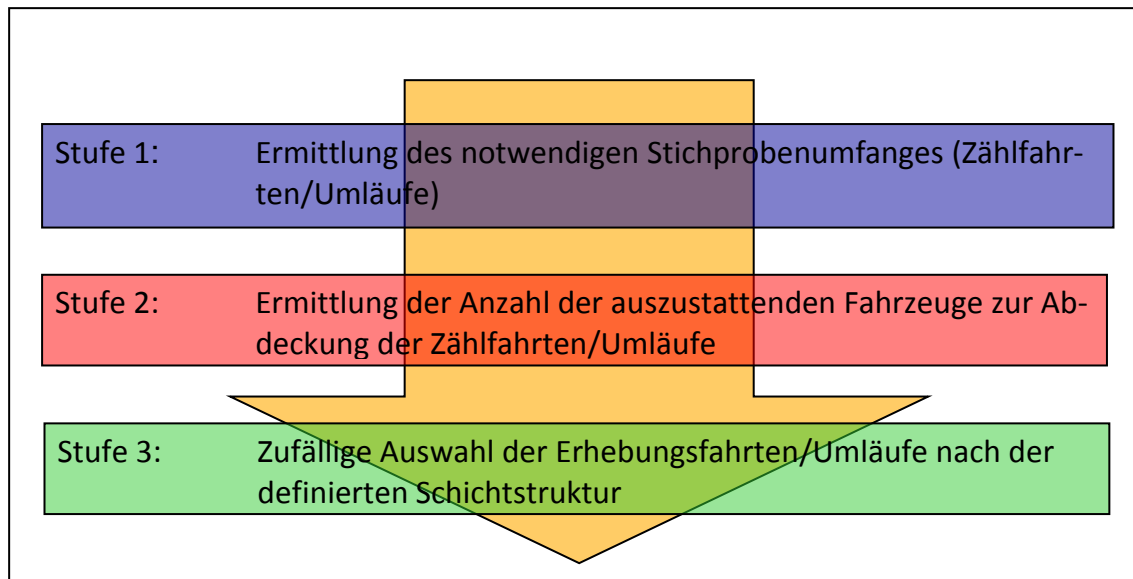
**Abbildung 5 Struktur der Messfahrtenplanung aufgrund zufälliger Disposition**

Diese Übersicht orientiert auf Grundlage des Zugkonzeptes auf die Nachweisebene Fahrt. Im Falle der Anwendung des Wagenkonzeptes muss die Prüfung der realisierten Stichprobe auch auf der Ebene „erhobener Wagen“ erfolgen, insbesondere dann, wenn nicht nachgewiesen werden kann, dass die Wagen zufällig mit gleicher Wahrscheinlichkeit alle Positionen einnehmen können. Die Nachweisführungen zur Stichprobe und zur Zufallsauswahl ergeben sich aus **Abschnitt 3.3**.

#### 1.3.4 Stichproben- und Ausrüstungsumfang

Diese Vorgaben gelten nur für die Fälle einer geplanten Disposition und nicht für den SPNV. Hier wird im Rahmen der aktuellen VBB-Ausschreibungen eine 100 %-Ausrüstung der Fahrzeuge mit AFZS gefordert.

Die statistischen Komponenten zur Planung des Stichproben- und Ausrüstungsumfanges ergeben sich nach den in **Abbildung 6** dargestellten Stufen.



**Abbildung 6 Stichproben- und Ausrüstungsumfang**

#### a) Methodik zur Bestimmung des Stichprobenumfanges

In der Stufe 1 erfolgt die Bestimmung des erforderlichen Stichprobenumfanges  $n$  (Anzahl der Erhebungsfahrten), wobei gilt  $n = f(S, d_r, V)$ . Der Stichprobenfehler  $d_r$  ist, verbunden mit der Statistischen Sicherheit  $S$ , das grundlegende Qualitätsmaß jeder Verkehrserhebung auf Stichprobenbasis, wozu auch AFZS gehören.

Hinzu kommt die Relative Streuung  $V$  als Quotient von Streuung und Mittelwert. Die Bestimmung des Stichprobenumfanges je Linie, also der Anzahl der erforderlichen Messfahrten (bzw. der Umläufe) entsprechend vorgegebener Qualitätsparameter (Statistische Sicherheit, relativer Stichprobenfehler) im Messzeitraum ist für die Messfahrtenplanung von AFZS nach den allgemeinen methodischen Grundsätzen der Stichprobenplanung umzusetzen. Die nachfolgenden Darstellungen sollen lediglich die Grundsätze und wesentlichen Größen der Stichprobenplanung im heterograden Fall veranschaulichen. Eine weitere Detaillierung der Stichprobenplanung erfolgt hier nicht. Diese soll ohnehin nach einem entsprechenden Algorithmus im AFZS-Hintergrundsystem (Tool Messfahrtenplanung) erfolgen. Dazu erfolgen weitere Vorgaben in **Anlage 4**. Die Ermittlung erfolgt allgemein in der Form

$$n = \frac{k^2 \cdot V^2 \cdot N}{k^2 \cdot V^2 + (N - 1) \cdot d_r^2} \quad (1)$$

Hierin sind:

- $n$ : Stichprobenumfang (Anzahl der Fahrten)
- $V$ : Relative Streuung (Quotient Streuung/Maßzahl Mittelwert Bewertung)
- $d_r$ : relativer Stichprobenfehler
- $k$ : Tabellenwert (abhängig von  $S$  = Statistische Sicherheit)
- $N$ : Grundgesamtheit

Die Größen für die Statistische Sicherheit und für den relativen Stichprobenfehler werden einheitlich für alle Anwendungen im VBB definiert und müssen vom Anwender eingegeben werden können.

Wesentlicher Inhalt des ersten Berechnungsschrittes zur Bestimmung des erforderlichen Stichprobenumfangs ist die Abschätzung zu den Streuungen. Hierzu wird auf die Darstellungen in **Abschnitt 1.3.2** verwiesen. Die Kenngröße „Relative Streuung“ soll als Ergebnisgröße aus dem System verwendet bzw. ebenfalls variabel vom Anwender eingegeben werden können. Diese kann zunächst auf Basis von Sekundärdaten aus Verkehrserhebungen entnommen bzw. geschätzt werden, sofern zwischenzeitlich keine strukturellen Änderungen mit Einfluss auf die Verkehrsnachfrage eingetreten sind. Mit dem Vorliegen von statistisch gesicherten Daten zur Standardabweichung als Ergebnisgröße des HGS ist diese tatsächliche Streuung generell in der Form des Variationskoeffizienten zur Berechnung des Stichprobenumfangs zu verwenden.

Bei der Messfahrtenplanung sind notwendige Korrekturen unter Berücksichtigung des Anteils verwertbarer Datensätze aus den Messfahrten, aus dem technischen Einsatzkoeffizienten der Fahrzeuge sowie durch die Verwerfung von Datensätzen in den späteren Prüfverfahren in geeigneter Form zu berücksichtigen. Eine weitere Unsicherheit ergibt sich aus Dispositionsfehlern. Es ist deshalb die berechnete Größe des Stichprobenumfangs durch ein Korrektiv, + 10 % zu erhöhen, welches diese aus praktischer Sicht auftretenden Probleme der Reduzierung von Zählfahrten a priori berücksichtigt.

Weitere detaillierte Aussagen ergeben sich aus **Abschnitt 1.3.8** „Vorgaben zur Messgenauigkeit“ sowie **Anlage 1** „Regelkatalog zur Prüfung und Testierung der Messgenauigkeit“.

## b) Methodik zur Planung der Ausstattungsumfänge für Fahrzeuge

Die Ermittlung der Anzahl der auszustattenden Fahrzeuge in einer zweiten Stufe ist notwendig, um den gemäß **Abschnitt 1.3.4** ermittelten Stichprobenumfang umzusetzen. Das erfolgt gemäß der Formel

$$n(Z) = \frac{n}{F \cdot k(Z)} \quad (2)$$

Hierin sind:

- n(Z) Anzahl der mit AFZS auszurüstenden Fahrzeuge
- n: statistisch notwendige Anzahl der Erhebungsfahrten (Stichprobenumfang)
- F: Anzahl der Zählfahrten, die ein ausgerüstetes Fahrzeug innerhalb des definierten Erhebungszeitraums ausführen kann (Fahrdauer, Ausfallrate usw.)
- k(Z): Einsatzkoeffizient der Zähltechnik (z. B. AFZS-Ausfall, Erzeugung unbrauchbarer Datensätze)

Die unter F zu ermittelnde Anzahl von leistbaren Zählfahrten muss neben den für das Fahrzeug feststehenden Ausfallzeiten (durchschnittliche erfahrungsgemäße bzw. bisher festgestellte Ausfallzeiten) auch die durch die Zähltechnik bedingten Ausfall- und Wartungszeiten des Fahrzeuges berücksichtigen.

Bei der Abschätzung zur Kenngröße k(Z) ist zu berücksichtigen, dass die Zählung erfolgt ist, aber dennoch keine verwertbaren Daten vorliegen, weil in den weiteren Prüfschritten und Ausgleichsverfahren Datensätze verworfen werden müssen. Diese Differenz muss sowohl bei der Stichprobenplanung als auch bei der Planung des Ausstattungsumfanges Beachtung finden.



Dabei soll auf die Heranziehung und Berücksichtigung der nachstehend genannten Kenngrößen orientiert werden.

- Werkstattreserve: Koeffizient zur Berücksichtigung der durchschnittlichen Ausfallhäufigkeit aufgrund technisch bedingter Randbedingungen (Wartung, Reparaturen)
- Betriebsreserve: Koeffizient zur Berücksichtigung betrieblich bedingter Ausfälle der Zählung (operative Änderung des Umlaufplans durch Fahrzeugtausch o. ä., falsche Stellung des Fahrzeugs im Betriebshof, Einsatz im Gelegenheitsverkehr bei Kombifahrzeugen usw.)
- Systemreserve: Koeffizient zur Berücksichtigung systembedingter Ausfälle (Fehler in den Rohdaten, Ausfall/Fehlfunktion von Systemteilen, Verwerfen der Fahrt bei der Transformation/Ausgleichsverfahren aufgrund Nichteinhaltung der gesetzten Parameter, bei nicht autonomen Systemen mit logischer Ortung durch Wegstrecke: Nichterkennung der Fahrt aufgrund operativer, nicht planbarer Umleitungen)

Können diese Werte nicht zuverlässig bestimmt werden, kann auch eine weitere Form der Berechnung herangezogen werden. Diese folgt dem Ansatz

$$n(A) = B \cdot c \cdot F \quad (3)$$

mit

- n(A) Anzahl der auszurüstenden Fahrzeuge  
 B Fahrzeugbestand  
 c Auswahlsatz Zählfahrten (Stichprobengröße/Grundgesamtheit Fahrten)  
 F Erhöhungsfaktor zur Berücksichtigung aus Fahrzeugausfällen, nicht verwertbaren Daten usw. (Nach Erfahrungen aus vergleichbaren Fällen im ÖPNV kann  $F = 2$  gesetzt werden.)

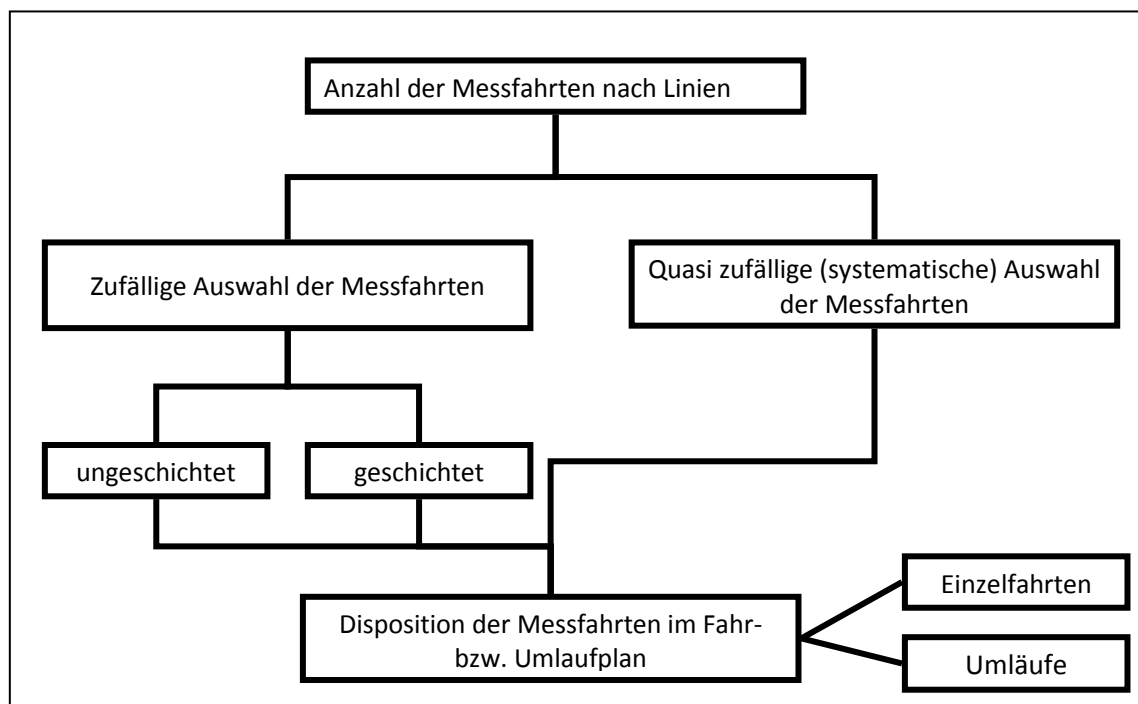
Dabei wird immer auf die Ausrüstung eines **gesamten** Fahrzeuges bzw. Zuges abgestellt, die dann auch nur in diesen kompletten Zusammenstellungen innerhalb der Messfahrtenplanung disponiert werden können. Messergebnisse aus nicht vollständigen Traktionen sind zu verwerfen und dürfen nicht in die Hochrechnung eingehen.

