

# Schlussbericht DWV/DTV 2010 des Personen-, Güter- und Lieferwagenverkehrs

---

Nationales Personen- und Güterverkehrsmodell des UVEK



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

**Bundesamt für Raumentwicklung ARE**  
**Office fédéral du développement territorial ARE**  
**Ufficio federale dello sviluppo territoriale ARE**  
**Uffizi federal da svilup dal territori ARE**

## **IMPRESSUM**

---

### **Herausgeber**

Bundesamt für Raumentwicklung (ARE)

### **Auftraggeber**

Bundesamt für Raumentwicklung (ARE)

Bundesamt für Strassen (ASTRA)

Bundesamt für Verkehr (BAV)

### **Autoren**

Florian Harder (Rapp Trans AG)

Anne-Kathrin Bodenbender (Rapp Trans AG)

Philipp Hegi (Rapp Trans AG)

### **Projektbegleitung**

Helmut Honermann (ARE)

Andreas Justen (ARE)

### **Produktion**

Rudolf Menzi, Leiter Kommunikation ARE

### **Zitierweise**

ARE (2016), Nationales Personen- und Güterverkehrsmodell des UVEK – DWV/DTV des Personen-, Güter- und Lieferwagenverkehrs, Bundesamt für Raumentwicklung, Bern.

### **Bezugsquelle**

[www.are.admin.ch](http://www.are.admin.ch)

## Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einleitung</b> .....	<b>1</b>
1.1. Ausgangslage und Zielsetzung .....	1
1.2. Verfügbare Grundlagen .....	1
1.3. Vorgehen.....	2
<b>2. Matrix-Korrekturverfahren und Validierungsgrundlagen</b> .....	<b>2</b>
2.1. Manuelle Matrix-Korrektur.....	3
2.1.1. Vorgehensbeschreibung am Beispiel einer isolierten Abweichung .....	3
2.1.2. Identifikation von „logischen Kausalketten“ .....	7
2.1.3. Berücksichtigung von Brüchen in „logischen Kausalketten“.....	7
2.1.4. Identifikation von Regionen mit insgesamt deutlich weniger resp. mehr Fahrten .....	9
2.1.5. Beachtung der Reihenfolge .....	9
2.2. Automatisierte Matrix-Korrektur (VStrom).....	10
2.2.1. Auswahl der zu berücksichtigenden Zählstellen.....	11
2.2.2. Einstellungsparameter.....	11
<b>3. Ergebnisse der Modelberechnungen</b> .....	<b>13</b>
3.1. Validierungsgrundlagen .....	13
3.1.1. Routenwahlverhalten.....	13
3.1.2. Vergleich mit Zähldaten.....	14
3.1.3. Fahrtlängenverteilung.....	15
3.1.4. Matrixgrösse und Quell-Ziel-Aufkommen pro Zone .....	16
3.2. DWV 2010: leichter und schwerer Güterverkehr auf der Strasse .....	16
3.3. DTV 2010: Personen-, leichter und schwerer Güterverkehr auf der Strasse .....	20
3.4. DTV 2010: Personenverkehr auf der Schiene .....	23
<b>4. Bewertung und Interpretation der Ergebnisse</b> .....	<b>26</b>
<b>Anhang 1 – Erläuterung der Anpassungsschritte</b> .....	<b>27</b>
<b>Anhang 2 – Ergänzte Attribute</b> .....	<b>29</b>



### **Abstract**

Im Rahmen des Projekts „DWV/DTV 2010 des Personen-, Güter- und Lieferwagenverkehrs“ werden die Nachfragematrizen des schweren und leichten Güterverkehrs des aktualisierten nationalen Personenverkehrsmodells (NPVM) durch die Matrizen aus der „Aggregierten Methode Güterverkehr“ (AMG) ersetzt und an die verfügbaren Zähldaten angepasst. Dadurch ergeben sich aktualisierte Modellzustände 2010 des durchschnittlichen Werktagesverkehrs (DWV) sowie des durchschnittlichen Tagesverkehrs (DTV) für die Strasse und Schiene. Das methodische Vorgehen zur Anpassung der Strassengüterverkehrsmatrizen an die Zähldaten wird im Bericht beschrieben.

### **Abrégé**

Dans le cadre du projet « TJMO/TJM 2010 du trafic voyageurs, marchandises et camionnettes », les matrices de demandes en trafic marchandises lourd et léger du Modèle national du trafic voyageurs (MNTP) sont remplacées par les matrices de la « Méthode agrégée pour le trafic marchandises » (MAM) et adaptées aux données de comptage disponibles. Il est ainsi obtenu un état actualisé des modèles 2010 du trafic journalier moyen des jours ouvrables (TJMO) et du trafic journalier moyen (TJM) sur route et sur rail. Le rapport détaille la méthode utilisée pour adapter les matrices du trafic routier marchandises aux données de comptage.



## Zusammenfassung

Mit der aktualisierten Version des Nationalen Personenverkehrsmodells (NPVM) für den Basiszustand 2010 und der Berechnung neuer Güterverkehrsmatrizen aus der „Aggregierten Methode Güterverkehr“ (AMG) stehen zwei erneuerte Grundlagen der Verkehrsnachfrage zur Verfügung.

Ziel der vorliegenden Arbeiten war es, die vorhandenen AMG-Nachfragematrizen an Zähldaten für den durchschnittlichen Werktagverkehr (DWV) und den durchschnittlichen Tagesverkehr (DTV) 2010 anzupassen. Gleichzeitig war dabei zu beachten, dass die Matrixänderungen einen möglichst minimalen Einfluss auf die Routenwahl der Verkehrsteilnehmer im Personenverkehr nehmen. Relevante Kenngrössen des Verkehrs (z.B. Reisezeitmatrizen im Personenverkehr) waren kontinuierlich zu prüfen. Die im Basiszustand 2010 ermittelten Nachfragematrizen für den motorisierten Individualverkehr (MIV) sowie den öffentlichen Personenverkehr (ÖV) wurden unverändert übernommen.

Die Arbeiten erfolgten in drei Schritten: Zu Beginn wurde die Güterverkehrsnachfrage aus der AMG plausibilisiert. Die Matrizen wurden anschliessend mit einem händischen Korrekturverfahren an die verfügbaren Zähldaten DWV resp. mit einem automatisierten Korrekturverfahren an die Werte des DTV angepasst. Abschliessend wurde die Validierungsgüte im Rahmen einer Ergebniskontrolle analysiert und dargestellt.

Durch die Anwendung einer manuellen Matrix-Korrektur sollte sichergestellt werden, dass die Eingriffe in die Matrixstrukturen nachvollziehbar sind und die grundlegenden Strukturen der Matrizen erhalten bleiben. Die vorgesehenen Arbeitsschritte wurden iterativ wiederholt bis das Gesamtergebnis mit Blick auf die Übereinstimmung mit Zähldaten als hinreichend angesehen werden konnte. Je nach struktureller Lage und Verkehrsmenge waren für die Korrekturen einzelner Zählstellen im DWV verschiedene Vorgehensweisen zu nutzen. Die manuellen Matrix-Anpassungen erfolgten anhand von Anpassungen per Streckenspinnen.

Die Modellwerte können erst dann als valide gelten, wenn eine hinreichend genaue Übereinstimmung mit den Zählwerten vorliegt. Als Vergleichsmengen standen Zähldaten aus dem Jahr 2010 zur Verfügung, welche hauptsächlich auf dem Nationalstrassennetz verortet sind. Als Kenngrösse wurde der so genannte „GEH-Wert“ herangezogen, der es ermöglicht, verschiedene Grössenklassen von Verkehrsstärken auf einer Skala derart zu normieren, dass einheitliche Grenzwerte der angestrebten Qualität, unabhängig von der Verkehrsmenge, verwendet werden können.

Eine weitere wichtige Kontrollgrösse war die Fahrtweitenverteilung. Hierbei wurden die Verteilungen der empirischen Daten aus der Gütertransporterhebung (GTE), den kalibrierten AMG-Matrizen gegenübergestellt.

Die DTV-Nachfragematrizen wurden, auf Grundlage der vorher erstellten DWV-Nachfragematrizen, mit dem automatisierten Korrekturverfahren VStrom bestimmt, da die DTV-Matrizen primär für Leistungsbetrachtungen und Untersuchungen zu Lärm- und Schadstoffemissionen benutzt werden. Als Resultat liegen Nachfragematrizen für den Güterverkehr im DWV sowie für den Personen- und Güterverkehr im DTV für das Jahr 2010 vor.

Die Übereinstimmung von Zählwerten und Belastungswerten von Last-/Sattelzügen und Lastwagen im DWV nach den manuellen Anpassungsschritten ist hoch. Die formulierten Qualitätsanforderungen wurden eingehalten, so dass in beiden Fällen mehr als 85% aller Validierungspunkte einen GEH-Wert von <5 aufweisen und die jeweilige Gesamtbelastung über alle Zählstellen einen

GEH-Wert von 4 nicht überschreitet. Der Abgleich der Modellwerte mit weiteren statistischen Werten sowie der Vergleich mit der Fahrtweitenverteilung zeigten ein gute Qualität der Ergebnismatrizen.

Mit manuellen Eingriffen in die AMG-Nachfragematrix für den Lieferwagenverkehr im DWV 2010 konnte das gesetzte Qualitätsziel nicht vollständig erreicht werden. Ein wichtiger Grund hierfür liegt in der Matrixstruktur mit sehr vielen kurzen Fahrten, welche eine manuelle Matrix-Korrektur schwieriger und aufwendiger macht. Insgesamt gesehen konnte ein noch gutes Ergebnis in der Anpassung und Umlegung der Lieferwagen-Nachfragematrix erreicht werden.

Im DTV werden die gesetzten Qualitätsziele der Nachfragematrizen des Personen- und Güterverkehrs aufgrund der Anwendung eines automatisierten Verfahrens sehr gut erreicht. Um den DTV-Zustand für den Personenverkehr auf der Schiene zu erstellen, waren nur wenige manuelle Anpassungsschritte notwendig. Das Ergebnis stellt eine mit den Zählwerten vergleichbare Belastungssituation dar.

## Résumé

La version actualisée du Modèle national du trafic voyageurs (MNTP) pour l'état de base 2010 et le calcul des nouvelles matrices du trafic marchandises issu de la « Méthode agrégée pour le trafic marchandises » (MAM) offrent deux bases renouvelées relatives à la demande en transport.

Les travaux présentés ici avaient pour but d'adapter les matrices de demande MAM disponibles aux postes de comptage utilisés pour le TJMO et le TJM 2010. Ce faisant, il fallait veiller à ce que les modifications apportées aux matrices influencent le moins possible le choix de l'itinéraire effectué par les usagers des transports dans le trafic voyageurs. Les variables pertinentes du trafic (p. ex. les matrices de temps de parcours dans le trafic voyageurs) devaient être vérifiées en continu. Les matrices de demande issues de l'état de base 2010 pour le transport individuel motorisé (TIM) et les transports publics des personnes (TP) ont été reprises telles quelles.

Les travaux ont suivi trois étapes. D'abord, la plausibilité de la demande en trafic marchandises issue de la MAM a été vérifiée. Les matrices ont ensuite été adaptées par correction manuelle aux données de comptage du TJMO disponibles et par une correction automatique aux valeurs du TJM. Enfin, la qualité de validation a été analysée et présentée dans le cadre d'un contrôle de résultat.

Le recours à une correction manuelle des matrices devrait assurer que les modifications touchant leurs structures puissent être retracées et leurs structures fondamentales maintenues. Les étapes prévues pour les travaux ont été répétées de manière itérative jusqu'à ce que le résultat global puisse être considéré suffisant sous l'angle de la concordance avec les données de comptage. Les procédures à utiliser pour corriger les différents postes de comptage du TJMO variaient selon la situation structurelle et le volume du trafic. Les adaptations manuelles des matrices ont été faites en recourant à la répartition du trafic d'un tronçon donné selon ses provenances et ses destinations.

Les valeurs des modèles ne peuvent être tenues pour valides qu'après obtention d'une concordance suffisamment précise avec les valeurs de comptage. Comme volumes de comparaison, des données de comptage de 2010 étaient disponibles, concernant principalement le réseau des routes nationales. La variable qui a été utilisée est la valeur GEH qui permet de calibrer sur une échelle différentes catégories de grandeur de densité de trafic de manière à pouvoir appliquer des valeurs-limites homogènes pour la qualité recherchée, indépendamment du volume de trafic.

La ventilation par distance parcourue a également été retenue comme indicateur de contrôle important. La ventilation des données empiriques recueillies dans l'enquête sur les transports de marchandises (ETM) a été mise en regard des matrices MAM calibrées.

Les matrices de demande TJM ont été déterminées selon le processus de correction automatisé VStrom, sur la base des matrices de demande TJMO établies au préalable, puisque les matrices TJM sont utilisées avant tout pour l'observation des prestations et l'examen des émissions de bruit et de substances polluantes. Il en résulte des matrices de demande pour le trafic marchandises de TJMO et pour le trafic voyageurs et marchandises de TJM pour l'année 2010.

Après les étapes d'adaptation manuelle, la concordance est élevée entre les valeurs de comptage et les valeurs de charge des camions et des semi-remorques du TJMO. Les exigences de qualité formulées ont été respectées, de sorte que dans les deux cas plus de 85 % de tous les critères de validation présentent une valeur GEH inférieure à 5 et que la charge globale de chaque cas ne

dépasse jamais une valeur GEH de 4. Il ressort de la comparaison des valeurs des modèles avec d'autres valeurs statistiques ainsi qu'avec la ventilation par distance parcourue que les matrices de résultats sont de bonne qualité.

Les interventions manuelles dans la matrice de demande MAM en trafic camionnettes du TJMO 2010 n'ont pas permis d'atteindre complètement l'objectif de qualité fixé. Ce constat s'explique largement par la structure de la matrice incluant de très nombreuses courses courtes, qui compliquent et alourdissent la correction manuelle de la matrice. Considéré sur l'ensemble, le résultat atteint par l'adaptation et la transposition de la matrice de la demande relative aux camionnettes reste bon.

Pour le TJM, l'utilisation d'une procédure automatisée a permis d'atteindre pleinement les objectifs de qualité fixés pour les matrices de demande en trafic voyageurs et trafic marchandises. Pour établir l'état du TJM pour le trafic ferroviaire voyageur, seules quelques adaptations manuelles successives ont été nécessaires. En termes de charge, le résultat représente une situation comparable aux valeurs de comptage.

## **1. Einleitung**

### **1.1. Ausgangslage und Zielsetzung**

Das Nationale Personenverkehrsmodell (NPVM) des UVEK ist ein etabliertes und oft genutztes Instrument, um zum Beispiel valide Aussagen zu Auswirkungen von verkehrspolitischen Massnahmen oder für die Beurteilung von Infrastrukturprojekten zu erhalten. Die aktuelle Version des NPVM wurde im Jahr 2014 (ARE 2014)<sup>1</sup> mit dem Basiszustand 2010 für den durchschnittlichen Werktagverkehr (DWV) aktualisiert. Angepasst und weiterentwickelt wurden dabei u.a. das Netzmodell, die Strukturdatenbank sowie das Nachfrage- und Umlegungsmodell. Zudem wurden die Modellbelastungen neu auf Querschnittszählungen kalibriert. Ein Basiszustand 2010 für den durchschnittlichen Tagesverkehr (DTV) wurde im Zuge der Modellaktualisierung 2010 des NPVM nicht erstellt.

Im Güterverkehr wurde die „Aggregierte Methode Güterverkehr“ (AMG)<sup>2</sup> aufgebaut, welche aktualisierte Nachfragematrizen für den leichten und schweren Güterverkehr zur Verfügung stellt.

Die Ausgangslage für die durchzuführenden Arbeiten baut somit auf zwei grundlegend erneuerten Input-Grössen auf: einem aktualisierten Modellzustand für den Personenverkehr sowie neu erstellten Matrizen für den Strassengüterverkehr aus der AMG.

Ziel des Vorhabens ist es, die vorhandenen AMG-Nachfragematrizen so anzupassen, dass sie die Routenwahl der Verkehrsteilnehmer (Personen- und Güterverkehr) im DWV und DTV 2010 nachbilden und die Streckenbelastungen der Zählstellen ausreichend valide treffen. Relevante Kenngrössen des Verkehrs sind einzuhalten. Die im Basiszustand 2010 ermittelten Nachfragematrizen für den Personenverkehr für den motorisierten Individualverkehr (MIV) und den öffentlichen Verkehr (ÖV) werden unverändert übernommen.

### **1.2. Verfügbare Grundlagen**

Um die gewünschten Ergebnismatrizen zu erzeugen stehen mehrere Grundlagendaten sowie einzelne Auswertungstools zur Verfügung:

- das Nationale Personenverkehrsmodell des UVEK für den Basiszustand 2010 des DWV für den MIV und ÖV (Strassennetz und Systemfahrplan)
- AMG-Nachfragematrizen des schweren und leichten Güterverkehrs (LZ/SZ und LW) sowie dazugehörige Auswertungen (z.B. Fahrtlängenverteilungen)
- AMG-Nachfragematrizen des Lieferwagenverkehrs (LI) sowie dazugehörige Auswertungen (z.B. Fahrtlängenverteilungen)
- eine Wagenverlaufsdatei für den Güterverkehr auf der Schiene
- Nachfragematrizen für den Personenverkehr MIV und ÖV
- Umlegungsparameter für den Personen- und Güterverkehr
- Zählraten des ASTRA für den Basiszustand DWV 2010
- Zählraten des ASTRA sowie ergänzend in einzelnen Kantonen für den Belastungszustand DTV 2010
- Auswertungstool zur Analyse von Verkehrsleistung und Fahrtlängenanteilen

---

<sup>1</sup> Bundesamt für Raumentwicklung (ARE) 2014, Nationales Personenverkehrsmodell des UVEK, Aktualisierung auf den Basiszustand 2010

<sup>2</sup> ARE (2015), Aggregierte Methode Güterverkehr (AMG) – Benutzeranleitung und technische Dokumentation, Bundesamt für Raumentwicklung, Bern.

ARE (2015), Aggregierte Methode Güterverkehr (AMG) – Methodenbericht, Bundesamt für Raumentwicklung, Bern.

### 1.3. Vorgehen

Der Vorgehens- und Bearbeitungsvorschlag orientiert sich an den in den Ausschreibungsunterlagen geforderten Schritten und wurde im Projektverlauf mit dem Auftraggeber abgestimmt.

Die folgenden Arbeitsschritte wurden durchgeführt:

- In einem ersten Schritt wurden die Güterverkehrsmatrizen zusammen mit dem Auftragnehmer der AMG plausibilisiert. Die Analyseergebnisse sind in die Ergebnisbetrachtung integriert (siehe Kapitel 3). Nach Übernahme und Nachvollzug (Plausibilisierung) der unkalibrierten Nachfragematrizen aus der AMG wurden diese zurück an den Bearbeiter der AMG zur Umsetzung von Anpassungen gegeben. Dieser Austausch wurde mehrmals durchgeführt, um über Anpassungen innerhalb der AMG die Qualität der Matrizen, im Sinne einer Annäherung an die Zähldaten, bereits zu verbessern.
- Die so generierten Matrizen aus der AMG wurden mit einem händischen Korrekturverfahren an die verfügbaren Zähldaten DWV (Vorgehen siehe Kapitel 2.1) resp. mit einem automatisierten Korrekturverfahren an die Werte des DTV (Vorgehen siehe Kapitel 2.2) angepasst.
- Die Auswertung der Validierungsgüte stellt die Ergebniskontrolle dar und ist in Kapitel 3 dargestellt.