Hier ergeben sich teilweise signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Verkehrssystemen ÖPNV/SPNV. Die Ausführungen in diesem Abschnitt beziehen sich auf den ÖPNV (Straßen- bzw. Stadtbahnen sowie Stadt- und Regionalbusse). Für den SPNV gilt unter Bezug auf **Anlage 5** ein Ausstattungsumfang von 100 %.

Unbenommen von der aktuellen Gültigkeit der Vorgabe zur verbindlichen Anwendung des Zugkonzeptes wird sich der VBB im Sinne der technischen Weiterentwicklung und Fortschreibung des AFZS-Systemkonzeptes weiteren Untersuchungen zur Anwendung von mathematisch-statistisch gesicherten und wirtschaftlichen Teilausrüstungen nicht verschließen, sofern dazu gesicherte und belastbare gutachterliche Aussagen vorliegen.

### 1.3.5 Zufällige Auswahl der Messfahrten

Generell gilt, dass als dritte Stufe die Auswahl der Messfahrten/Umläufe aus der Grundgesamtheit, also aus der Gesamtheit der Sollfahrten/Umläufe im Messzeitraum, nach dem Zufallsprinzip erfolgen muss. Demnach muss jeder gezielte oder bewusste Einfluss auf den Auswahlvorgang ausgeschlossen sein. Das kann nach dem Prinzip der reinen Zufallsauswahl oder durch eine modifizierte Zufallsauswahl erfolgen. Letztere kann z. B. als systematische bzw. periodische Auswahl oder als Klumpenauswahl erfolgen. Diese Übersicht zeigt **Abbildung 7**.



**Abbildung 7 Zufällige Auswahl der Messfahrten**

Des Weiteren ist sicherzustellen, dass jede Fahrt mit einer gleichen Auswahlwahrscheinlichkeit in die Stichprobe aufgenommen werden muss. Ein ggf. betrieblich notwendiger unterschiedlicher Ausstattungsgrad von Fahrzeugtypen muss damit berücksichtigt werden.

Es ist nach den vorliegenden Erfahrungen zu erwarten, dass auf Grundlage der existierenden betrieblich-technischen bzw. technologischen Restriktionen die Bedingungen der reinen Zufallsauswahl insgesamt wie auch für die Schichten nicht durchgängig erfüllt werden können.

Unabhängig von der Art des Auswahlverfahrens ist mittels dem gemäßer Algorithmen in der Messfahrtenplanung durch zufällige Auswahl eine Stichprobe zu erzeugen, die mengen- und zeitproportional zur Grundgesamtheit (d. h. aller Fahrten in der Zählperiode) geschichtet ist. Für alle EAV-Erhebungen gelten die festgelegten Zeitschichten und sind zwingend einheitlich anzuwenden. Für Anwendungen außerhalb von EAV-Erhebungen gilt der allgemeine statistische Grundsatz, dass für die Stichprobe die Schichten zueinander inhomogen und in sich homogen gebildet werden. Damit sind in einer Zeitschicht bezogen auf die Nachfrage bzw. Verkehrsmenge (Anzahl der beförderten Personen) möglichst viele ähnliche (homogene) Fahrten abzubilden. Hier kann auch nach dem Modell der Schichtstreuung nachgeprüft werden, welche Zeitschichten die jeweils geringsten Streuungen der Einzelwerte um den Mittelwert aufweisen.

Davon unbenommen bestehen Möglichkeiten einer nachträglichen (dynamischen) Schichtung zur Reduzierung von Schichtstreuungen. Hierzu wird auf **Anlage 4** verwiesen.

### 1.3.6 Disposition der Messfahrten im Fahr- bzw. Umlaufplan

#### a) Planbare Disposition der Messfahrten

Mit der Messfahrtenplanung ist sicherzustellen, dass die aus der Gesamtheit der Sollfahrten zufällig ausgewählten Messfahrten einzeln oder geclustert zuverlässig und stabil in den Betriebsablauf eingeordnet werden. Bei einer Berücksichtigung von Fahrplandaten ist die Verfügbarkeit der jeweiligen Planungssysteme vorab zu prüfen. Als Cluster sind Varianten in Form der Fahrplantage/Fahrplanhalbtage, Umläufe oder andere Gruppen von Fahrten möglich.

Hier sind auch weitere Dispositionsbeschränkungen wie Bindung an Betriebshöfe, die wegen Werkstattkapazitäten auch nicht aufgehoben werden können, Sperrung von Linien oder Linienvarianten für einzelne Fahrzeugtypen durch Beschaffenheit von Straßen, Verträge mit Dritten, z. B. Linienbindung durch Werbung und bei Traktionen (Berücksichtigung technisch nicht kopplbarer Wagen) zu beachten.

Des Weiteren sollten verschiedene betriebliche Randbedingungen Berücksichtigung finden:

- Fahrer-Fahrzeug-Bindung durch Wochendienste (z. B. Außenabstellungen)
- Umlaufverknüpfungen
- Dynamischer Betriebshofwechsel von Fahrzeugen
- Getrennte Disposition nach Betriebshöfen und/oder Fahrzeugtypen
- Geplante Umleitungen
- Fahrzeugwechsel
- Ausschluss von Umläufen mit nicht relevanten VBB-Fahrten (kein Verbundtarif)
- Kooperationslinien

Diese Bedingungen sind je Verkehrsunternehmen im jeweiligen Pflichtenheft gesondert zu spezifizieren.

Dieses Konzept einer zufälligen bzw. gleichwahrscheinlichen Auswahl der Messfahrten ergibt sich bei Maßgabe einer 100 %-Ausrüstung der Fahrzeuge mit AFZS auch für den SPNV als Voraussetzung für die Einbeziehung von Zählergebnissen für eine Verwendung im EA-Verfahren mit dem Unterschied, dass keine spezifische Planung und Disposition der Messfahrten in einem gesonderten Messfahrtenplanungsprogramm erfolgen muss. Es wird hier jedoch gefordert, auf Basis der Vorgaben im **Abschnitt 3.3** „Statistische Nachweisführung AFZS-Daten“ die Erfüllung der Stichprobe und die zufällige und zur Grundgesamtheit proportionale Auswahl der Messfahrten nachzuweisen.

#### b) Zufällige Disposition der Messfahrten

Zur Methodik der Messfahrtenplanung wird auf **Abschnitt 1.3.3** verwiesen.

### 1.3.7 Kontrolle und Korrektur der Qualität der durchgeführten Messfahrten

#### a) Kontrolle und Korrektur aufgrund geplanter Disposition

Wesentlich für die Akzeptanz und statistische Signifikanz der Stichprobenplanung und -durchführung ist der Nachweis zur Realisierung der Stichprobe nach Anzahl der durchgeführten Messfahrten und den definierten Schichtungsmerkmalen. In der Praxis hat sich gezeigt,

dass geplante Messfahrten aus unterschiedlichen Gründen nicht realisiert werden konnten. Dafür gibt es ausreichende praktische Befunde.

Hierzu ergibt sich aus statistischer Sicht die Forderung nach einem geeigneten Verfahren mit einem zweistufigen Vorgehen:

- Phase 1** Mit dem Verfahren zur **zufälligen Auswahl** der Messfahrten/Umläufe ist zu beginnen. Nach einem Zeitraum, in dem Nachplanungen noch möglich sind (z. B. nach der Hälfte des Erhebungszeitraumes), erfolgt eine Analyse zur Erfüllungsquote der Stichprobe nach der durchgeführten Anzahl und nach Einhaltung der Schichtungsmerkmale. Daraus sowie unter Berücksichtigung weiterer Messfahrten außerhalb der Stichprobe wird die Erfüllung der Stichprobe (wahrscheinliche Sättigung) abgeschätzt. Die nach dem Zufallsprinzip erhobenen Zählerfahrten sind zu erhalten und können nachträglich nicht verändert werden.
- Phase 2** Es folgt die **gezielte Auswahl** der fehlenden Messfahrten/Umläufe nach einem Bewertungsverfahren nach Anzahl und Schichtungsmerkmalen der Messfahrten (Linien, Tagesgruppen, Zeitschichten)

Dieser Ablauf ist in **Abbildung 8** dargestellt.



**Abbildung 8 Monitoring**

Das Bewertungsverfahren hat sicherzustellen, dass alle in der Stichprobe (Phase 1) notwendigen, aber noch nicht erhobenen Messfahrten/Umläufe nach Anzahl, Schichtungsmerkmalen (Linien, Tagesgruppen, Zeitschichten) und nach ihrer statistischen Relevanz für die mengen- und schichtgetreue Erfüllung der Stichprobe bewertet und demgemäß in Phase 2 gezielt eingeordnet werden. Damit ist zu sichern, dass aus Phase 1 (zufällige Auswahl) und Phase 2 (gezielte Auswahl) insgesamt eine zur Grundgesamtheit mengen- und schichtproportionale Stichprobe realisiert wird.

### b) Kontrolle und Korrektur aufgrund zufälliger Disposition

Die im **Abschnitt 1.3.7** genannte Phase 1 wird durch die Realisierung der Fahrzeugdisposition ohne Berücksichtigung des Merkmals AFZS-Ausrüstung der Fahrzeuge ersetzt. In einem regel-

mäßigen Prozess des Monitorings wird der Erfüllungsgrad der Stichprobenvorgaben und insbesondere die im Zeitverlauf hinreichend gleiche Verteilung der Messfahrten über alle Schichten hinweg – wie im Fall gezielter Fahrzeugdisposition – kontinuierlich überwacht.

Dabei sind

- a) die Anzahl der mindestens zu erhebenden Messfahrten je Schicht und Zählperiode (Soll-fahrten = Mindesterhebungsumfang) und
  - b) die Anzahl erfolgreich absolvierter Messfahrten je Schicht und Zählperiode (Ist-Fahrten)
- zu dokumentieren.

Anhand dieser Aufstellung kann zum einen überprüft und nachgewiesen werden, ob im Regelprozess die Fahrzeugdisposition – entgegen der expliziten Vorgabe – die AFZS-Fahrzeuge doch systematisch bestimmten Umläufen gezielt zugeordnet wurden. Zum anderen können gegen Ende des Betrachtungszeitraums drohende Untererfüllungen der Stichprobenvorgaben identifiziert und – im Sinne von speziellen Ausnahmefällen – die Phase 2 („gezielte Auswahl“) durch Anforderungslisten an den Fahrzeugdisponenten eingeleitet werden. Damit kann auch hier eine gezielte Disposition in Einzelfällen erfolgen.

Die Einhaltung der Stichprobenvorgaben kann durch Prüfung der realisierten Stichprobe sowie der zufälligen bzw. gleichwahrscheinlichen und zur Grundgesamtheit proportionalen Auswahl der Messfahrten in der Zählstichprobe nachgewiesen werden. Dabei sei anzumerken, dass der Nachweis auch für AFZS-Netze mit vollständiger Disponierbarkeit der Fahrzeuge in identischer Weise zu führen ist. In diesem Fall bedeutet dies letztlich den Nachweis der Aufstellung eines auf Zufall basierenden Messfahrtenplans und dessen Erfüllung.

Im Einzelnen ist nachzuweisen:

- a) Erfüllung der Stichprobe nach Anzahl der Messfahrten in der Zählperiode unter Maßgabe der geltenden Vorgaben für den Stichprobenfehler und die Statistische Sicherheit sowie der von dem SPNV-Unternehmen zu benennenden Größen zur Grundgesamtheit (Anzahl aller Fahrten im Erhebungszeitraum) sowie des Variationskoeffizienten.

Dazu sind die folgenden Größen offen zu legen:

- n: realisierter Stichprobenumfang (Anzahl der durchgeführten Messfahrten)  
N: Anzahl der Fahrten/Umläufe im Erhebungszeitraum (Grundgesamtheit)  
 $d_r$ : realisierter relativer Stichprobenfehler  
V: realisierte Relative Streuung (Quotient Streuung/Maßzahl Mittelwert P)

- b) Auswahl der Messfahrten bzw. Umläufe aus der Grundgesamtheit nach dem Zufallsprinzip sowie der Ausschluss<sup>1</sup> eines gezielten oder bewussten Einflusses auf den Auswahlvorgang und damit die Einhaltung des Prinzips einer gleichen Auswahlwahrscheinlichkeit für alle Fahrten. Das Verfahren ergibt sich aus **Abschnitt 3.3**.

---

<sup>1</sup> In Einzelfällen kann eine gezielte Disposition von AFZS-Fahrzeugen aber akzeptiert werden, sobald zu befürchten ist, dass Zugzeitschichten vollständig ausfallen.