## 2. Matrix-Korrekturverfahren und Validierungsgrundlagen

Matrix-Korrekturen sind notwendig, um modellmässig ermittelte Quell-Ziel-Matrizen an empirische Grundlagen unterschiedlicher Quellen anzupassen. Die empirischen Grundlagen dienen dabei als Validierungsgrundlagen. Da diese aus unterschiedlichen Quellen stammen und auch mit Unschärfen behaftet sind, ist ein Kompromiss bei der Matrix-Korrektur notwendig.

Bei den Verfahren zur Matrix-Korrektur wird zwischen dem manuellen und dem automatischen Verfahren unterschieden. Die Anwendung des Verfahrens hängt vom Verwendungszweck der Matrix ab. In der Verkehrsmodellierung im UVEK (VM-UVEK) wird grundsätzlich zwischen Modellzuständen und Belastungszuständen unterschieden.

- Bei Modellzuständen stammen die Quell-Ziel-Matrizen aus einer Nachfragerechnung oder guten empirischen Grundlagen. Es sind Modelle des DWV sowie der Spitzenstunden am Morgen (MSP) und Abend (ASP) vorhanden. Für Modellanwendungen werden qualitativ gute und in der Struktur unveränderte Quell-Ziel-Matrizen benötigt. Für Matrix-Anpassungen wird daher ein manuelles Matrix-Korrekturverfahren verwendet. Gegenüberstellungen mit Validierungsgrundlagen dienen dazu, die Güte der Matrix zu prüfen.
- Belastungszustände beziehen sich primär auf DTV-Zustände. Diese werden für die Ermittlung der Fahr- und Verkehrsleistungen sowie für die Ermittlung von Lärm- und Schadstoffemissionen genutzt. Dazu werden Verkehrsbelastungen und nicht die Quell-Ziel-Beziehungen benötigt. Die DTV-Belastungszustände aus den DWV-Matrizen werden folglich mit Hilfe eines automatischen Matrix-Korrekturverfahren abgeleitet. Die Erhaltung der Matrixstruktur ist bei der Ableitung der DTV-Belastungen weniger wichtig.

Im Rahmen dieser Arbeit wurden das manuelle wie auch das automatisierte Matrix-Korrekturverfahren verwendet. Die manuelle Korrektur wurde für die Modellzustände des DWV und die automatisierte Korrektur für die Belastungszustände des DTV eingesetzt. Die Grundprinzipien der beiden Vorgehensweisen werden im Folgenden vorgängig erläutert.

## 2.1. Manuelle Matrix-Korrektur

Durch die Anwendung einer manuellen Matrix-Korrektur soll sichergestellt werden, dass die Eingriffe in die Matrixstruktur nachvollziehbar sind und die grundlegenden Strukturen der Matrix erhalten bleiben. Die vorgesehenen Arbeitsschritte sind nachfolgend beschrieben. Sie werden iterativ wiederholt bis das Gesamtergebnis als hinreichend angepasst gilt.

Je nach struktureller Lage und Verkehrsmenge sind für die Korrekturen einzelner Zählstellen verschiedene Vorgehensweisen zu nutzen. Daher werden die Differenzen auf folgende Fragestellungen hin analysiert:

- Bestehen isolierte Abweichungen ohne nennenswerte Einflüsse auf andere Zählstellen?
- Lassen sich „logische Kausalketten“ identifizieren (z.B. 10% Mehrverkehr auf drei nachfolgenden Streckenabschnitten)
- Lassen sich Brüche in „logischen Kausalketten“ identifizieren (z.B. 10% Mehrbelastung auf drei nachfolgenden Streckenabschnitten, aber ein Spinnenarm weist 25% Minderbelastung auf)?
- Zeigt der Abgleich mit statistischen Werten Unterschiede, welche ein Hinterfragen der Matrixstrukturen notwendig werden lässt (Fahrtenanzahl, Fahrtenweite, etc.)?
- Existieren Regionen, welche insgesamt deutlich weniger resp. mehr Fahrten aufweisen als die Zielgrößen erwarten lassen?
- Wirken sich Routenwahleffekte negativ auf Belastungsdifferenzen aus?
- Welche Reihenfolge der Eingriffe sollte betrachtet werden? Dabei spielt es bspw. eine Rolle, ob es sich um eine zentral liegende Zählstelle handelt oder wie hoch die absolute Belastungsdifferenz ausfällt (Höhe der zu verändernden Nachfragemenge).

### 2.1.1. Vorgehensbeschreibung am Beispiel einer isolierten Abweichung

Die Hauptschritte der Matrix-Korrektur erfolgen anhand von Anpassungen von Streckenspinnen. Dieses Vorgehen wird nachfolgend am Beispiel der isolierten Spinne der Strecke 7025 erläutert (Abbildung 1).

Wie Abbildung 2 zeigt, besteht bei Strecke 7026 in Richtung Norden<sup>3</sup> eine Differenz zwischen Belastungs-<sup>4</sup> und Zählwert<sup>5</sup> von minus 48 Fahrzeugen,<sup>6</sup> dies entspricht einer Abweichung von minus 53 Prozent oder einem GEH-Faktor von minus 6.<sup>7</sup>

---

<sup>3</sup> Genau genommen handelt es sich um den Vektor 7026H.

<sup>4</sup>  $\text{Sum}(\text{BelFzg-VSys}(\text{LW,AP}))$

<sup>5</sup> ZW\_DWV\_LW\_2010\_verwendet

<sup>6</sup> Differenz = ZW\_DWV\_LW\_2010\_VERWENDET minus  $\text{Sum}(\text{BelFzg-VSys}(\text{LW,AP})) = 90 \text{ minus } 42 = 48$

<sup>7</sup> Zwar errechnet sich bei einer Bestimmung von GEH-Werte stets ein positiver Wert, doch durch eine Unterscheidung nach Unterschätzung (negativer GEH-Wert) und Überschätzung (positiver GEH-Wert) lässt sich die Aussage für die Ergebnisanalyse noch erweitern.

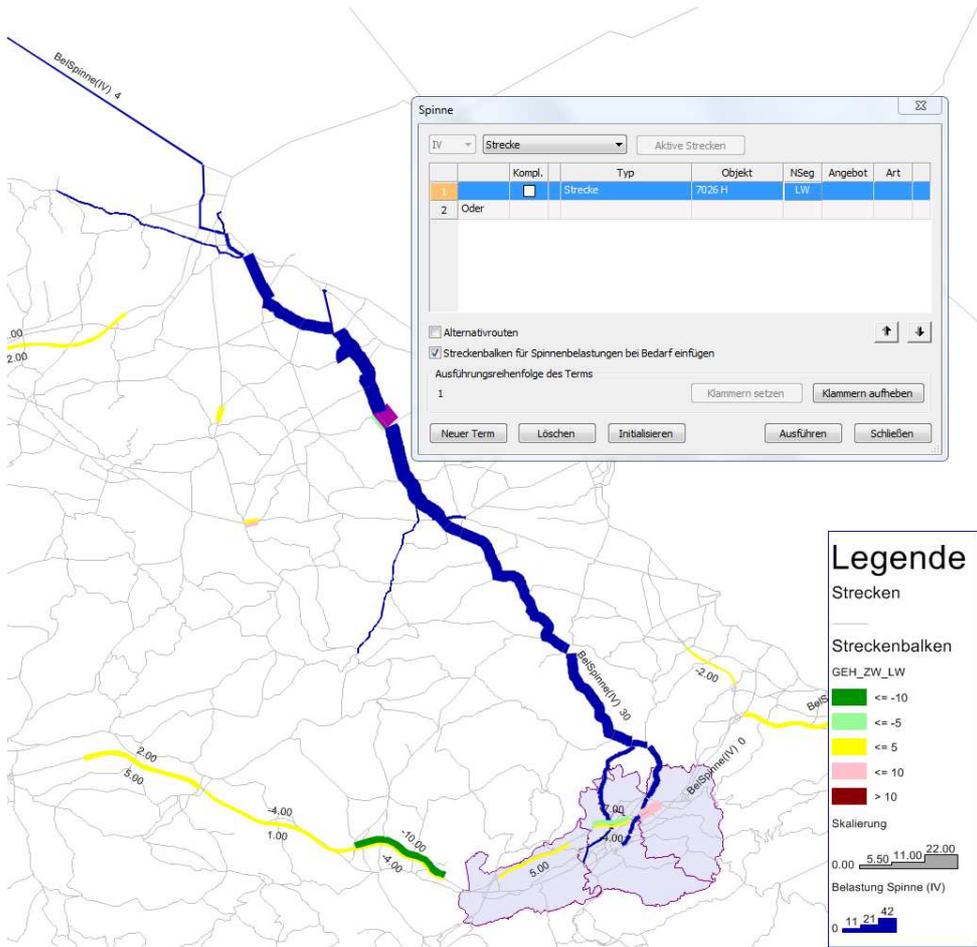


Abbildung 1: Zählstellenspinne mit isolierten Abweichungen

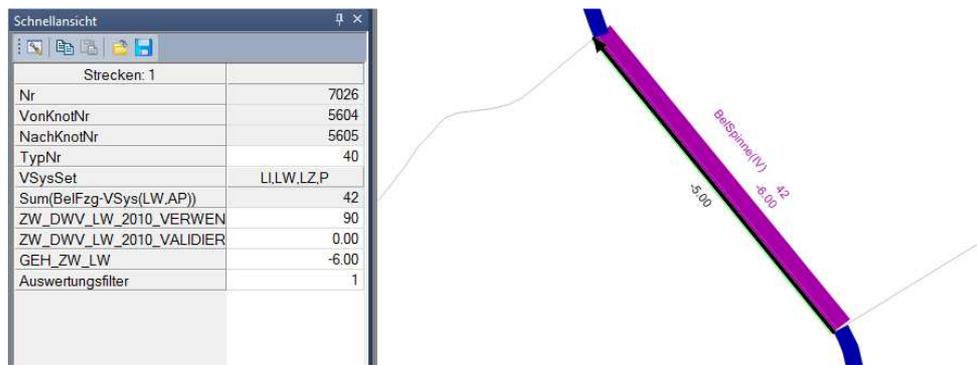


Abbildung 2: Abweichung der Zählstelle aus Abb. 1

Um die Belastung auf dieser Strecke an den Zählwert anzugleichen, muss die bestehende Verkehrsmenge um den Faktor 2.1 erhöht werden. Da es sich um eine isolierte Nachfragespinne handelt (d.h. es werden keine weiteren Zählstellen von den vorhandenen 42 Fahrten passiert), kann dieser Faktor unkorrigiert verwendet werden.

Der Ablauf erfolgt anhand der in Abbildung 3 vordefinierten Verfahrensschritte in Visum.

	<input checked="" type="checkbox"/>	Kombination von Matrizen und Vektoren	20 LW_alt		
	<input checked="" type="checkbox"/>	Nachfragematrix aus Routenbelastungen speichern	LW LW	LW_Spinne	
	<input checked="" type="checkbox"/>	Matrix öffnen	21 LW_Spinne	LW_Spinne	
	<input checked="" type="checkbox"/>	Kombination von Matrizen und Vektoren	22 LW_ohne Spinne		
	<input checked="" type="checkbox"/>	Kombination von Matrizen und Vektoren	93 LW_Rapp_neu		<< Koeffizient

Abbildung 3: Verfahrensschritte in Visum

Der erste Verfahrensschritt „Kombination von Matrizen und Vektoren“ setzt die vorhandene Nachfragemenge in die Matrix „20 LW\_alt“. Die beiden folgenden Schritte speichern die zuvor ermittelte Spinnennachfrage extern resp. überschreiben die vorhandene Nachfragemenge in Matrix „21 LW\_Spinne“.

Die Gesamtnachfrage der Matrix „20 LW\_alt“ lässt sich in zwei Teile untergliedern: jene Verkehre, welche über den Spinnenquerschnitt fahren, und solche, welche es nicht tun. Um ausschliesslich jene Fahrten zu betrachten, welche über den Spinnenquerschnitt verlaufen, wird die Matrix „22 LW\_ohne Spinne“ berechnet („20 LW\_alt“ minus „21 LW\_Spinne“). Abschliessend wird die unkorrigierte Nachfrage („22 LW\_ohne Spinne“) mit der korrigierten Spinnennachfrage („21 LW-Spinne“ \* Koeffizient) zusammengefasst („93 LW\_Rapp\_neu“) und bildet wiederum die Basis für die nachfolgende, nächste Spinnenkorrektur („20 LW\_alt“).

Die neue Nachfragematrix wird im Anschluss entsprechend der vorhandenen Umlegungsparameter auf das Netz umgelegt.<sup>8</sup> Die Auswertung erfolgt auf Basis eines Excel-Tools, welches an sämtlichen Zählstellen die Übereinstimmung von Belastungs- und Zählwert betrachtet. Als Ergebnis liegt für jeden Analysepunkt ein GEH-Wert vor, welcher zur Visualisierung der neuen Abweichungen in den Netzgraphen des Modells zurückgespielt wird (Attribut „GEH\_LW“).<sup>9</sup>

Es wird der Anteil an Zählstellen mit einem GEH-Wert von unter 5, unter 10 oder unter 20 sowie ein GEH-Wert für die Summe der Belastungen über alle Zählstellen ermittelt (siehe Abbildung 4). Zudem werden eine Ausweisung des Korrelationskoeffizienten und eine graphische Gegenüberstellung von Belastungs- und Zählwerten (Streudiagramme) durchgeführt (siehe Abbildung 5).<sup>10</sup>

	GEH gesamt	GEH <5	GEH <10	GEH <20	Korr	R^2	N
LW	4	69%	92%	99%	0.976	0.953	582

Abbildung 4: Beispiel statistische Auswertung

<sup>8</sup> Aufgrund der relativ langen Berechnungszeiten für eine Umlegung werden mehrere Korrekturschritte zusammengefasst und ihr gemeinsames Ergebnis analysiert. Es handelt sich in diesen Fällen jedoch ausschliesslich um solche Korrekturschritte, welche sich nicht überlagern, d.h. Nachfragemengen aus einer Spinne sind nicht in anderen Spinnen enthalten.

<sup>9</sup> Im Gegensatz zur eigentlichen Berechnung der GEH-Werte werden hier Vorzeichen genutzt, um die Minder- oder Mehr-tendenz darstellen zu können. Dies erfolgt durch einen Excel-Filter.

<sup>10</sup> Die rote Diagonale im Streudiagramm symbolisiert die Linie einer vollständigen Übereinstimmung von Belastungs- und Zählwerten. Punkte unterhalb dieser Linie weisen eine Minder-, Punkte oberhalb eine Mehrbelastung aus. Die vier grünen Linien zeigen die Stellengrenzen der GEH-Werte 5 und 10 an.

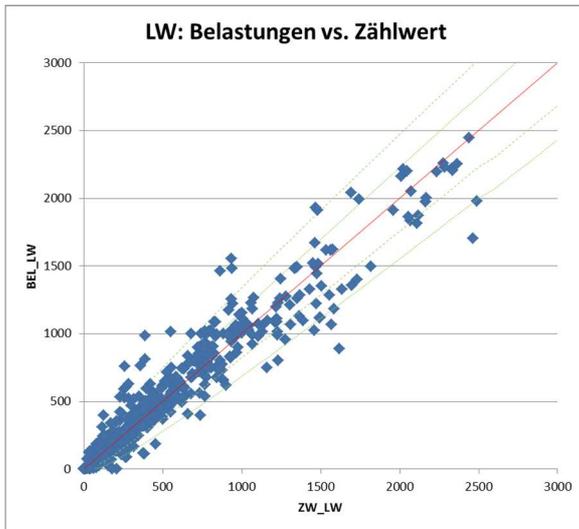


Abbildung 4: Streudiagramm

Zeigt sich, dass die Matrixeingriffe einen positiven (Gesamt-)Effekt aufweisen, wird das Ergebnis als neuer Run gespeichert. Die vorgenommenen Änderungen je Run werden dokumentiert. Damit sind die sukzessiven Auswirkungen der händischen Korrekturen vollständig nachvollziehbar (siehe Abbildung 5).

Strecken-ID	Name/Ort	Richtung	Ist	Soll	berechneter Faktor	genutzter Faktor	
6550R	Belp	Süd	562	124	0.22	0.25	
6550H	Belp	Nord	439	116	0.26	0.25	Teilspinne
6889R	Burgistein	Nord				3.00	Teilspinne
6889H	Burgistein	Süd				3.00	
7014R	Güttingen	West	75	135	1.80	1.20	
7014H	Güttingen	Ost	74	120	1.62	1.10	
2623H	Köniz	Süd				2.20	Teilspinne
2623R	Köniz	Nord				2.20	Teilspinne
6689H	Hindelbank	Nord	138	360	2.61	2.30	
6689R	Hindelbank	Süd	117	347	2.97	2.30	
Matrixsumme vorher			245477				
Matrixsumme nachher			246098				
Differenz			621				
Differenz %			0.25%				
VSYS			<b>LW</b>				
LI	GEH gesamt	-1368	0%	0%	11%		N
LW		5	69%	92%	99%	Korr	501
LZ		2	86%	98%	100%	#DIV/0!	582
P		-4141	0%	0%	0%	#DIV/0!	581
						R^2	755
						#DIV/0!	
						#DIV/0!	

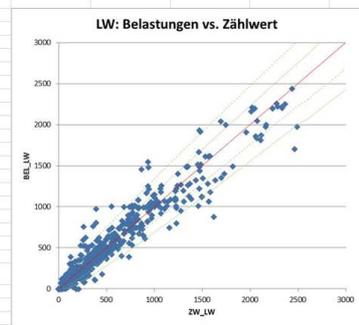


Abbildung 5: Dokumentation

In Ergänzung zu diesen Auswertungen werden die Veränderungen der Matrixsumme resp. der Quell-Zielsummen der einzelnen Zonen betrachtet und die Fahrtlängenverteilung analysiert.<sup>11</sup>

<sup>11</sup> Da diese Analyse relativ aufwändig ist (Speichern der Matrizen und Umlegung in einer anderen Visum-Datei mit differenzierten Umlegungsparametern, Ausnullen der nicht-schweizerischen Verkehrsrelationen, Erstellung eines Matrixhistogrammes mit Klassifikationsmatrix etc.), wird dieses Verfahren nur bei massiveren Matrizenveränderungen oder nach mehreren Runs durchgeführt.

### **2.1.2. Identifikation von „logischen Kausalketten“**

Generell besteht das Ziel, die Eingriffe in die Nachfragematrizen so gering wie möglich zu halten. Daher ist es sinnvoll, mehrfache Korrekturen zu vermeiden. Es wird in einem ersten Schritt versucht „logische Kausalketten“ zu identifizieren resp. sich widersprechende Belastungsabweichungen gemeinsam zu betrachten.