### 1.3.8 Vorgaben zur Messgenauigkeit

Mit der Einführung von AFZS ergibt sich die Notwendigkeit, die Messgenauigkeit des Systems mathematisch-statistisch zu definieren und nach erfolgter Installation zu verifizieren.

Die Zählgenauigkeit des Systems entscheidet sich bei der Zählung der Ein- und der Aussteiger an den Türen. Dabei können systematische Abweichungen bzw. Fehler (Tendenz zur Unterzählung) und zufällige Fehler auftreten.

Als für die Ermittlung der Messgenauigkeit relevante Daten werden ausschließlich die Rohdaten aus dem Fahrzeug ohne weitere Hinzufügung von Korrekturfaktoren definiert.

Voraussetzung für die Vergleichszählung ist daher, dass der Systemlieferant das AFZS im Fahrzeug-System justiert und die damit erreichte Zählgenauigkeit geprüft und das AFZS für einsatzbereit erklärt hat.

Für die Messgenauigkeit des AFZS bezogen auf die Kenngrößen „Verkehrsmenge“ (P) und „Verkehrsleistung“ (Pkm) wird auf der Nachweisebene Zählfahrzeugkategorie bzw. Fahrzeugtyp die Einhaltung folgender Schranken sowohl für alle Personen  $\geq 1,20$  m als auch für alle Personen unabhängig von der Körpergröße, sofern zusätzlich alle selbständig ein- bzw. aussteigenden Personen gezählt werden müssen, gefordert:

- a) Die Differenzen der separaten Summen der automatischen Zählwerte der Ein- und Aussteiger aller Halte an allen Prüffahrten darf je Zählfahrzeugkategorie (Fahrzeug- bzw. Türtyp) 1 % der manuell gezählten Zählwerte nicht übersteigen.
- b) Es dürfen nicht mehr als 5 % aller Türhalte fehlerhaft sein, wobei als fehlerhaft ein Ergebnis gilt, dessen Abweichung mehr als ein Drittel [33,3 %] und gleichzeitig mehr als eine Person beträgt.  
oder
- c) Es dürfen nicht mehr als 5 % aller Halte eines Zählfahrzeuges fehlerhaft sein, wobei ein einzelnes Ergebnis aller Türen eines Zählfahrzeuges an einem Halt als fehlerhaft gilt, wenn die Abweichung mehr als 20 % des manuellen Wertes und gleichzeitig größer als eine Person beträgt.
- d) Der Test zur statistischen Unverzerrtheit ist durchzuführen und damit die Existenz von systematischen Fehlern auszuschließen.

Für alle weiteren Vorgaben, methodische Regelungen und Vorgaben zur Testierung der Messgenauigkeit sowie für in Vorbereitung befindliche Änderungen zur VDV-Schrift 457 2.0 wird auf **Anlage 1** „Regelkatalog zur Prüfung und Testierung der Messgenauigkeit“ verwiesen.

### 1.3.9 Saldenausgleich und Ausschluss negativer Besetzung sowie negativer Durchfahrer

#### 1.3.9.1 Allgemeine Anforderungen

Zum Ausgleich von zufälligen Messfehlern sowie zur Plausibilisierung ist ein Saldenausgleich zwischen Ein- und Aussteigern nach einem geeigneten Ausgleichsalgorithmus für alle zugeordneten und zu korrigierenden Fahrten notwendig. Dieser kann nur die durch die Vorgabe zur Messgenauigkeit definierten und damit zugelassenen zufälligen Messfehler verursachten Saldendifferenzen zwischen Ein- und Aussteiger ausgleichen.

Der Saldenausgleichsalgorithmus darf nicht herangezogen werden, um eine aus anderen Gründen verursachte und demgemäß hohe Saldendifferenz zwischen Ein- und Aussteigern auszugleichen, die z. B. durch systematische Fehler oder große Abweichungen von den zugelassenen (definierten) Messfehlern entstanden ist. Insofern muss dafür Sorge getragen werden, dass entsprechend hohe Saldendifferenzen, die aus solchen Fehlern resultieren, bei der Prüfung der Daten erkannt und die entsprechenden Messfahrten eliminiert werden. Dafür ist es notwendig, unter Bezug auf Häufigkeitsklassen für Einsteiger und Aussteiger maximal zulässige relative und absolute Differenzen festzulegen, bei deren Überschreitung die Fahrt zu verwerfen ist. Diese Einstellungen im System müssen vor dem Hintergrund größerer relativer Differenzen zwischen Ein- und Aussteigern bei Fahrten im Regionalverkehr oder Tagesrandlagen im Stadtverkehr mit überwiegend geringen Ein- und Aussteigerzahlen parametrisierbar sein.

Für die Fahrt bzw. Fahrtenkette ist zu prüfen, ob die Saldendifferenz einen bestimmten an den definierten Fehler gebundenen Wert erreicht. Fahrten, die einen solchen Sollwert übersteigen, sind zu eliminieren und nicht in den Saldenausgleich einzubeziehen. Eine Parametrisierung dieser Einstellung im System ist nötig.

Damit werden auch die Ursachen für Abweichungen in den Ergebnissen klar unterschieden in Fehler, die ursächlich im Messsystem (Sensoren) oder im Algorithmus zum Saldenausgleich (Software) liegen.

Der Algorithmus zum Saldenausgleich hat nach den Prinzipien Einfachheit, Transparenz, Interpretierbarkeit der Größen, Nachvollziehbarkeit und mit der Erwartung einer gleichen Fehlerhaftigkeit bei Einsteiger- und Aussteigerwerten

- die Unterbindung negativer Belegungswerte sowie
- den Saldenausgleich im engeren Sinne, d. h. im Sinne des Entfernens einer positiven Endbesetzung (einer Fahrt bzw. bei Vorhandensein von „Sitzenbleibern“ einer Fahrtenkette)

zu sichern.

Es ist ein Verfahren mit folgenden logischen Schritten anzuwenden. Diese Schritte sind hier nur auf einer allgemeinen Ebene aufgeführt und immer unter den tatsächlich vorhandenen Bedingungen zu prüfen und demgemäß festzulegen. Das betrifft auch den Sachverhalt, dass ein Ausgleich nicht nur über Fahrten, sondern auch über Fahrtenketten erfolgen kann. Das nachfolgende logische Modell bildet aus Gründen der Übersichtlichkeit nur den Elementarfall einer einfachen Fahrt ab.

- a) Es werden grundsätzlich Aussteiger (A) an der 1. Haltestelle und Einsteiger (E) an der letzten Haltestelle auf 0 gesetzt, sofern planmäßig keine Fahrgäste im Fahrzeug verbleiben („Sitzenbleiber“). In diesem Falle werden grundsätzlich Aussteiger (A) an der 1. Haltestelle der ersten Fahrt einer Fahrtenkette und Einsteiger (E) an der letzten Haltestelle der letzten Fahrt der Fahrtenkette auf 0 gesetzt, sofern es sich nicht um Ringlinien bzw. den Saldenausgleich über mehrere Fahrten als typische Sonderfälle, für die gesonderte Regelungen gelten, handelt.
- b) Bildung des Wertes aus der Summe der Einsteiger und Korrektur des Differenzbetrages für Ein- und Aussteiger im Falle  $E \neq A$ 
  - nach dem Prinzip des mangelnden Grundes an allen Haltestellen
  - nach zufälliger Auswahl an definierten Haltestellen

- nach Wahrscheinlichkeit der Belegung an Haltestellen mit den größten Ein- und Aussteigerzahlen
- in Verbindung mit weiteren Plausibilitätskriterien.

c) Unterbindung negativer Belegungswerte

d) Unterbindung negativer Durchfahrerwerte

Wesentlicher Punkt des Algorithmus zum Saldenausgleich für die ausschließlich durch zufällige Messfehler entstandenen Saldendifferenzen ist hierbei die Entscheidung zur Korrekturhaltestelle.

### 1.3.9.2 Verbindliche Vorgaben für die Anwendung im VBB

Im Sinne einer einheitlichen Anwendung des Verfahrens zum Saldenausgleich im VBB, d. h. sowohl für Ergebnisse aus manuellen Verkehrszählungen im Rahmen von Verkehrserhebungen als auch für automatische Fahrgastzählssysteme wird das folgende Verfahren vorgegeben, von dem nur abgewichen werden kann, wenn eine einheitliche Verständigung im VBB erfolgt ist.

Nach erfolgreicher Prüfung der Transformationsquote sind die auswertbaren Daten fahrten-scharf hinsichtlich möglicher Abweichungen zwischen Ein- und Aussteigerzahlen zu überprüfen. Sind Abweichungen feststellbar, so ist ein Saldenausgleich durchzuführen, sofern die Abweichungen bestimmte, im Folgenden genannte Grenzwerte nicht überschreiten. Werden die Grenzwerte überschritten, sind die Daten nicht für die Hochrechnung geeignet und deshalb zu verwerfen.

Für jede einzelne Fahrt sind folgende Prüfungen durchzuführen:

- a) (Unzulässige) Aussteiger an der ersten Haltestelle oder Einsteiger an der letzten Haltestelle müssen herausgerechnet werden.
- b) Überprüfung, ob die Summe der Einsteiger und die Summe der Aussteiger einer Fahrt um mehr als 6 Fahrgäste und (bezogen auf den Mittelwert aus Ein- und Aussteigern) mehr als 10 % voneinander abweichen. Ist dies der Fall, wird die Fahrt verworfen. Diese Prüfung erfolgt für ganze Fahrzeuge, nicht jedoch türscharf. Die Abweichung um mehr als 6 Fahrgäste wird nach folgender Formel ermittelt:

$$\left| \sum E_r - \sum A_r \right| \leq 6 \quad (4)$$

Die prozentuale Abweichung wird wie in der folgenden Formel dargestellt ermittelt und vom Gutachter des VBB überprüft.

$$E = \frac{\left| \sum E_r - \sum A_r \right|}{\left( \sum E_r + \sum A_r \right) \cdot \frac{1}{2}} \times 100\% \leq 10\% \quad (5)$$



- c) Ist eine Abweichung zwischen der Aussteigersumme und der Einsteigersumme je Fahrt vorhanden, die nicht zum Verwerfen der Fahrt geführt hat, muss ein Saldenausgleich auf Basis des Ausgleichs nach dem Mittelwert erfolgen, indem der Mittelwert aus der Summe der Einsteiger und der Summe der Aussteiger gebildet und eine Korrektur des Differenzbetrages für Ein- und Aussteiger im Fall für  $E <> A$  vorgenommen wird. Für die folgenden Prüfungen müssen nun noch die ausgeglichenen Daten aller Wagen einer Fahrt zu Zugdaten addiert werden.
- d) Für den Fall, dass es bei einer Fahrt nur Einsteiger und keine Aussteiger oder nur Aussteiger und keine Einsteiger gibt, ist ein Ausgleich der Fahrt nicht möglich. Diese Fahrt ist dann für die Hochrechnung zu sperren.
- e) Anhand der ausgeglichenen Zugdaten wird nun überprüft, ob es zwischen den Halten zu negativen Besetzungen kommt, die kleiner als -0,1 sind. Ist dies der Fall, wird diese Fahrt für die Hochrechnung gesperrt.
- f) Anschließend wird geprüft, ob es negative Durchfahrerzahlen am Halt gibt, deren Wert kleiner als -0,4 ist. Ist dies nicht der Fall, wird der Datensatz übernommen und es findet keine weitere Prüfung mehr statt.
- g) Andernfalls wird nun überprüft, ob der Anteil der Haltestellen (Anzahl), an denen negative Durchfahrerzahlen vorkommen, größer zehn Prozent aller Haltestellen der gezählten Fahrt ist. Ist dies der Fall, wird die Fahrt für die Hochrechnung gesperrt.
- h) Nun wird überprüft, ob die maximale negative Durchfahrerzahl kleiner als -5 ist und der Absolutwert der Summe aller negativen Durchfahrer größer als fünf Prozent der Summe aller Einsteiger ist. Ist dies der Fall, wird die Fahrt für die Hochrechnung gesperrt.
- i) Anhand des IST-Fahrzeugeinsatzes ist zu prüfen, ob alle Wagen eines Zuges gültige Daten geliefert haben. Ist dies nicht der Fall, ist die Fahrt für die Hochrechnung zu sperren.

Eine weitere Detaillierung muss im Rahmen der Feinspezifikation erfolgen.

Die mathematische Ausgestaltung bedarf einer Testierung durch externen mathematisch-statistischen Sachverstand. Die dafür nach den Kriterien statistische Kompetenz, Referenzen und spezifischen VBB-Erfahrungen in Betracht kommenden Gutachter wurden im VBB abgestimmt. Werden andere als die im VBB abgestimmten und empfohlenen Gutachter beauftragt bzw. kann im Einzelfall und bei Differenzstandpunkten der VBB einen Gutachter aus diesem Kreis mit einer abschließenden Testierung beauftragen. Zusätzlich sind der Algorithmus zum Saldenausgleich und das Ergebnis der Testierung in der AG Verkehrserhebung des VBB vorzustellen.

### 1.3.10 Plausibilitätsprüfungen und Korrekturen

Es wird für notwendig angesehen, mit dem AFZS-System entsprechende Plausibilisierungs- und Korrekturverfahren zu implementieren. Eine weitere Detaillierung erfolgt in den Lastenheften gemäß **Anlagen 3** und **4**. Hierauf wird verwiesen.