Die Identifikation erfolgt visuell per Darstellung der plus/minus-GEH-Abweichungen sowie einem Vergleich von Spinnenbelastungen und ihrer Zusammensetzungen bzgl. Quell- und Zieldestinationen.

Ein wesentlicher Vorteil der händischen Vorgehensweise ist, dass zu jedem Zeitpunkt vollständige Informationen über die Reihenfolge und die vorherigen Korrekturschritte bestehen. Mit dem hier beschriebenen Arbeitsschritt sollen unterschiedlich starke Abweichungen gleicher Richtung gemeinsam, d.h. über den Einsatz eines Faktors über alle Zählstellen der Spinne, angepasst werden. Bei diesem Vorgehen kann es sinnvoll sein, die Korrektur-Koeffizienten abzumindern. Beispielsweise kann sich rechnerisch ein Wert von 1.8 als sinnvoll ergeben (berechneter Faktor), verwendet wird hingegen ein Koeffizient von 1.2 (vergleiche Strecke 7014R in Abbildung 5), da dieser bezogen auf alle Zählstellen einen positiven Gesamteffekt (Reduktion der Abweichungen) bewirkt. So ist es möglich, Einflüsse auf andere Zählstellen weniger deutlich ausfallen zu lassen.

### **2.1.3. Berücksichtigung von Brüchen in „logischen Kausalketten“**

Oftmals ist es jedoch nicht möglich, negative Veränderungen an anderen Zählstellen durch Abmindern des Koeffizienten in einem sinnvollen Rahmen zu halten. Folglich würde sich unter Umständen ein „Hin- und Her-Korrigieren“ einstellen, bei welchem die nachfolgenden Anpassungsschritte die Genauigkeitsgewinne der vorangegangenen Schritte vollständig aufheben. In diesen Fällen ist es sinnvoll, die anzupassende Spinne einzuschränken.

Hierbei wird durch (positive oder negative) Einschränkungen eine Teilspinne erzeugt.<sup>12</sup> Abbildung 6 und Abbildung 7 zeigen die Auswirkungen einer negativen Einschränkung durch Ausschliessen der Strecke 161H.

Die Entscheidung ob und wie eine Belastungsspinne einzuschränken ist, erfolgt aufgrund einer Analyse der Spinnenzusammensetzung bzgl. Quell- und Zieldestinationen und der Abweichungen betroffener Zählstellen sowie unter Berücksichtigung von vorherigen Anpassungsschritten.

---

<sup>12</sup> Es wird nur ein Teil der Gesamtspinne über den betrachteten Querschnitt zur Anpassung der Matrix genutzt.

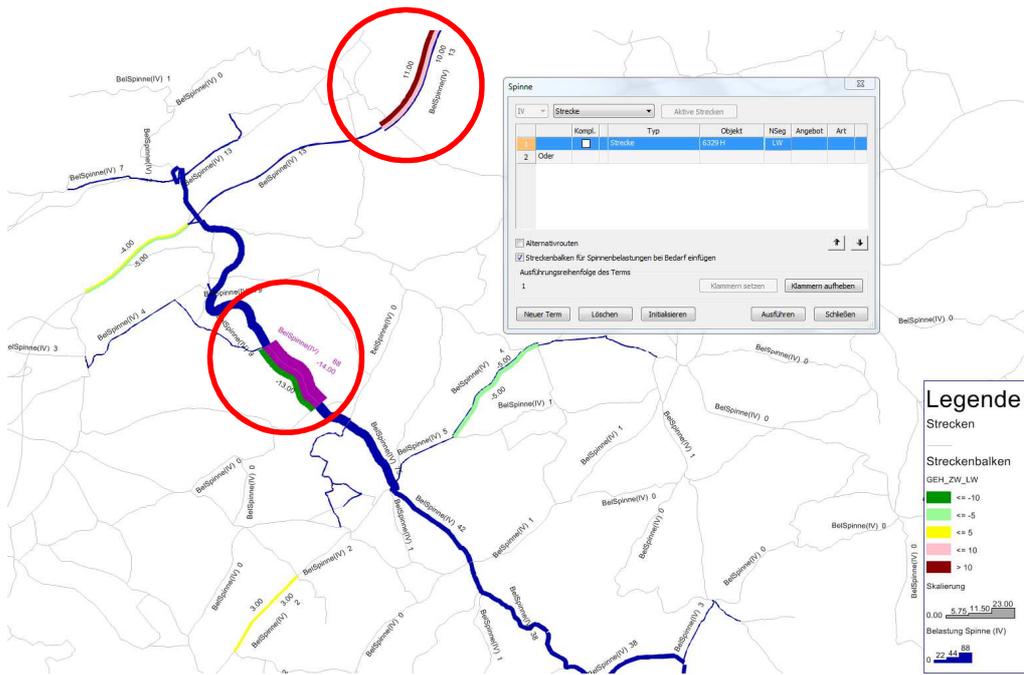


Abbildung 6: Spinne Strecke 6329H

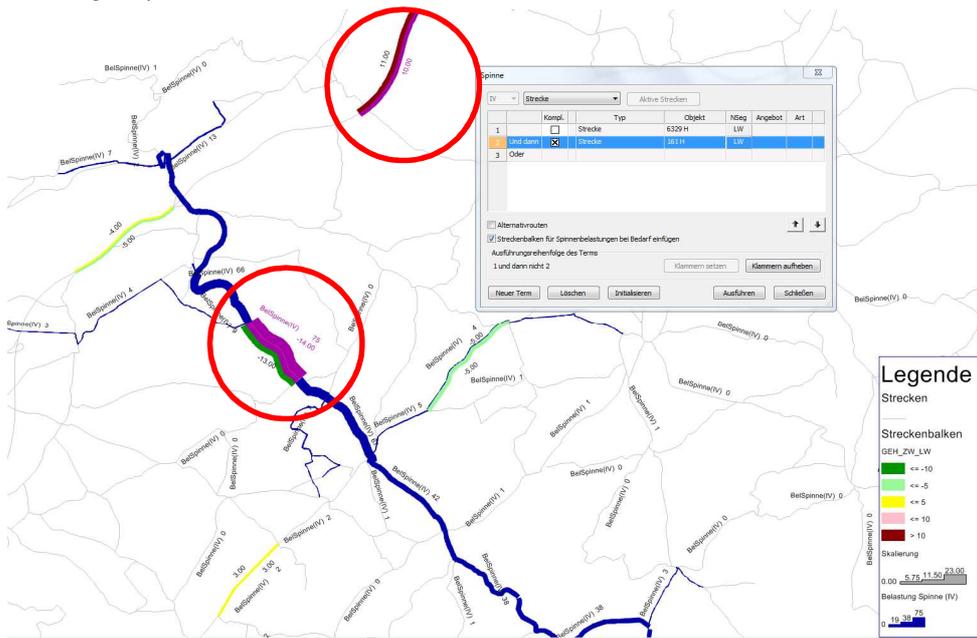


Abbildung 7: Spinne Strecke 6329H bei Ausschluss der Strecke 161H

Die Gegenüberstellung in der folgenden Tabelle der beiden Rechenwege zeigt den Unterschied:

	Belastung	alter GEH	Spinnen- belastung	Zählwert	Koeffizient	Korrigierte Belastung	neuer GEH
<b>Einfache Spinnenbetrachtung</b>							
6329H	88	-13.8	88	273	3.10	273	0.0
161H	1910	10.4	13	1481	3.10	1937	11.0
<b>Betrachtung einer Teilspinne</b>							
6329H	88	-13.8	75	273	3.46	273	0.0
161H	1910	10.4	0	1481	1.00	1481	10.4

Tabelle 1: Gegenüberstellung Rechenwege

Die einfache Spinnenbetrachtung ergibt zwar für die Strecke 6329H einen GEH von 0.0. Da jedoch der Koeffizient auch auf die Strecke 161H angewandt wird, verschlechtert sich der dortige GEH von 10.4 auf 11.0. Durch die Betrachtung einer Teilspinne lässt sich dieser negative Effekt jedoch ausschliessen, so dass die Strecke 161H nicht beeinträchtigt wird.<sup>13</sup>

#### 2.1.4. Identifikation von Regionen mit insgesamt deutlich weniger resp. mehr Fahrten

Es kann durchaus der Fall auftreten, dass das gesamte Netz oder einzelne Teilbereiche deutlich weniger resp. mehr Fahrten beinhalten als gewünscht. Anstelle einer Streckenspinne kann eine Bezirks- oder Gebietsspinne erzeugt werden. Zu Beginn der Kalibration wurde zum Beispiel in einem ersten Schritt die gesamte LW-Matrix um den Faktor 0.93 abgesenkt, da so erhebliche Genauigkeitsgewinne erzielt werden konnten.

Der gewählte Faktor lässt sich erklären als der Wert mit dem sich die Trendlinie der Punktwolke an die optimale Lorenzgerade angleichen lässt. Bei einer Unterschätzung (die Belastungswerte liegen i. Allg. niedriger als die Zählwerte) fällt dieser Faktor  $>1$  aus, bei einer Überschätzung (die Belastungswerte liegen i. Allg. höher als die Zählwerte)  $<1$ .

Der Faktorwert lässt sich nicht hinreichend genau mathematisch bestimmen, da nicht die Gesamtheit der Nachfragematrix sondern die Gesamtheit der Belastungen über alle Zählstellen korrigiert wird (eine Matrixfahrt kann sich u.a. auf mehrere Anpassungspunkte auswirken). Daher wird der Korrekturfaktor iterativ bestimmt.

#### 2.1.5. Beachtung der Reihenfolge

Die Reihenfolge der manuellen Anpassungen richtet sich nach der Relevanz der zu erwartenden Veränderungen. Zwar entfaltet nicht jede Korrektur überregionale Effekte, es müssen jedoch stets die Einflussstärken der einzelnen Zählstelle auf das Gesamtnetz betrachtet werden. Dabei spielt

<sup>13</sup> Es besteht bei diesem Vorgehen die Gefahr, dass die Struktur der Ausgangsmatrix wesentlich stärker verändert wird als bei einer einfachen Spinnenbetrachtung. Daher ist es hier umso wichtiger, kontrollierende Analysen durchzuführen (Wie verändern sich die Quell- resp. Zielverkehrsmengen? Welche Auswirkungen ergeben sich für die Fahrtlängenverteilungen? etc.).

es bspw. eine Rolle, ob es sich um eine zentral liegende Zählstelle handelt oder wie hoch die absolute Belastungsdifferenz ausfällt (Höhe der zu verändernden Nachfragemenge). Je nach Bedeutung der Strecken ist der Zeitpunkt der Korrektur zu beachten.

Lage	Ausbreitung	Verkehrsmenge	Abweichung	Wann
zentral	überregional	hoch	hoch	1. Priorität
dezentral	überregional	hoch	hoch	1. Priorität
zentral	lokal	hoch	hoch	2. Priorität
zentral	überregional	hoch	niedrig	3. Priorität
zentral	lokal	gering	niedrig	4. Priorität
dezentral	lokal	gering	niedrig	4. Priorität

Tabelle 2: Prioritätenreihung

Tabelle 2 stellt den Versuch dar, einen Eindruck über die Reihenfolge der realisierten Korrektur-eingriffe zu vermitteln. Es ist hier allerdings zu beachten, dass zudem Effekte durch benachbarte Zählstellen (logische oder inkonsistente Ketten etc.) die Prioritätenreihung verändern können.

Allerdings ist es nicht sinnvoll, die genannte Prioritätenreihung immer strikt einzuhalten. So ist ein Zusammenfassen von mehreren Anpassungsschritten zulässig, wenn sich die betroffenen Quell-Ziel-Fahrten nicht überschneiden. So kann es vorkommen, dass z.B. isoliert liegende Zählwerte der 4. Priorität zuerst korrigiert werden.<sup>14</sup> Generell lässt sich folgende Reihenfolge der Schritte zusammenfassen: a) Korrekturen über die Gesamtmatrix oder grosse Teile (Gebiete), b) Korrektur von isolierten Abweichungen (auch im Bündel, wenn sinnvoll und möglich), c) Korrektur von logischen Kausalketten, d) Korrektur von Kausalketten inkl. widersprüchlicher Abweichungen (mit „Brüchen“).

Wie eingangs erwähnt, wurden die händischen Korrekturen zur Anpassung der DWV-Strassengüterverkehrsmatrizen an die vorhandenen Zählwerte angewendet.

## 2.2. Automatisierte Matrix-Korrektur (VStrom)

Das Matrixkorrekturverfahren VStrom ermöglicht die automatisierte Korrektur von vorhandenen Matrizen anhand aktueller Zähl- und Vergleichswerte. Die neuen Matrixwerte werden in einem iterativen Verfahren berechnet. Dazu werden unterschiedliche Änderungen der Routenwahl bestimmt, mit dem Ziel einer Annäherung der Belastungs- an die Zählwerte.

Der Vorteil der Methode VStrom liegt in einer recht schnellen und aussagekräftigen Lösungsfindung. So lassen sich Fortschreibungen von Matrizen mit nur kleineren Veränderungen (z.B. Aktualisierung von wenigen Zählstellen von einem auf das nächste Jahr) gut automatisiert bestimmen.

<sup>14</sup> „Isoliert“ heisst in diesem Kontext, dass die betrachteten Verkehrsströme nur über wenige Zählstellen mit vergleichbaren GEH-Werten verlaufen.

Der Nachteil liegt in der Lösungsfindung innerhalb des Verfahrens. So sind die Ergebnismatrizen durch die Korrekturwerte meistens unterbestimmt, d.h. für die Zählwerte liegen unendlich viele Lösungsmatrizen vor. Das Verfahren wählt daher (stark vereinfacht ausgedrückt) die beste Verteilungslösung gemäss einer internen Bewertungsfunktion. Da diese meist nichtlinear verläuft, wird das Problem iterativ z.B. nach dem Newton-Verfahren gelöst. Die Nachvollziehbarkeit eines rein automatisierten Verfahrens ist somit aber nicht vollständig gegeben, auch wenn das Verfahren zwar einstellbare Einschränkungen berücksichtigen kann (z.B. Vorgabe der Fahrtweitenverteilung oder Anzahl Gesamtfahrten).

Die Abwägung des Einsatzes dieses Visum-Moduls liegt also zwischen den Ansprüchen an Geschwindigkeit, Ergebnisgüte und den Nutzungsmöglichkeiten des Ergebnisses.

Wie eingangs erwähnt, wurde das automatisierte Verfahren mit VISUM VStrom-Fuzzy für die Anpassung der DWV-Matrizen an DTV-Zählwerte vorgenommen.

### **2.2.1. Auswahl der zu berücksichtigenden Zählstellen**

Grundsätzlich lässt sich die Gesamtheit aller Zählstellen in einem Schritt bestimmen. Jedoch kann es aus verschiedenen Gründen ratsam sein, nur eine Teilmenge der Anpassungspunkte zu berücksichtigen resp. in verschiedenen Schritten zu beachten. Es gilt hierbei neben der Performance (u.U. steigt der Bedarf an Arbeitsspeicher und Berechnungszeit extrem an) auch die Lösungsfindung für „Detailprobleme“ zu bedenken (u.U. lässt sich die Lösungsmenge somit besser einschränken).

### **2.2.2. Einstellungsparameter**

Für die Durchführung der automatisierten Matrizenkorrektur wurden die in den Abbildungen 9 und 10 dargestellten Einstellungsparameter verwendet.

Eine Kenngrössenverteilung wurde dem Verfahren nicht zugrunde gelegt. Die resultierenden Fahrtlängenverteilungen wurden jedoch analog zum DWV auf allfällige grössere Veränderungen zum vorherigen Matrixzustand resp. zur empirischen Verteilung des DWV betrachtet.

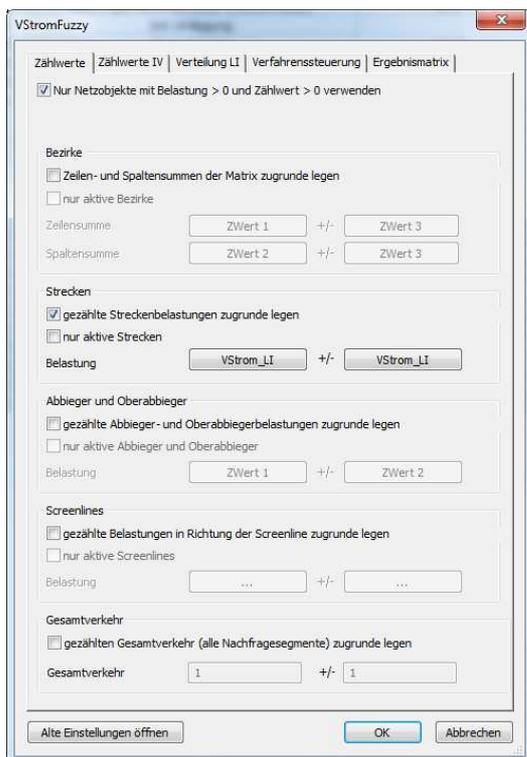


Abbildung 9: VStromFuzzy – Zählwerte

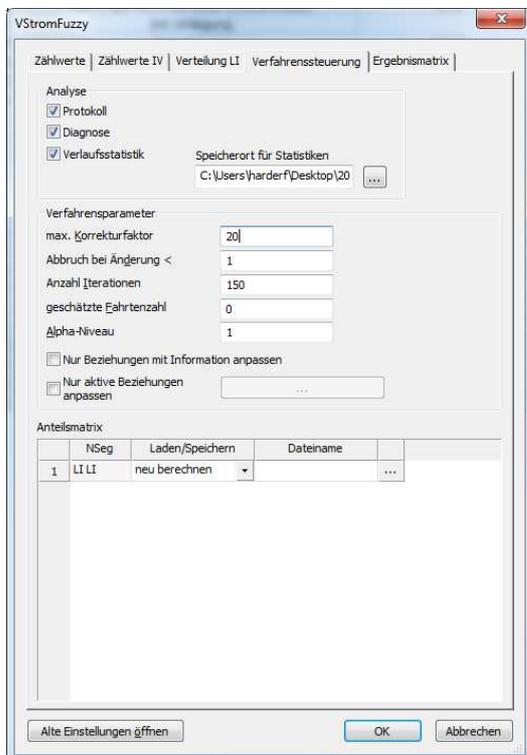


Abbildung 8: VStromFuzzy –Verfahrenssteuerung

### 3. Ergebnisse der Modelberechnungen

#### 3.1. Validierungsgrundlagen

Die Nachfragematrizen wurden mittels der oben beschriebenen Methoden korrigiert. Als Auswertungskenngrößen, mit denen die Qualität der Umlegungsergebnisse (Ähnlichkeit zu den Zählwerten) bewertet wird, stehen zur Validierung die folgenden Kenngrößen zur Verfügung.

##### 3.1.1. Routenwahlverhalten

Ein wichtiger Validierungsschritt ist die Kontrolle des Routenwahlverhaltens. Nur wenn sich die Verkehrsmengen plausibel im Netz verhalten, ist eine verbessernde Korrektur möglich. Daher ist es sowohl vor der Anwendung der Korrekturverfahren als auch während der einzelnen Korrekturschritte notwendig, die Umlegungsergebnisse zu überprüfen.

Diese Überprüfung erfolgt anhand von Streckenspinnen. So werden die Quell- und Zielregionen der über den Spinnenabschnitt fahrenden Verkehre, aber auch das Routenwahlverhalten zwischen den Start- und Zielpunkten betrachtet.