Es wird grundsätzlich gefordert, vor der Übernahme von Messfahrten Konsistenz-Prüfungen durchzuführen und nicht konsistente Fahrten bzw. daraus resultierende Zähl- und Daten zu verwerfen.

Dabei sind z. B. Messfahrten zu verwerfen,

- zu denen keine entsprechende Sollfahrt vorliegt
- auf denen weniger als eine parametrierbare Quote an Halteorten (Anzahl aufgezeichnete Halteorte/Anzahl Halteorte im Soll) aufgezeichnet wurde
- deren Ist-Abfahrtszeit am ersten Halteort um mehr als eine parametrierbare Zeitspanne von der Sollabfahrtszeit (vor allem im Regionalverkehr bzw. bei Taktzeiten  $\geq 30$  min.; im Stadtverkehr eher nicht zutreffend) abweicht
- deren Ist-Zeiten an den Halteorten nicht in aufsteigender Reihenfolge vorliegen
- deren maximale Belegung auf einem Streckenabschnitt im Fahrtverlauf die Fahrzeugkapazität (einstellbarer Parameter) deutlich übersteigt
- deren maximales Fahrzeitverhältnis (Ist-Fahrzeit/Soll-Fahrzeit) auf einem Streckenelement im Fahrtverlauf einen bestimmten (einstellbaren) Faktor übersteigt
- für die eine Fehlermeldung zu den Sensoren vorliegt
- bei denen die Saldendifferenz einen parametrierbaren Sollwert übersteigt.

Diese Vorgaben bedürfen einer weiteren detaillierten Ausgestaltung in den Pflichtenheften und stellen hier nur auf die Sachverhalte ab, die im unmittelbaren Zusammenhang zu statistischen Anforderungen stehen. Die genaue Vorgabe muss unter Berücksichtigung der jeweiligen Rahmenbedingungen durch das jeweilige Verkehrsunternehmen bestimmt werden. Die Parameter sollten grundsätzlich einstellbar sein, wobei eine feste Definition bestimmter Parameter durch den Softwarelieferanten je nach spezifischer Situation im Unternehmen/Verbund möglich sein sollte. Die verworfenen Fahrten sollten zwecks Kontrolle gesondert ausgewiesen bzw. angezeigt werden.

Grundsätzlich gilt, dass die Zähl- und Daten in einer reproduzierbaren Art und Weise gewonnen werden müssen. Dabei ist sicherzustellen, dass alle unmittelbar auf die Generierung der Zähl- und Daten wirkenden Parameter in manipulationssicherer Weise mit diesen verknüpft sind.

### 1.3.11 Hochrechnung

Ungeachtet, dass im Falle der Anwendung im Rahmen einer Verkehrserhebung zum EA-Verfahren dem Gutachter für die Erhebung **nicht** hochgerechnete Daten zur Verfügung zu stellen sind, werden nachfolgend die Grundsätze für eine allgemeine Hochrechnung für AFZS-Daten dargestellt. Dieses gilt analog auch für die Hochrechnung auf der Basis von manuell erhobenen Zähl- und Daten.

Im Falle einer Hochrechnung außerhalb EA-Verfahren ergibt sich der folgende prinzipielle methodische Ablauf:

Ermittelt wird die mittlere Zahl der beförderten Personen je Fahrt  $P_m$  auf Grundlage einer Zufallsstichprobe mit dem Auswahlssatz  $c$ .

Hochgerechnet wird auf die Gesamtzahl P der beförderten Personen im Erhebungszeitraum nach der Beziehung

$$P = P_m \cdot F(a) = P_m \cdot \left( \frac{n}{c} \right) \quad (6)$$

d. h. durch Multiplikation des Mittelwertes der gezählten Personen  $P_m$  mit der Anzahl der Soll-Fahrten  $F(a)$  im Erhebungszeitraum bzw. mit dem entsprechenden Quotienten  $n/c$ . Der Auswahlatz  $c$  ist das Verhältnis der Anzahl der Zählfahrten  $n$  zur Anzahl der Soll-Fahrten im Erhebungszeitraum  $F(a)$ .

Wird die Probe geschichtet, erfolgt zunächst Multiplikation des Mittelwertes der gezählten Personen  $P_m$  mit der Anzahl der Fahrten in der jeweiligen Erhebungsschicht ( $j$ ). Anschließend sind die Schichtwerte zu addieren. Das erfolgt in der Form

$$P = \sum_j^n P_{mj} \cdot F(a)_j \quad (7)$$

Die verwendeten Größen sind:

P: Verkehrsmenge in der Erhebungsperiode [LBF] für das Verkehrsunternehmen

$P_m$ : Mittelwert der Verkehrsmenge/Zählfahrt

$P_{mj}$ : Mittelwert der Verkehrsmenge/Zählfahrt/Schicht

$F(a)$ : Anzahl der Sollfahrten im Erhebungszeitraum

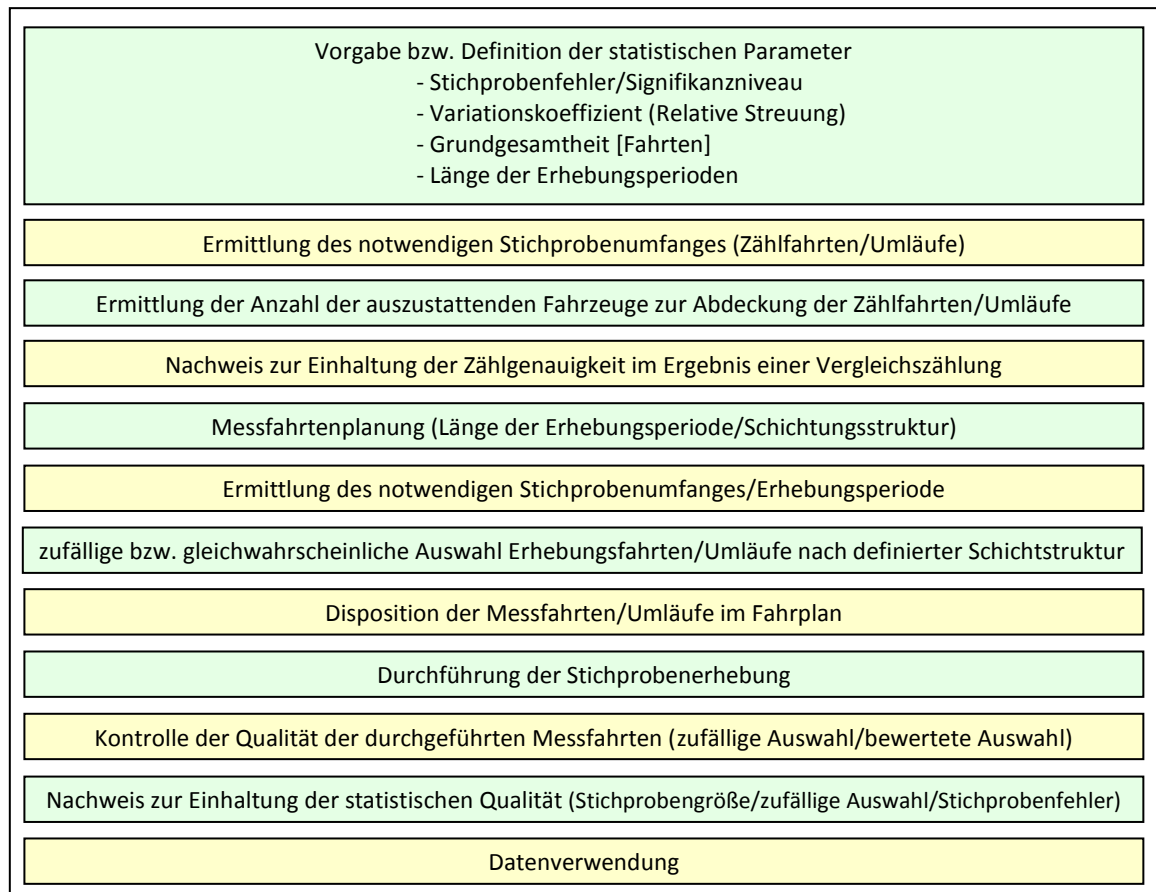
$c$ : Verhältnis der Zählfahrten zur Anzahl der Sollfahrten im Erhebungszeitraum

$n$ : Anzahl der Zählfahrten im Erhebungszeitraum

$j$ : Anzahl der Schichten  $j = 1$  bis  $n$

#### 1.4 Anwendungskonzept

Aus den dargestellten methodischen und statistischen Anforderungen ergibt sich das folgende Anwendungskonzept für AFZS im VBB gemäß **Abbildung 9**.



**Abbildung 9 Anwendungskonzept**

Dieses logische Anwendungskonzept mit der damit bestimmten Ablauforganisation wurde in den zurückliegenden **Abschnitten 1.2** „Anwendungsfelder“ und **1.3** „Methodische und statistische Anforderungen“ methodisch aufbereitet und wird nunmehr im **Kapitel 2** „Konzept zur AFZS-Integration im VBB“ als Anforderungsprofil zugrunde gelegt.

## 2. Konzept zur AFZS-Integration im VBB

### 2.1 Datenintegration auf Basis des VDV-Datenmodells

Um eine Kompatibilität zu den einzelnen Teilkomponenten auch verschiedener Hersteller und zu vorhandenen externen Systemen im Verkehrsverbund Berlin-Brandenburg sicher zu stellen, ist es unbedingt erforderlich, vorhandene VDV-Standards konsequent in der Planung und Realisierung von AFZS zu berücksichtigen. Eine Übersicht zum aktuellen Stand zeigt **Tabelle 1**.

VDV-Nr.	Jahr (oder neuer)	Titel
300	07/91	Integriertes Bordinformationssystem (IBIS) inkl. Ergänzungen von 8/87 und 7/91
301-1	1/14	„Internetprotokoll basiertes integriertes Bordinformationssystem IBIS-IP“ Teil 1: Systemarchitektur
301-2	1/14	„Internetprotokoll basiertes integriertes Bordinformationssystem IBIS-IP“ Teil 2: Schnittstellenspezifikation
451	2/99	ÖPNV Datenmodell 5.0 – „Schnittstelleninitiative“ Dateiformat für die Datenübertragung zwischen ÖPNV-Anwendungen
452	4/13	VDV-Standardschnittstelle Liniennetz/Fahrplan
453	5/13	Ist-Daten-Schnittstelle <ul style="list-style-type: none"> <li>• Anschlusssicherung</li> <li>• Dynamische Fahrgastinformation</li> <li>• Visualisierung</li> <li>• Allgemeiner Nachrichtendienst</li> </ul>
454	3/13	Ist-Daten-Schnittstelle Fahrplanauskunft
3000	11/04	CANopen-Anwendung in der Informations- und Kommunikationstechnik (IuK) auf Fahrzeugen des ÖPNV
3001	11/11	Kommunikation im ÖV (IP-KOM-ÖV) - Technische Anforderungen für Anwendungen im Integrierten Bordinformationssystem (IBIS)
3305	02/99	RBL, LSA, IBIS – Stand und Trends (5) Datentelegramme IBIS Wagen-/Zugbus

**Tabelle 1** Übersicht aktuelle Standards

Die nachstehenden **Abbildungen 10** und **11** zeigen die prototypische AFZS-Konfiguration mit Onboard-Ortung und interner bzw. externer Zuordnung zum Fahrplan.

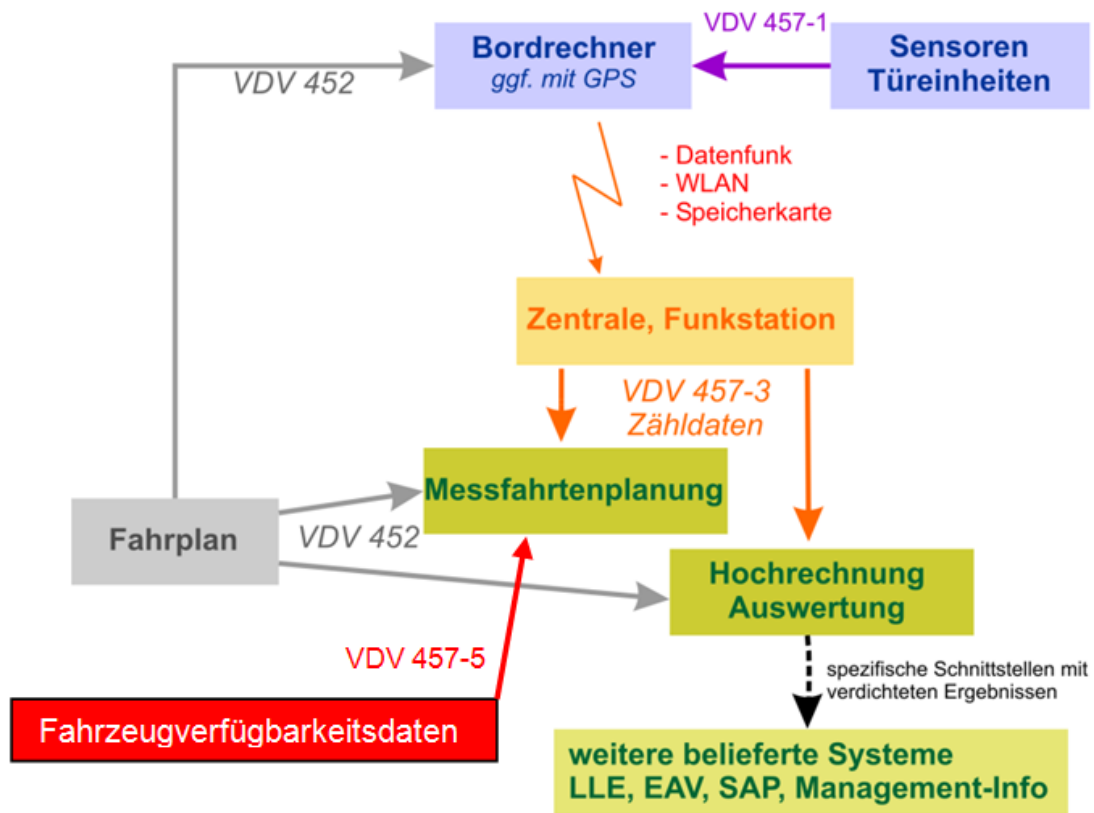


Abbildung 10 AFZS-Konfiguration mit Onboard-Ortung und Zuordnung zum Fahrplan

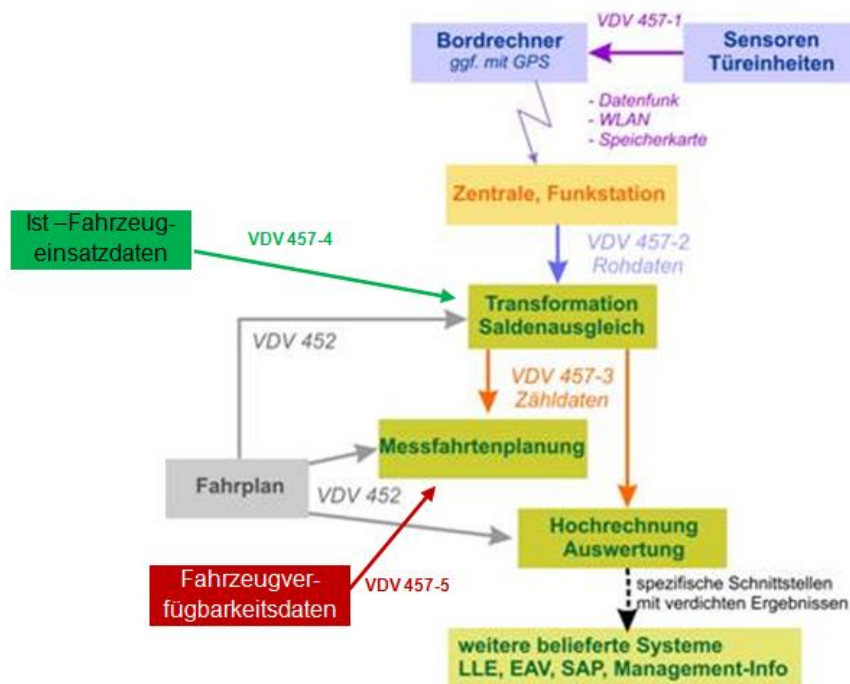


Abbildung 11 AFZS-Konfiguration bei externer Zuordnung zum Fahrplan

Für weitere Details zu den in den Abbildungen enthaltenen Schnittstellen wird auf die VDV-Schrift 457, Version 2.0, Kapitel 14, Anlage 4 „Rahmenlastenheft AFZS-HGS“ sowie Kapitel 15 und Kapitel 16 Anlage 5 „Schnittstellenspezifikation“ verwiesen.

457-1 Schnittstelle Bordrechner – Sensor/Türeinheit

457-2 Rohdatenschnittstelle

457-3 Zähldatenschnittstelle

457-4 Schnittstelle Ist-Fahrzeugeinsatzdaten

457-5 Schnittstelle Fahrzeugverfügbarkeitsdaten

Hier erfolgt der Hinweis, dass mit der für das Jahr 2018 avisierten Version 2.1 der VDV-Schrift 457 auch jeweils präziserte Schnittstellenspezifikationen zu 457-2 sowie 457-3 vorliegen werden. Die dann vorliegende Schnittstellenspezifikation 457-3 ist im Rahmen der Verkehrserhebungen zum Zweck der Einnahmenaufteilung im VBB für alle ab dem 01.06.2018 beauftragten AFZ-Systeme für die Übergabe der Zähldaten an den Gutachter des VBB verbindlich anzuwenden (siehe auch Punkt 2.3) . Die bisherigen Schnittstellenbeschreibungen werden durch die neuen Schnittstellenspezifikationen ersetzt bzw. präzisiert.

## 2.2 Aufbau- und Ablauforganisation

Zur organisatorischen Abwicklung eines methodisch einheitlichen Konzeptes zum Einsatz von automatischen Fahrgastzählsystemen können folgende Ebenen einer Aufbau- und Ablauforganisation zur Erhebung und Auswertung von AFZS-Daten im VBB vorgesehen werden:

- Ebene 1:** Administration
- Ebene 2:** Messfahrtenplanung/Durchführung/Auswertung
- Ebene 3:** Kooperations-/Dienstleistungsebene
- Ebene 4:** Qualitätskontrolle

Das Konzept folgt nachstehenden Grundsätzen:

- Ebene 1** Übergabe der Vorgaben zur Stichprobenplanung (Anzahl Fahrten) auf Basis einer Planung für den heterograden Fall, zu den Schichtungsmerkmalen sowie zum Erhebungszeitraum durch VBB
- Ebene 2** Umsetzung der Stichproben auf Basis der Vorgaben zu den statistischen Parametern und den Schichtungsmerkmalen für alle EAV-relevanten Zählungen durch die Verkehrsunternehmen
- Ebene 3** Option zum Aufbau einer Dienstleistungs- bzw. Geschäftsbesorgungsebene für den Teil Messfahrtenplanung und Auswertung für kleine Verkehrsunternehmen beim VBB

**Ebene 4**      Statistische Qualitätskontrolle auf Basis der Methodik und Datengrundlagen  
**Kapitel 3** durch VBB

**Administration:**                      Vorgabe aller

- statistischen Parameter
- Schichtungsmerkmale
- Erhebungsperioden

für alle EAV-relevanten Zählungen

**Verantwortlich: VBB**

**Messfahrtenplanung,  
Durchführung/Auswertung:**

- Auswahl der Messfahrten
- Einordnung Messfahrten
- Durchführung Messfahrten
- Auswertung der Zähldaten
- Monitoring
- Hochrechnung (außer bei Anwendungen für die EA)
- Ergebnisdarstellung
- Datenübergabe

**Verantwortlich: Verkehrsunternehmen**

**Kooperation  
DL-Ebene**                                      Hier können Funktionen der AFZS-Hintergrundsysteme zusammengefasst und von einem Unternehmen für weitere mit übernommen werden.

Dabei werden als Kategorien vorgesehen:

- Verkehrsunternehmen mit HGS
- Verkehrsunternehmen mit integrierten HGS
- Verkehrsunternehmen mit zentralem DL (VBB)

Optional können Geschäftsbesorgung für den Teil Messfahrtenplanung und Auswertung für kleine Verkehrsunternehmen beim VBB angeboten werden. Diese Lösung bedarf einer weiteren Diskussion.

**Qualitätskontrolle:**                      • statistische Nachweisführung für AFZS-Daten

**Verantwortlich: Verkehrsunternehmen**

### 2.3 Methodik zum AFZS-Einsatz in Verkehrserhebungen

Die periodischen Verkehrserhebungen im VBB umfassen in der Regel eine Fahrgastzählung sowie eine Fahrgastbefragung. Dazu sind die Merkmale und Merkmalsrealisationen, die statistischen Qualitätsparameter sowie die Leitmerkmale zu bestimmen, an denen die Einhaltung der statistischen Qualität nachzuweisen sind. Dazu werden erwartungsgetreue Schätzwerte mit einer Genauigkeit (relativer Stichprobenfehler  $d_r$ ) von höchstens 5 % und einer Wahrscheinlichkeit (Statistische Sicherheit  $S$ ) für das Eintreffen der aus der Stichprobe ermittelten Werte in der Grundgesamtheit von mindestens 95 % erwartet.

Das erfordert die Planung von zwei Stichproben, einmal im heterograden sowie zum anderen im homograden Fall. Unter Bezug auf die Relevanz für den Einsatz von AFZS wird hier nur auf die Stichprobe im heterograden Fall (Zählung) eingegangen. Für die Planung im homograden



Fall wird auf die gesonderten Vorgaben des VBB verwiesen. Diese sowie das Gesamtkonzept der VBB-Erhebungen sind nicht Gegenstand der Untersuchung.

Die Berechnung der Stichproben erfolgt analog zu AFZS für eine Stichprobenplanung im heterograden Fall (hier als Beispiel für eine ungeschichtete Stichprobe dargestellt) in der Form

$$n = \frac{k^2 \cdot V^2 \cdot N}{k^2 \cdot V^2 + (N - 1) \cdot d_r^2} \quad (8)$$

Hierin sind:

<b>Symbol</b>	<b>KenngroÙe</b>
n:	Stichprobenumfang (Anzahl Fahrten)
V:	Variationskoeffizient
d <sub>r</sub> :	relativer Stichprobenfehler
k:	Tabellenwert, abhängig von Statistischer Sicherheit
N:	Grundgesamtheit

Der Nachweis erfolgt an der Maßzahl „Mittelwert der Einsteiger je Linienfahrt“ im Ergebnis der **Zählung**:

- Statistische Sicherheit von mindestens 95 %
- relativer Fehler von höchstens 5 %

Für die Verkehrserhebung können die Zählungen sowohl manuell wie auch durch den Einsatz von AFZS erfolgen. In diesem Fall ist zu sichern, dass auch im Fall der Verwendung unterschiedlicher Methoden zur Erfassung der Ein- und Aussteiger (Platzgruppenverfahren, automatische Zählsysteme und manuelle Zählung) jeweils erwartungsgetreue und vergleichbare Schätzwerte erreicht und nachgewiesen werden. Für die Planung der Stichprobe im heterograden Fall ist vorzugeben, dass Linien entweder ausschließlich mit AFZS oder manuell gezählt werden. Ist im Rahmen der Umsetzung der Stichprobe absehbar, dass eine Linie im zur Verfügung stehenden Erhebungszeitraum nicht mehr vollständig mit Zählgeräten erhoben werden kann, so sind als **Sonderfall** manuelle Erhebungen zugelassen. Gleiches gilt bei Linien, auf denen auf Grund ihrer Betreiberstruktur auf einigen Umläufen keine Zählgerätefahrzeuge eingesetzt werden können.

Bei einer Anwendung von AFZS im Rahmen der VBB-Verkehrserhebungen mit Zählung und Befragung ist nach dem bisherigen Erhebungskonzept davon auszugehen, dass die Zählung in Verantwortung der betreffenden Verkehrsunternehmen einschließlich der Stichprobenplanung erfolgt und die Zähldaten von diesem nach Güteprüfung und Saldenausgleich einem externen, vom VBB beauftragten Gutachter für die Hochrechnung auf die Grundgesamtheit zur Verfügung gestellt werden.

Für die Übergabe der AFZS-Daten an den vom VBB mit der Hochrechnung beauftragte Gutachter gelten für alle ab 01.06.2018 neu beauftragten AFZS-Systeme die Schnittstellenspezifikationen zur Zähldatenschnittstelle 457.3 gemäß Version 2.1 zur VDV-Schrift 457. Der Nachweis zur Einhaltung dieser AFZS-Exportformate ist für alle neu beschafften AFZS ab diesem Zeitpunkt Voraussetzung zur Zulassung von AFZS für die Verkehrserhebungen. Abweichungen von diesen Formaten bedürfen einer vorherigen Abstimmung. Kosten für Anpassungen von vorhandenen

an die vorgegebenen Exportformate, sind vom jeweiligen Verkehrsunternehmen zu tragen. Für alle vorhandenen AFZS gilt ein Bestandschutz. Die Zählraten sind in den vorhandenen Schnittstellenkonfigurationen und Datenformaten zu übergeben. Die Bedingungen zur Datenübergabe an den vom VBB mit der Hochrechnung beauftragten Gutachter sind in den Leistungsbeschreibungen zu den Verkehrserhebungen zu regeln.