So können sich einzelne Differenzen zwischen Belastungen und Zählungen aufgrund der Netzgestaltung einstellen. Die folgende Abbildung zeigt ein solches Beispiel.

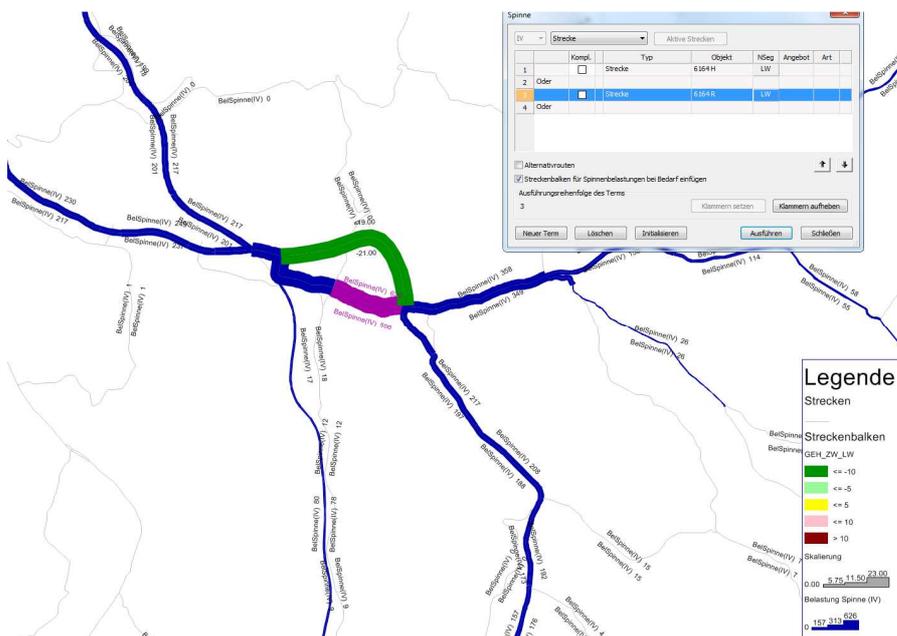


Abbildung 11: Routenwahleffekte

Die Spinnenstrecke in der Abbildung 11 weist Verkehr auf, wobei jedoch über die nördlich liegende Umfahungsstrecke keine Fahrten verkehren (obwohl dies durch den Netzgraphen möglich wäre).<sup>15</sup> Den Verkehr auf die gewünschte Strecke zu verlagern, ist weniger eine Frage der Verkehrsmenge als vielmehr durch Anpassungen des Netzes herbeizuführen.

<sup>15</sup> Es handelt sich bei diesem Beispiel um die Umfahrung von Sissach (A22).

Die Kriterien ob es sich bei solchen Effekten um Netz- oder Matrixfehler handelt, lassen sich i. Allg. am besten mittels lokaler Kenntnisse beantworten. Eine Analyse der benachbarten Zählstellen sowie der Spinnenbelastungen geben zusätzlich Aufschluss.

Zudem muss es sich nicht zwingend um Netz- noch um Matrixfehler handeln, welche diese Abweichungen erzeugen. Es kann durchaus sein, dass es die Netzstruktur (Strecken und Anbindungen) nicht zulässt, die Zählwerte mit der verifizierten Nachfrage abzubilden. Dies tritt vor allem bei nachträglichen Netzveränderungen ein (siehe Fall oben: Eröffnung einer neuen Umfahrungsroute). Bei diesem Beispiel sind die verkehrlichen Auswirkungen sehr lokal und haben auf nationale Fragestellungen keinen Einfluss. Bei lokalen Betrachtungen ist das gesamte Verkehrssystem in diesem Bereich zu prüfen, entsprechend zu ergänzen und neu auf die verfügbaren Zählwerte anzupassen.

Eine andere Ursache für das abweichende Routenverhalten kann in der Zonenfeinheit des Modells begründet sein. So kann es lokal zu einigen wenigen kleineren Fehlern kommen, welche aber für die Gesamtfragestellung keine Relevanz entfalten und daher nicht weiter berücksichtigt werden müssen.

Insgesamt wurden zwei Bereiche mit nicht plausiblen Routenwahlverhalten identifiziert: Im Bereich Grellingen sowie die Umfahrung Sissach (siehe Beispiel oben).

### **3.1.2. Vergleich mit Zählwerten**

Der Vergleich mit den Zählwerten stellt die Kernkontrolle der Korrekturschritte dar. Die Modellwerte können erst dann als valide gelten, wenn eine hinreichend genaue Übereinstimmung mit den Zählwerten vorliegt.

Als Vergleichsmengen stehen Zählwerte aus dem Jahr 2010 zur Verfügung, welche vom ARE aufbereitet und vor Verwendung plausibilisiert wurden. Sie sind hauptsächlich auf dem Nationalstrassennetz verortet, werden jedoch vor allem in den Agglomerationen durch weitere Datensätze ergänzt.

Korrelationskoeffizient und Bestimmtheitsmass  $R^2$  geben als dimensionslose Grössen wichtige Aussagen über den Grad des linearen Zusammenhangs (vollständig linearer Zusammenhang bei einem Wert von 1) sowie die Varianz der abhängigen Variablen (bei einem Wert von 1 lassen sich die Belastungswerte vollständig durch ein lineares Regressionsmodell anhand der Zählwerte erklären).

Für die Überprüfung der Genauigkeit von modellierten Verkehrsbelastungen wird der so genannte „GEH-Wert“ verwendet. Diese Kenngrösse ermöglicht es, dass verschiedene Grössenklassen von Verkehrsstärken auf einer Skala derart normiert werden, dass einheitliche Grenzwerte der angestrebten Qualität, unabhängig von der Verkehrsmenge, verwendet werden können. Zur Beurteilung der Qualität und Brauchbarkeit der modellierten Verkehrsstärken sind drei Ausprägungsbereiche definiert:  $<5$  (sehr gute Qualität),  $<10$  (brauchbare Qualität) und  $<20$  (nicht akzeptable Qualität).

$$GEH_i = \sqrt{\frac{2(M_i - Z_i)^2}{M_i + Z_i}}$$

GEH<sub>i</sub>      Qualitätskenngrösse der Zählstelle i  
 M<sub>i</sub>        modellierte Verkehrsbelastung an Zählstelle i  
 Z<sub>i</sub>        gezählte Verkehrsmengen an Zählstelle i

Der im Allgemeinen angestrebte Qualitätsstandard hinsichtlich der Übereinstimmung beider Werte liegt für einzelne Strecken bei einem GEH-Faktor von < 5 (d.h. bei einem Zählwert von 10'000 darf der Modellwert nur zwischen 10'500 und 9'500 liegen). Es wird darauf abgezielt, dass 85% aller Validierungspunkte innerhalb dieses Spektrums liegen. In der Gesamtheit sollte ein GEH-Wert von < 4 für die Summe der Belastungen über alle Zählstellen eingehalten werden.<sup>16</sup>

Die abgebildeten Streudiagramme zeigen zudem die Korrekturgenauigkeit graphisch auf, wobei auf den X-Achsen die Zählwerte und auf den Y-Achsen die Modellwerte bestimmt sind. Bei vollständig übereinstimmenden Werten liegt der Punkt auf der Diagonalen. Je näher ein Wertepaar an der roten Diagonalen liegt, desto genauer stimmen Zähl- und Belastungswert überein. Die vier grünen Linien zeigen die Grenzen der GEH-Schranken 5 resp. 10 an.

Es gilt aber ferner zu beachten, dass sich die Verteilung von Kontrollpunkten mit sehr guter Qualität nicht auf einzelne Teilräume konzentrieren darf, sondern über den gesamten Modellraum recht homogen vorliegen sollte. Daher ist es auch notwendig eine mehr oder minder gleichverteilte Dichte an Zählwerten zur Verfügung zu haben (d.h. keine räumliche Exklusionen).

Auch sind die Zählwerte auf ihre Brauchbarkeit hin zu überprüfen. Dieser Schritt ist bereits vorgängig zur Korrektur durchzuführen, so dass Erhebungs- oder Auswertungsfehler (Messungenauigkeiten) grundsätzlich bereinigt werden. Doch auch während der einzelnen Korrekturschritte kann sich herausstellen, dass einzelne Zählwerte nicht sinnvoll verwendbar sind. Der Grund hierfür liegt zumeist in der Netzstruktur (nicht ausreichend feines Streckennetz oder falsche Positionierung der Zonenanbindungen).

### 3.1.3. Fahrlängenverteilung

Der Abgleich der Modellwerte mit statistischen Werten kann zeigen, ob die angepassten Matrixstrukturen grundsätzlich die richtige Tendenz aufweisen oder ob bereits auf dieser Ebene Anpassungen vorzunehmen sind.

Eine wichtige Kontrollgrösse ist hierbei der Vergleich der Fahrtweitenverteilung. Hierbei werden die Verteilungen der empirischen Daten aus der Gütertransporterhebung (GTE), die durch den Bearbeiter der AMG erstellt wurden, und die kalibrierten AMG-Matrix gegenübergestellt. Die resultierenden Kurven sollten annähernd der Zielverteilung aus der empirischen Analyse entsprechen.

Massgebend hierbei sind die Fahrlängenverteilungen für den Verkehr zwischen den Verkehrszonen (keine Umliegung von Zonenbinnenverkehren).

<sup>16</sup> Diese Vorgaben sind vom Design Manual for Roads and Bridges (Volume 12, Section 2, Chapter 4) übernommen und können im Sinne einer oberen Grenze als sehr strenge Vorgabe interpretiert werden.