Dafür gelten die folgenden Bedingungen:

- a) Nachweis zur Testierung der Ausstattungsumfänge auf Basis von **Abschnitt 1.3.4** „Stichproben- und Ausrüstungsumfang“ für die Fälle einer geplanten bzw. zufälligen Disposition. Dabei gilt für den SPNV gemäß **Anlage 5** eine Ausstattungsquote von 100 %.
- b) Nachweis zur Einhaltung der Messgenauigkeit auf Grundlage von **Abschnitt 1.3.8** „Vorgaben zur Messgenauigkeit“ und **Anlage 1** „Regelkatalog zur Prüfung und Testierung der Messgenauigkeit“.
- c) Nachweis zur Gewährleistung der zufälligen, gleichwahrscheinlichen und zur Grundgesamtheit proportionalen Auswahl der Zählfahrten auf Grundlage von **Abschnitt 1.3.7** „Kontrolle und Korrektur der Qualität der durchgeführten Messfahrten“ sowie **Anlage 2** „Regelkatalog zur Systemabnahme von AFZS-Hintergrundsystemen“.
- d) Nachweis einer gesonderten Stichprobenplanung für den Einsatz von AFZS (Stichprobe im heterograden Fall) im Falle einer nicht vollständigen AFZS-Ausstattung (d. h. Ausstattungsgrad < 40 %) gemäß **Abschnitt 1.3.4** „Stichproben- und Ausrüstungsumfang“.
- e) Absicherung, dass sowohl für die Güteprüfung zu Saldendifferenzen für Ein- und Aussteiger als Voraussetzung für die Freigabe des Datensatzes für Saldenausgleich/Hochrechnung und für den Saldenausgleich die Methodik gemäß **Abschnitt 1.3.9.2** zur Anwendung kommt.
- f) Absicherung, dass als Regelfall eine direkte **fahrtgebundene** Füllung aller Befragungsschichten durch automatisch erfasste Zählraten erfolgen kann. Das setzt eine hinreichend große bzw. vollständige AFZS-Ausstattung voraus.
- g) Absicherung, dass für den Fall eines nicht vollständigen, jedoch als hinreichend testierten Ausstattungsumfanges als Rückfallebene eine **schichtgebundene** Füllung aller Befragungsschichten durch automatisch erfasste Zählraten bzw. im o. g. Sonderfall durch manuelle Zählraten erfolgen kann, ohne dass eine gesonderte Disposition von Zählfahrzeugen auf Befragungsfahrten notwendig wird.
- h) Absicherung einer Überdeckung des Zeitraums für die Stichprobe im homograden Fall (Befragung) durch den Zeitraum für die Stichprobe im heterograden Fall (Zählung) unter der Maßgabe, dass beide Zeiträume in einem für Angebot und Nachfrage saisonal-homogenen Erhebungszeitraum liegen. Damit ist zu sichern, dass die AFZS-Zählungen einer Fahrplanfahrt (jeweils bezogen auf die Tagart) aus demselben Monat stammen, in dem auf der Fahrplanfahrt die Befragung erfolgte. Maximal zulässige Rückfallebene ist die Verwendung aus dem Vor- bzw. Folgemonat.
- i) Entsprechend der Zweiteilung der Erhebung soll auch die Hochrechnung zweigeteilt erfolgen. Sie besteht

- aus der Hochrechnung der Fahrgastzahlen P (direkte Hochrechnung unter Nutzung der definierten Schichtenstruktur) über die Zahl der erhobenen Kurse, der Kurse im Hochrechnungszeitraum und der Fahrgastzahl je Kurs
- aus der Übernahme der aus der Fahrgastbefragung gewonnenen Maßzahlen (z. B. mittlere Reiseweite, Anteilswerte für benutzte Fahrscheinarten usw.) auf die Hochrechnungswerte gemäß a) (indirekte Hochrechnung).

## 2.4 Verwendung von AFZS-Daten in RES

### 2.4.1 Übersicht zu den Verfahren

Es ist davon auszugehen, dass im Falle einer Ausrüstung bei DB Regio sowie der S-Bahn Berlin mit automatischen Fahrgastzählsystemen, die aus AFZS erfassten und bereit gestellten Rohdaten direkt in das System RES der DB AG übernommen und in der Regel nach Güteprüfung und Saldenausgleich übergeben werden. Die dazu relevanten Aspekte sind nachfolgend dargestellt.

Für den Fall der Verwendung der Daten in einer VBB-Verkehrserhebung gelten die Vorgaben gemäß **Abschnitt 2.3**. Hier wird vorausgesetzt, dass eine fahrtbezogene Füllung aller Befragungsschichten und Zusammenführung von Zähl- und Befragungsdaten auf der Ebene von fahrtbezogenen Daten erfolgt.

Die Berechnung der Stichprobe (Erhebungseinheiten Fahrten) erfolgt im Baustein **RES 1** für eine Stichprobenplanung im heterograden Fall analog zu den beschriebenen Verfahren bei AFZS. Dabei ist es unerheblich, ob eine manuelle oder automatische Fahrgastzählung erfolgt.

Aus der Gesamtheit aller Zugtage des SPNV wird zentral eine Zufallsstichprobe nach dem Schichtungsmerkmal Zugnummer gezogen. Der Stichprobenumfang orientiert sich dabei an den statistischen Erfordernissen und den Datenanforderungen der Anwender. Möglichkeiten einer gesondert zu beauftragenden temporären Vergrößerung des Stichprobenumfangs sind gegeben.

Die Verteilung der Stichprobe auf die Schichten obliegt DB Regio. Eine Kontrolle zur zufälligen bzw. gleichwahrscheinlichen Auswahl der Erhebungseinheiten sowie zur Proportionalität der Stichproben zur Grundgesamtheit nach Größe und Schichtung kann nur a posteriori ermittelt werden. Das Verfahren wird im **Abschnitt 3.3** beschrieben.

Wirksamkeitsvoraussetzung für eine Anwendung innerhalb des EA-Verfahrens ist der Nachweis, dass

- alle Erhebungseinheiten (hier Fahrten) mit der gleichen Auswahlwahrscheinlichkeit in der Stichprobe berücksichtigt und im statistischen Sinne zufällig ausgewählt werden
- die Stichprobe nach Größe und Schichtungsmerkmalen proportional der Grundgesamtheit (Fahrten im Erhebungszeitraum) entspricht
- die Einhaltung der Vorgaben zur Stichprobenplanung kontrolliert und ausgefallene Messfahrten durch eine schichtneutrale Ersatzstichprobe nacherhoben werden.

Im Rahmen von **RES 2** findet eine kontinuierliche Befragung von Fahrgästen im Zug durch externes Befragungspersonal statt. Es ist gegenwärtig nicht beabsichtigt, RES 2 in den VBB-Verkehrserhebungen für die Zwecke der Einnahmenaufteilung heranzuziehen. Insofern sind die nachstehenden Sachverhalte nur nachrichtlich.

Es erfolgt eine mehrstufige Stichprobenplanung nach:

1. Stufe: geschichtete, zufällige Auswahl von Zugtagen
2. Stufe: geschichtete, zufällige Auswahl von Platzgruppen eines Zuges
3. Stufe: Befragung aller Fahrgäste in einer Platzgruppe

Die Stichprobenplanung für die Befragung in RES 2 ergibt sich grundsätzlich (hier für den Fall einer ungeschichteten Stichprobe und ohne Anwendung des Platzgruppenverfahrens) in der Form

$$n \geq \frac{u^2 \cdot (1 - P) \cdot N}{u^2 \cdot (1 - P) + (N - 1) \cdot P \cdot d_r^2} \quad (9)$$

Hierin sind:

- n: Stichprobenumfang (Anzahl der Befragungen)
- d<sub>r</sub>: relativer Stichprobenfehler
- u: Tabellenwert (abhängig von S = Statistische Sicherheit)
- N: Grundgesamtheit
- P: Anteilswert (Vorabschätzung bzw. Vorjahreswerte), für die d<sub>r</sub> und S einzuhalten sind

Die Planung der Stichprobe erfolgt aus erhebungswirtschaftlichen Gründen auf einer aggregierten Ebene. Insofern können nur für Untersuchungsräume bzw. Merkmale mit einer hinreichend großen Bezugsgesamtheit erwartungstreue Schätzwerte erwartet werden.

Für das Schichten der Stufe Wagenklasse gilt, dass die Erhebung für jeden Stichprobentag in der vorgegebenen Platzgruppe stattfindet. Die Platzgruppe ist ein vorher festgelegter Teil des Erhebungszuges, der ebenfalls zufällig festgelegt und ausgewählt wird.

Auch hier gilt als Wirksamkeitsvoraussetzung für eine Verwendung der Ergebnisse im VBB, dass mit dem Zertifizierungskonzept nachgewiesen wird, dass

- die Erhebung durch externes Personal durchgeführt wurde
- alle Erhebungseinheiten (hier Platzgruppen) mit einer gleichen Auswahlwahrscheinlichkeit in die Stichprobe gelangen
- die Platzgruppen so ausgewählt werden, dass alle Fahrgäste in der Platzgruppe befragt werden können
- alle Platzgruppen eines Zuges innerhalb einer Erhebungsperiode erhoben werden
- eine schichtneutrale Nacherhebung bei Nichterfüllung von Schichten/Platzgruppen gesichert wird
- das Platzgruppenverfahren auch bei allen technologischen Besonderheiten im SPNV (Stärken/Schwächen/Flügelung usw.) statistisch gesichert zur Anwendung kommt.

Die Verknüpfung mit RES 1 erfolgt, indem auf die aus der Verkehrszählung ermittelten Verkehrsmengen (LBF), die aus der Stichprobe auf die Grundgesamtheit hochgerechnet werden und mehrheitlich als erwartungstreue Schätzwerte vorliegen, auf die aus der Befragung in RES 2 ermittelten Anteilswerte bezogen werden.

#### 2.4.2 Bedingungen zur Verwendung von Daten aus manuellen Zählungen

Bei den meisten Verkehrsunternehmen werden die Fahrgastzahlen durch manuelle Zählungen erfasst. Das kann alternativ wie auch komplementär zu AFZS-Zählungen erfolgen.

Dabei muss, wenn diese Daten für die EA relevant sind, im Rahmen der statistischen Qualitätssicherung eine

- Planung des Stichprobenumfangs und Verteilung der zu zählenden Fahrten auf die Schichten
- Realisierung einer Zufallsauswahl von Zählfahrten unter Berücksichtigung einer gleichen Auswahlwahrscheinlichkeit
- Plausibilitätsprüfung der Zähldaten (Saldenausgleich)
- mathematisch-statistische Nachweisführung

analog zu den Vorgaben zum Systemkonzept (**Abschnitte 1.3** und **1.4**) sowie zum Zertifizierungskonzept (**Abschnitte 3.1** bis **3.3**) zwingend erfolgen.

Diese Form einer manuellen Zählung muss einheitlich im VBB reglementiert zur Anwendung kommen, wenn

- die Ausstattung der Fahrzeuge mit AFZS technisch unmöglich, wirtschaftlich nicht vertretbar ist oder aus anderen Gründen nicht erfolgen soll
- bei Erhebungen von fahrplanseitig nicht abbildbaren Großveranstaltungen keine Zählungen über AFZS erfolgen können
- die Erfassung von Fahrgästen im Bedarfsverkehr (Rufbusse, Anruflinien), die nicht über AFZS erfolgen können, für die EA benötigt wird und
- mit AFZS gezählte Fahrten nicht ausreichen, um Stichproben zu erfüllen (z.B. Bautätigkeiten, Nachtbusse).

Für die Planung, Durchführung und Auswertung derartiger Verkehrserhebungen, die komplementär zu AFZS-Erhebungen stattfinden, gelten folgende Regelungen:

1. Planung und Durchführung erfolgen analog zu dem in **Abschnitt 1.3** beschriebenen Verfahren mit dem Unterschied, dass die Erfassung der Ein- und Aussteiger an den Türen und die Aufbereitung der Zähldaten in einer EDV-technisch verarbeitbaren Form manuell erfolgt.
2. Durchführung der Feldarbeit durch externe Dienstleister.

3. Das Verfahren muss einmalig durch einen vom VBB benannten externen, unabhängigen Gutachter bestätigt werden.
4. Die erfassten Handzählungen müssen über definierte Schnittstellen in die Datenmanagementsoftware eingelesen und analog zu den AFZS-Rohdaten abgelegt und gesichert werden.
5. Handzählungen müssen in der Datenmanagement- bzw. Hochrechnungssoftware eine spezielle Kennzeichnung erhalten, welche sie als Handzählungen identifiziert und späteren externen Kontrollen leicht erkennbar werden lässt.
6. Die Hochrechnung soll grundsätzlich über den VBB-Gutachter erfolgen, um eine verbund-einheitliche Hochrechnungsmethodik zu sichern.
7. Das Verfahren des Saldenausgleichs muss zwingend im Sinne der VBB-Lösung gemäß **Abschnitt 1.3.9** erfolgen. Davon abweichende Verfahren bedürfen einer Testierung durch vom VBB beauftragten externen statistischen Sachverstand.

### 2.4.3 Bedingungen bei der Verknüpfung von Daten

Es ist darauf zu verweisen, dass, wenn Ergebnisdaten aus multiplikativ verknüpften Größen verwendet werden, nach dem Modell der Fehlerfortpflanzung eine Addition der relativen Stichprobenfehler beider Größen zu einem resultierenden Gesamtfehler führt. Typisches Beispiel ist die Ermittlung von Unternehmensbeförderungsfällen (UBF) mit VBB-Tarifen über die Stufen Zählen einer Verkehrsmenge (LBF) in RES 1 und Befragung zur Tarifart in RES 2. Damit tritt der Schätzwert UBF mit einem Stichprobenfehler zur Maßzahl Mittelwert aus der Zählung und der Anteilswert zur Tarifart mit einem Stichprobenfehler des Anteilswertes auf.

Der Stichprobenfehler zur Verkehrsmenge ergibt sich (unabhängig ob manuell oder automatisch gezählt) als Schätzen des Mittelwertes in der Grundgesamtheit in der Form

$$d_r = k \cdot \frac{V}{\sqrt{n}} \cdot \sqrt{\frac{N-n}{N-1}} \quad (10)$$

Hierin sind:

- n: Stichprobenumfang (Anzahl der Fahrten)
- V: Relative Streuung (Quotient Streuung/Maßzahl Mittelwert Bewertung)
- d<sub>r</sub>: relativer Stichprobenfehler
- k: Tabellenwert (abhängig von S = Statistische Sicherheit)
- N: Grundgesamtheit

Der Stichprobenfehler zur Tarifnachfrage ergibt sich als Schätzen des Anteilswertes in der Grundgesamtheit in der Form

$$d_r = k \cdot \sqrt{\frac{P(1-P)}{n}} \cdot \sqrt{\frac{N-n}{N-1}} \quad (11)$$

Hierin sind:

- n: Stichprobenumfang (Anzahl der Befragungen)
- $d_r$ : relativer Stichprobenfehler
- u: Tabellenwert (abhängig von S = Statistische Sicherheit)
- N: Grundgesamtheit
- P: Anteilswert, für die  $d_r$  und S einzuhalten sind

Damit tritt dann jeder aus der Zählung und Befragung ermittelte Wert mit einer Genauigkeit (gemäß berechneten Stichprobenfehler) in einem Konfidenzintervall mit unteren und oberen Vertrauensgrenzen sowie mit einer Wahrscheinlichkeit (vorgegebene Statistische Sicherheit) von 95 % als wahrer Wert in der Grundgesamtheit ein.

Dieses Intervall kann, da der „wahre“ Wert des Stichprobenergebnisses in der Grundgesamtheit nicht bekannt ist, ausgenutzt werden, wenn anhand von bestimmten Indikatoren eine Unter- bzw. Überschätzung festgestellt wird.

Diese für Verknüpfungen dargestellte Fehlerfortpflanzung tritt auch bei den Zählungen über automatische Fahrgastzählssysteme ein und stellt somit kein Ausschlusskriterium für die Anwendung im Rahmen des EAV des VBB dar.

Bei einer vergleichenden Betrachtung sind den Stichprobenfehlern, z. B. aus RES, also

- Stichprobenfehler aus der Zählung der Verkehrsmenge im statistischen Sinne Schätzen eines Mittelwertes und
- Stichprobenfehler aus der Befragung im statistischen Sinne Schätzen eines Anteilswertes

die aus AFZS resultierenden Stichprobenfehler gegenüber zu stellen.

Für AFZS ergeben sich als unmittelbar vergleichbare Kategorien, neben der Existenz von zufälligen Messfehlern

- Stichprobenfehler aus der Zählung der Verkehrsmenge im statistischen Sinne Schätzen eines Mittelwertes und
- Stichprobenfehler aus der Ermittlung von ggf. erforderlichen weiteren Korrekturfaktoren

die sich ebenfalls zu einem Gesamtfehler addieren. Weitere Fehler, z. B. Stichprobenfehler der linearen Regressionsfunktion aus der Einstellung der Regressionsparameter, können, je nach den eingesetzten AFZS-Systemen, hinzukommen. Auch hier gilt im Prinzip eine multiplikative Verknüpfung und damit Addition der Einzelfehler zu einem resultierenden Gesamtfehler zum Mittelwert.

Die berechneten Konfidenzintervalle sind nur informelle Größen für die Güte des erwartungstreuen Schätzwertes und nicht für den EA anzuwenden. Für die EA sind die berechneten erwartungstreuen Schätzwerte zu verwenden. Das Konfidenzintervall kann, da der „wahre“ Wert des Stichprobenergebnisses in der Grundgesamtheit nicht bekannt ist, nur als Plausibilisierungsgröße ausgenutzt werden, wenn anhand von bestimmten Indikatoren eine Unter- bzw. Überschätzung festgestellt wird, die eine Kalibrierung von erwartungstreuen Schätzwerten untereinander bzw. an Vergleichsgrößen erforderlich machen. Das betrifft z. B. den Vergleich von Ergebnisdaten aus unterschiedlichen Erhebungen. Im Falle einer Abweichung kann geprüft

werden, ob sich die jeweiligen Konfidenzintervalle, d. h. die unteren bzw. oberen Vertrauensgrenzen der Schätzwerte, überdecken. Für weitere Details wird auf die VDV-Schrift 951 „Gewinnung und Verknüpfung von Nachfragedaten im ÖPNV“ verwiesen.



## 3. Zertifizierungskonzept

### 3.1 Nachweisführung zur Einhaltung der Messgenauigkeit

#### 3.1.1 Erstabnahme

Die Vorgaben für die Erstabnahme zur Zertifizierung der Messgenauigkeit nach den Vorgaben gemäß **Abschnitt 1.3.8** ergeben sich aus **Anlage 1** „Regelkatalog zur Prüfung und Testierung der Messgenauigkeit“. Darauf wird verwiesen.

Jedes Verkehrsunternehmen, welches Daten aus AFZS zum Zweck des EAV verwenden möchte, muss dies mindestens 1 Jahr vor Beginn der Verkehrserhebung beim VBB schriftlich anmelden. Voraussetzung ist der erfolgreiche Abschluss der Erst- bzw. Rezertifizierung zu diesem Zeitpunkt. Die Erst- bzw. Rezertifizierung darf höchstens 2 Jahre zurückliegen.

Ist seitens des Verkehrsunternehmens ein Jahr vor Beginn der Erhebung noch keine definitive Aussage zum produktiven Einsatz im Erhebungsjahr möglich, so trägt es mögliche Mehrkosten, die beim VBB durch das Kalkulationsrisiko des Gutachters der Verkehrserhebung anfallen. Der VBB wird in diesem Fall mögliche Preisunterschiede zwischen der Verarbeitung von manuellen und mit AFZS erhobenen Zähldaten bei der Ausschreibung der gutachterlichen Leistung abfragen.

Kann spätestens 3 Monate vor Erhebungsbeginn vom Verkehrsunternehmen die Erst- oder Rezertifizierung nicht erfolgreich bestätigt werden, ist die Zählung im Rahmen der Verkehrserhebung manuell durchzuführen.

#### 3.1.2 Periodische Rezertifizierung

Nach erfolgter Erstzertifizierung der Messgenauigkeit gemäß **Abschnitt 3.1.1** ist jedes Verkehrsunternehmen, welches AFZS im Rahmen von EAV-Erhebungen im VBB einsetzt, verpflichtet, alle erforderlichen und vom Hersteller vorgegebenen Maßnahmen zur Wartung und Instandhaltung nachweisfähig zu gewährleisten, den laufenden Betrieb in geeigneter Form zu überwachen und auf Abweichungen bzw. Störungen eigenständig zu reagieren. Der Nachweis ist auf Basis vorhandener Monitoring-Systeme bzw. sonstiger Unterlagen gegenüber dem VBB als Voraussetzung für eine Verwendung von AFZS in den VBB-Verkehrserhebungen zu führen.

Es wird vereinbart, im Abstand von 3 Jahren eine Rezertifizierung zur Messgenauigkeit der AFZS vorzunehmen. Das kann sowohl auf Basis einer manuellen Vergleichszählung (gesonderte Testierung durch einen externen Gutachter) als auch auf Basis der im AFZS-HGS automatisch gezählten Ein- und Aussteigerdaten (zertifizierte Softwarefunktion) erfolgen.

Für den Fall einer Rezertifizierung der Messgenauigkeit auf Basis einer manuellen Vergleichszählung kann eine Testierung je Fahrzeugtyp vorgenommen werden. Hierzu gilt die Vorgabe, dass mindestens 10 % der mit AFZS ausgerüsteten Fahrzeuge einer periodischen Rezertifizierung zuzuführen sind und dabei eine periodische Rezertifizierung von jeweils gleichen Fahrzeugen nicht zulässig ist.

Die Nachweisführung zur Rezertifizierung der Messgenauigkeit über das AFZS-HGS wird auf maximal 9 Jahre nach der Erst- bzw. der letzten manuellen Rezertifizierung begrenzt. Nach Ablauf von jeweils 9 Jahren ist der erneute Nachweis zur Messgenauigkeit auf Basis von manuellen Vergleichszählungen durchzuführen.

Hierzu ist nach den nachfolgend im Einzelnen beschriebenen Verfahren und Parametern der mathematisch-statistische Zusammenhang zwischen automatisch gezählten Ein- und Aussteigern auf Basis einer Referenzfunktion aus der Erstzertifizierung und einer zu ermittelnden Prüfungsfunktion aus dem laufenden Betrieb als Indikator für die Rezertifizierung der Messgenauigkeit zu prüfen.

Mathematisch-statistischer Hintergrund des Ansatzes Rezertifizierung der Messgenauigkeit ist der nach erfolgreicher Prüfung der statistischen Unverzerrtheit ermittelte statistische Zusammenhang zwischen fahrtbezogenen automatisch gezählten Ein- und Aussteigern. Hierzu kann auf Basis dazu geführter empirischer Untersuchungen davon ausgegangen werden, dass der aus der Testierung der Messgenauigkeit gefundene mathematisch-statistische und hinsichtlich seiner statistischen Unverzerrtheit geprüfte Zusammenhang zwischen automatisch gezählten Ein- und Aussteigern auch in der laufenden automatischen Zählung für die automatisch gezählten Ein- und Aussteiger signifikant besteht.

Datengrundlagen sind die automatisch gezählten Einsteiger und Aussteiger in der nachstehend genannten sachlichen Diversifizierung aus verwertbaren und gültigen Fahrten vor Saldenausgleich.

Diese Rezertifizierung und demgemäß Nachweisführung kann auf Basis eines Tools im AFZS-Hintergrundsystem gemäß **Anlage 4** „Rahmenlastenheft AFZS-Hintergrundsysteme“ und einer Abnahme gemäß **Anlage 2** „Regelkatalog zur Systemabnahme von AFZS-Hintergrundsystemen“ oder im Rahmen einer gesonderten mathematisch-statistischen Untersuchung durch externen Sachverstand erfolgen. In beiden Fällen ist eine Nachweisführung gemäß Template nach **Anhang A** zu **Anlage 4** bzw. **2** erforderlich.

Im Falle von Abweichungen zur Einhaltung der Messgenauigkeit nach den für die Rezertifizierung geltenden Regelungen muss eine Prüfung der Messgenauigkeit auf Basis einer manuellen Vergleichszählung gemäß **Anlage 1** „Regelkatalog zur Prüfung und Testierung der Messgenauigkeit“ mit dem erneuten Nachweis zur Einhaltung der Vorgaben zur Messgenauigkeit nach den Schranken a) bis d) erfolgen.

Diese Rezertifizierung darf frühestens 2 Jahre vor Beginn der nächsten Verkehrserhebung durchgeführt werden und muss bis spätestens 1 Jahr vor Beginn der nächsten Verkehrserhebung erfolgreich abgeschlossen sein (vgl. hierzu auch **Abschnitt 3.1.1**).

Ist seitens des Verkehrsunternehmens ein Jahr vor Beginn der Erhebung noch keine definitive Aussage zum produktiven Einsatz im Erhebungsjahr möglich, so gelten bezüglich möglicher Mehrkosten, die beim VBB durch das Kalkulationsrisiko des Gutachters der Verkehrserhebung anfallen, die Regelungen aus **Abschnitt 3.1.1**.

Kann spätestens 3 Monate vor Erhebungsbeginn vom Verkehrsunternehmen die Rezertifizierung nicht erfolgreich bestätigt werden, ist die Zählung im Rahmen der Verkehrserhebung manuell durchzuführen.

Für die Rezertifizierung der Messgenauigkeit auf Basis der automatisch gezählten Einsteiger und Aussteiger sind alle mit AFZS ausgerüsteten Fahrzeuge der periodischen Verifizierung zuzuführen. Für die Rezertifizierung sind die aufgelaufenen Daten der letzten 12 Monate einzubeziehen.

Als Mindestbedingungen und Wirksamkeitsvoraussetzung für die Zulassung der AFZS im Rahmen der VBB-Verkehrserhebungen zur Einnahmenaufteilung ist sicherzustellen, dass je Verkehrsunternehmen eine Rezertifizierung der Messgenauigkeit nach

- Verkehrsarten (Bus, Straßenbahn, U-Bahn, S-Bahn, Regionalbus, Fähren)
- Fahrzeugkategorien (Fahrzeuge gleichen Typs und identischer Türtypen)
- Sensortypen und
- Firmware-Version

erfolgt und nachgewiesen werden kann.

Für die Rezertifizierung der Messgenauigkeit auf Basis von automatisch gezählten Einsteigern und Aussteigern aus dem Hintergrundsystem (HGS) gelten die nachfolgenden grundsätzlichen Bedingungen:

### Schritt 1: Referenzfunktion

Aus der erfolgreichen Erstzertifizierung zur Messgenauigkeit nach den Schranken

- Test auf globale Unverzerrtheit
- Test auf Einzelabweichung (Haltestellentür- bzw. Haltestellenereignis)
- Test auf statistische Unverzerrtheit

auf Basis einer manuellen Vergleichszählung nach den Vorgaben gemäß **Anlage 1** „Regelkatalog zur Prüfung und Testierung der Messgenauigkeit“ ist für die Merkmale automatisch gezählte Einsteiger (E) und automatisch gezählte Aussteiger (A) die Form des Zusammenhanges mittels einer Regressionsfunktion zu berechnen. Nach Prüfung der Strenge und des zufallsfreien Zusammenhanges auf Basis des Korrelationskoeffizienten  $r_{EA} > 0,8$  sowie  $r_{EA} > r_z$  (Zufallshöchstwert Korrelationskoeffizienten) wird diese Regressionsfunktion als **Referenzfunktion** der Erstzertifizierung in einer möglichen Diversifizierung nach

- Verkehrsarten (Bus, Straßenbahn, U-Bahn, S-Bahn, Regionalbus)
- Fahrzeugkategorien (Fahrzeuge gleichen Typs und identischer Türtypen)
- Sensortypen und
- Firmware-Version

verwendet.

Diese Funktionen, einschließlich aller Ausgangs- und Berechnungsgrößen werden in der entsprechenden Diversifizierung aus der Erstzertifizierung zur Verfügung gestellt.

### Schritt 2: Prüffunktion

In der zur Referenzfunktion analogen Diversifizierung sind auf Basis der im Hintergrundsystem aus den letzten 12 Monaten vorhandenen automatisch gezählten Ein- und Aussteiger aus verwertbaren und gültigen Fahrten vor Saldenausgleich Form, Strenge und Zufallsunabhängigkeit des Zusammenhanges der Merkmale Einsteiger (E) und Aussteiger (A) zu berechnen und einschließlich aller Berechnungsgrößen als **Prüffunktion** mit dazu gehörigen Korrelationskoeffizienten auszuweisen.

### Schritt 3: Prüfung des statistischen Zusammenhanges zwischen Prüf- und Referenzfunktion

Für die Bestätigung des statistischen Zusammenhanges zwischen Referenzfunktion und Prüffunktion, als Indikator für eine erfolgreiche Rezertifizierung der Messgenauigkeit, ist mit einem statistischen Signifikanztest zu prüfen, dass die Verteilung der Messwerte aus der Prüffunktion der Verteilung in der Referenzfunktion entspricht und damit gleiche Funktionstypen vorliegen.

Dieser Signifikanztest soll (bei Anwendung in einem AFZS-HGS-Tool zwingend) als Chi-Quadrat-Anpassungstest erfolgen.

Bei Anwendung des Chi-Quadrat-Anpassungstests wird geprüft, ob die Häufigkeitsverteilung der Prüffunktion der Häufigkeitsverteilung der Referenzfunktion (auf Basis der theoretisch erwarteten Verteilung) entspricht. Dazu ist aus den Häufigkeitsverteilungen der Referenzfunktionen und der Prüffunktionen der Chi-Quadrat-Prüfwert zu ermitteln und gegenüber dem Tafelwert der Chi-Quadrat-Verteilung (Integralwerte der Pearsonschen Chi-Quadrat-Verteilung) mit der jeweils definierten Statistischen Sicherheit (hier mit  $S = 95\%$  bzw.  $0,95$ ) zu vergleichen. Die Signifikanz kann bestätigt werden, wenn der berechnete Chi-Quadrat Prüfwert unter dem Tafelwert liegt und muss abgelehnt werden für den Fall, dass der Prüfwert größer als der Tafelwert ist.

#### **Schritt 4: Prüfung der Strenge des statistischen Zusammenhanges der Prüffunktion**

Hier ist nach Bestätigung des Zusammenhanges zwischen Prüffunktion und Referenzfunktion die Strenge des statistischen Zusammenhanges der Prüffunktion auf Basis der im Hintergrundsystem gezählten Ein- und Aussteiger als Merkmalsrealisationen der Merkmale Einsteiger (E) und Aussteiger (A) als Korrelationskoeffizient in der Form  $r_{EA}$  zu ermitteln.

#### **Schritt 5: Prüfung des zufallsfreien Zusammenhanges**

Hier ist die Zufallsunabhängigkeit des Zusammenhanges zu prüfen und nachzuweisen, dass dieser ermittelte Korrelationskoeffizient größer als der Zufallshöchstwert des Korrelationskoeffizienten  $r_z$  ist.

Die Rezertifizierung der Messgenauigkeit wird bestätigt, wenn auf Basis

- des Signifikanztests der Zusammenhang zwischen Referenzfunktion und Prüffunktion (Schritt 3)

#### **und**

- der Regressions- und Korrelationsanalyse die zufallsunabhängige Strenge des Zusammenhanges der Prüffunktion (Schritte 4/5)

nachgewiesen wird.

Für den Fall der Ablehnung sind erforderliche Einzelprüfungen einzuleiten. In diesem Fall muss eine Prüfung der Messgenauigkeit auf Basis einer manuellen Vergleichszählung nach den dafür zutreffenden Regelungen gemäß **Anlage 1** „Regelkatalog zur Prüfung und Testierung der Messgenauigkeit“ mit dem erneuten Nachweis zur Einhaltung der Vorgaben zur Messgenauigkeit nach den Schranken a) bis d) erfolgen.

Die Anforderungsspezifikationen bei einer Umsetzung und Abnahme in einem AFZS-Hintergrundsystem ergeben sich aus den **Anlage 2** und **4**. Diese gelten sinngemäß auch für den Fall einer ebenso zulässigen manuellen Berechnung durch externen Sachverstand.

Auf diese Anlagen wird auch für alle weiteren mathematisch-statistischen Darstellungen und Anforderungen verwiesen.

### 3.2 Systemabnahme von AFZS-Hintergrundsystemen

Es besteht mit der Systemabnahme die Aufgabe, sowohl die internen mit dem jeweiligen unternehmensspezifischen Pflichtenheft definierten Spezifikationen als auch die generellen Funktionen eines AFZS-Hintergrundsystems zu prüfen.

Die für den VBB relevanten Szenarien zur Systemabnahme sowie Prüfschritte ergeben sich aus **Anlage 2** „Regelkatalog zur Systemabnahme von AFZS-Hintergrundsystemen“. Darauf wird verwiesen.

### 3.3 Statistische Nachweisführung AFZS-Daten

#### 3.3.1 Zielsetzung

Es ist im Sinne des gegenseitigen Vertrauensschutzes durch alle Anwender nachzuweisen:

- a) Erfüllung der Stichprobe im heterograden Fall nach Anzahl der Zählfahrten in der Zählperiode unter Maßgabe der für den VBB geltenden Vorgaben für den Stichprobenfehler und die Statistische Sicherheit sowie der Größen zur Grundgesamtheit (Anzahl aller Fahrten im Erhebungszeitraum) sowie des Variationskoeffizienten
- b) Auswahl der Zählfahrten bzw. Umläufe sowie der zu befragenden Fahrgäste aus der Grundgesamtheit nach dem Zufallsprinzip, dem Ausschluss jedes gezielten oder bewussten Einflusses auf den Auswahlvorgang und damit die Einhaltung des Prinzips einer gleichen Auswahlwahrscheinlichkeit für alle Fahrten und befragten Personen
- c) Stichprobenfehler aus der Zählung der Verkehrsmenge im statistischen Sinne Schätzen eines Mittelwertes

#### 3.3.2 Erfüllung der Stichprobe im heterograden Fall nach Anzahl der Zählfahrten

Dazu ist dem VBB die Übersicht der realisierten Messfahrten nach den Schichtungsmerkmalen sowie der für die Stichprobe relevanten Merkmale zu übergeben. Das beinhaltet die Übergabe der folgenden Daten:

- n: realisierte Stichprobenumfang (Anzahl der durchgeführten Zählfahrten)  
V: realisierte Relative Streuung (Quotient Streuung/Maßzahl Mittelwert P)  
N: Anzahl der Fahrten/Umläufe im Erhebungszeitraum (Grundgesamtheit)

Der VBB prüft auf Grundlage der vorgegebenen Parameter für den zulässigen relativen Stichprobenfehler und der Statistischen Sicherheit sowie der von allen Verkehrsunternehmen zuarbeitenden Kenngrößen die Einhaltung der Stichprobe.

### 3.3.3 Zufällige Auswahl der Messfahrten

Es ist nachzuweisen, dass die Auswahl der Zählerfahrten/Umläufe aus der Grundgesamtheit nach dem Zufallsprinzip erfolgt ist, jeder gezielte oder bewusste Einfluss auf den Auswahlvorgang ausgeschlossen ist und jede Fahrt mit einer gleichen Auswahlwahrscheinlichkeit in die Stichprobe aufgenommen wurde.

Damit ist sicherzustellen und auf Basis der nachstehenden Methodik nachzuweisen, dass alle in der Stichprobe notwendigen Zählerfahrten/Umläufe nach Anzahl, Schichtungsmerkmalen (Linien, Tagesgruppen, Zeitschichten) erhoben und eine zur Grundgesamtheit mengen- und schichtproportionale Stichprobe realisiert wurde.

Ein externer Gutachter prüft hierzu die zufällige Auswahl der Erhebungsfahrten und deren Proportionalität zur Grundgesamtheit. Das erfolgt, indem Form und Strengung des statistischen Zusammenhanges der Verteilung

- der Zählerfahrten nach Linien, Richtung, Tages- und Zeitschichten (Merkmal X)

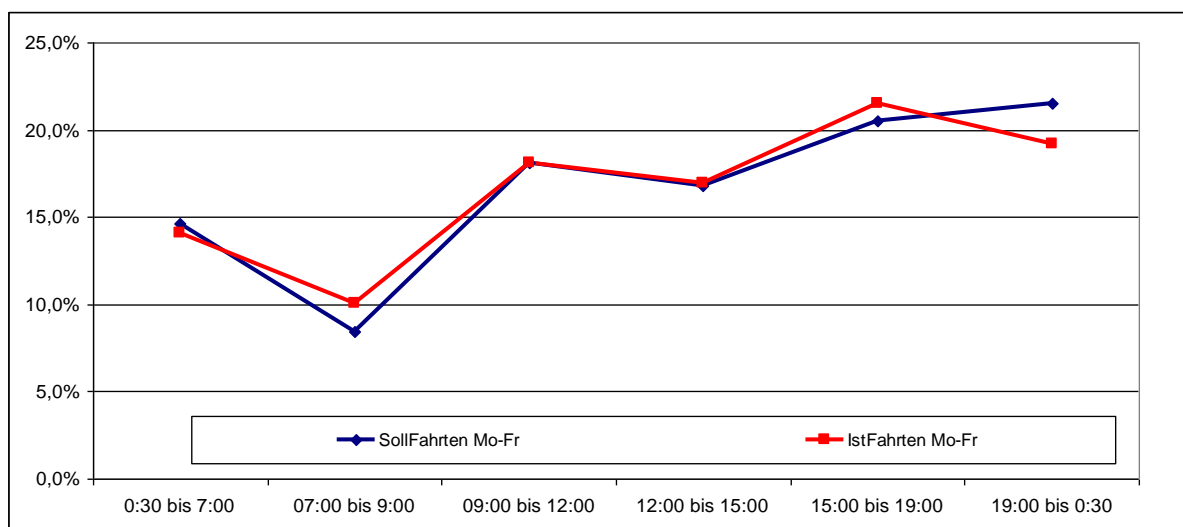
mit der Verteilung der

- Sollfahrten nach Linien, Richtung, Tages- und Zeitschichten (Merkmal Y)

auf Basis einer Regressions- und Korrelationsuntersuchung geprüft werden.

Hier gehen ein:

- a) Anzahl und Struktur der Sollfahrten mit Anteilen nach Linien, Richtung, Tages- und Zeitschichten (Merkmal X)
- b) Anzahl und Struktur der Messfahrten mit Anteilen nach Linien, Richtung, Tages- und Zeitschichten (Merkmal Y)



**Abbildung 12 Vergleich Struktur Sollfahrten mit Messfahrten**

Die zufällige Auswahl der Erhebungsfahrten und deren Proportionalität zur Grundgesamtheit werden bestätigt für den Fall, dass der Korrelationskoeffizient  $r_{xy}$  größer als der Zufallshöchstwert  $r_z$  des Korrelationskoeffizienten ist.

Folglich gilt die Zufälligkeit der Stichprobenauswahl für den Fall

$$r_{xy} > r_z.$$

### 3.3.4 Stichprobenfehler zur statistischen Maßzahl Mittelwert

Es ist Einhaltung des maximal zulässigen relativen Stichprobenfehlers bezogen auf die Maßzahl Mittelwert der Einsteiger für die Zählung je Verkehrsunternehmen (Schätzen des Mittelwertes in der Grundgesamtheit) nachzuweisen.

$$d_r = k \cdot \frac{V}{\sqrt{n}} \cdot \sqrt{\frac{N-n}{N-1}} \quad (12)$$

Dem VBB sind die zur Überprüfung der Berechnung des Stichprobenfehlers relevanten Daten

- realisierter Stichprobenumfang (Anzahl der durchgeführten Zählfahrten)
- Variationskoeffizient (Quotient aus Standardabweichung/Maßzahl Mittelwert)
- Gewählte Statische Sicherheit
- Grundgesamtheit (Anzahl der Fahrten im Erhebungszeitraum)

vorzulegen.

## Anlagenverzeichnis

- Anlage 1**      Regelkatalog zur Prüfung und Testierung der Messgenauigkeit
- Anlage 2**      Regelkatalog zur Systemabnahme von AFZS-Hintergrundsystemen
- Anlage 3**      Rahmenlastenheft AFZS-Onboard-Systeme
- Anlage 4**      Rahmenlastenheft AFZS-Hintergrundsysteme
- Anlage 5**      Bedingungen für die Verwendung von automatischen Fahrgastzählssystemen im SPNV im VBB
- Anlage 6**      Übersicht der Zeitschichten bzw. -klassen des VBB