### 3.1.4. Matrixgrösse und Quell-Ziel-Aufkommen pro Zone

Wie oben dargestellt kann der Fall auftreten, dass das gesamte Netz oder einzelne Teilbereiche deutlich weniger resp. mehr Fahrten beinhalten als gewünscht.

Als Prüfgrössen hierfür stehen Auswertungen der Matrixrandsummen (Matrixgrösse) sowie das einzelne Quell-Ziel-Aufkommen pro Zone zur Verfügung. Zwar sind die Werte der Ausgangsmatrizen (aus AMG) sowie Vergleichsmatrizen (NPVM alt) auch nicht als "vollständig richtig" zu werten, jedoch geben sie wichtige Anhaltspunkte über die Veränderungen der Struktur durch die Korrekturingriffe.

### 3.2. DWV 2010: leichter und schwerer Güterverkehr auf der Strasse

Ausgangspunkte sind die mit der AMG erstellten Nachfragematrizen untergliedert nach Last-/Sattelzügen (LZ), Lastwagen (LW) und Lieferwagen (LI). Die Nachfrage im Personenverkehr auf der Strasse bleibt für den DWV 2010 zwingend unverändert. Tabelle 3 zeigt die Merkmale der AMG-Ausgangsmatrizen vor der Matrix-Anpassung.

	LZ	LW	LI
Anzahl Zählstellen	581	582	501
Korrelationskoeffizient	0.944	0.877	0.869
R <sup>2</sup>	0.891	0.769	0.751
GEH-Summe	43	-24	-149
Anteil mit GEH < 5	49%	40%	29%
Anteil mit GEH < 10	82%	72%	52%
Anteil mit GEH < 20	97%	94%	73%
Anzahl Fahrten (gesamt)	72425	207267	2612542

Tabelle 3: Statistische Analyse: Berechnete Modellbelastungen und erhobene Zählraten je Fahrzeugkategorie vor Anpassung (DWV 2010)

Durch die Anpassungen der Nachfragematrizen des leichten und schweren Güterverkehrs auf der Strasse stellen sich Auswirkungen auf das Umlegungsergebnis des (unveränderten) Nachfragesegmentes P ein (Veränderungen der Vorbelastung), welche jedoch nur sehr geringe Auswirkungen auf die statistischen Kennwerte entfalten.<sup>17</sup>

<sup>17</sup> Die Dokumentation der einzelnen Korrekturschritte ist in Anhang 1 bis 3 enthalten.

	LZ	LW	LI
Anzahl Zählstellen	581	582	501
Korrelationskoeffizient	0.992	0.984	0.993
R <sup>2</sup>	0.984	0.969	0.985
GEH-Summe	2	1	6
Anteil mit GEH < 5	86%	88%	78%
Anteil mit GEH < 10	98%	99%	96%
Anteil mit GEH < 20	100%	100%	100%
Anzahl Fahrten (gesamt)	85201	225294	2214652
Veränderung zum Zustand vor Anpassung	+17.6%	+8.7%	-17.9% <sup>18</sup>

Tabelle 4: Statistische Analyse: Berechnete Modellbelastungen und erhobene Zähldaten je Fahrzeugkategorie nach Anpassung (DWV 2010)

Eine graphische Darstellung der betrachteten Wertepaare (Zählwert und Belastungswert) ist in den nachfolgenden Streudiagrammen abgebildet.

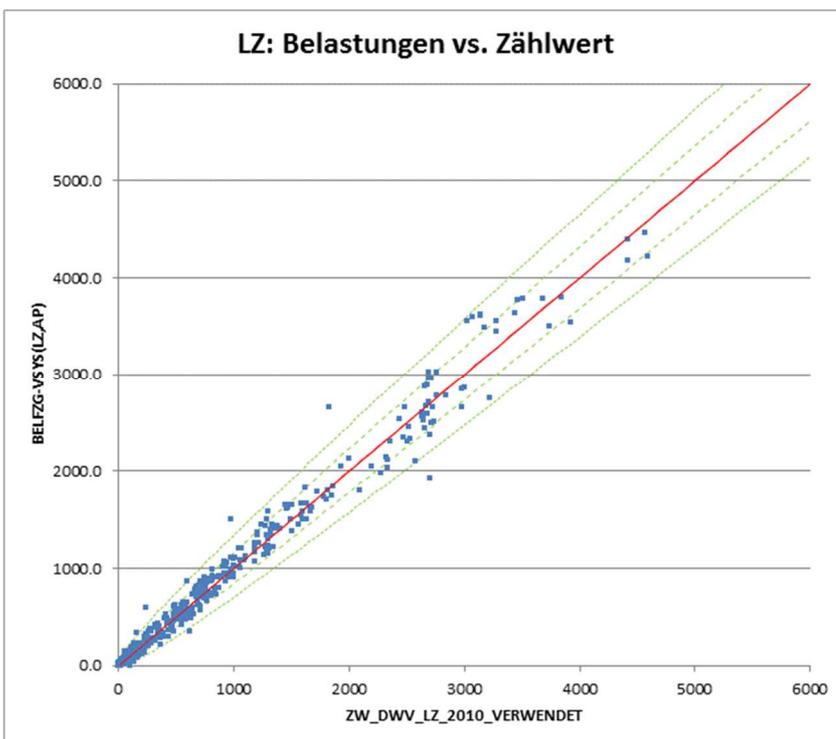


Abbildung 12: Streudiagramm LZ, DWV 2010 Strasse

<sup>18</sup> Die LI-Ausgangsmatrix der AMG wurde um den Aussenverkehr ergänzt. Daher erscheint ein Vergleich nicht sinnvoll.

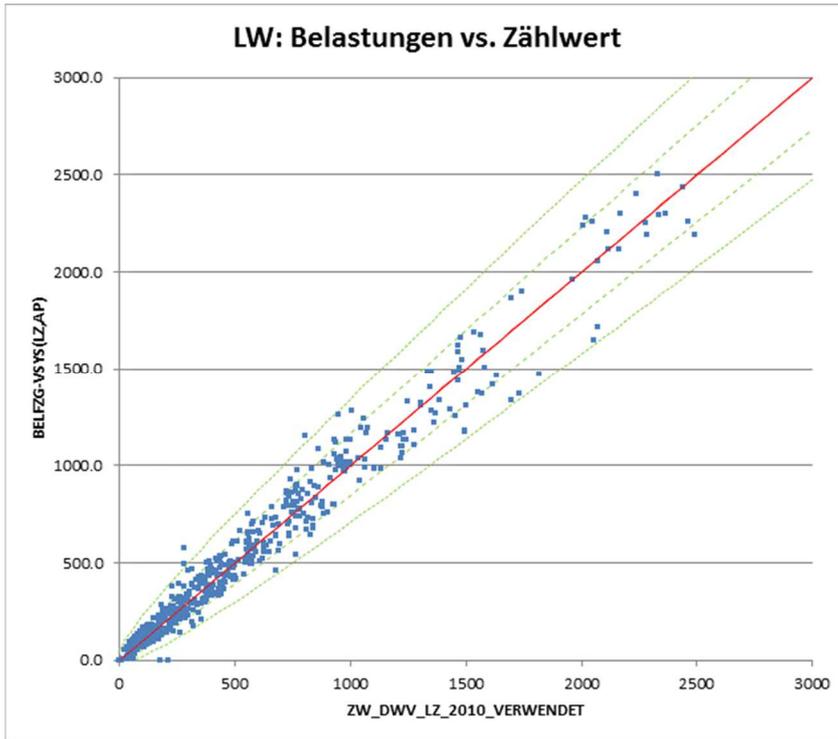


Abbildung 13: Streudiagramm LW, DWV 2010 Strasse

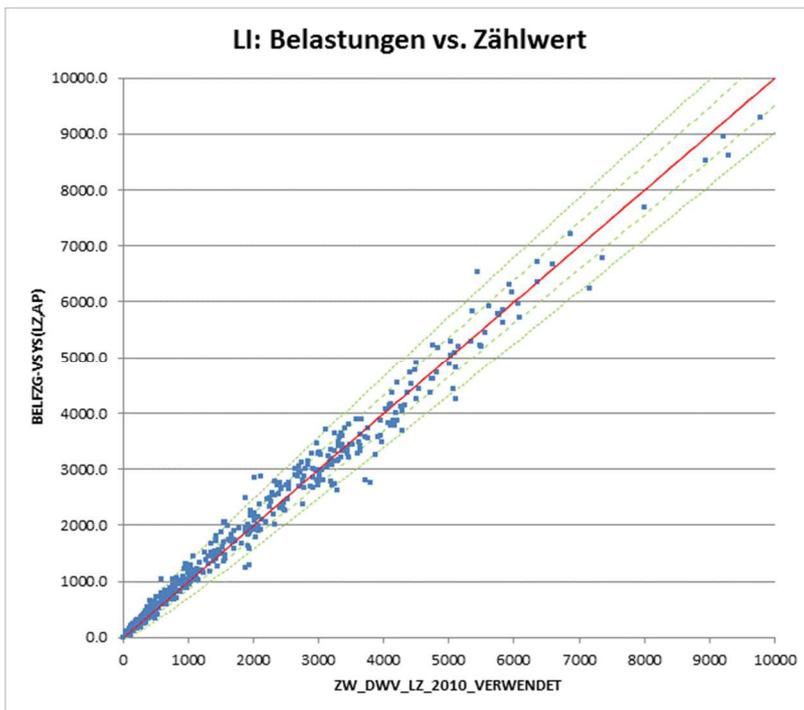


Abbildung 14: Streudiagramm LI, DWV 2010 Strasse

Ein wichtiger empirischer Nachweis über die Genauigkeit der korrigierten Matrizen ist die Kontrolle der Fahrtweitenverteilung. Abbildung 15 bis Abbildung 177 zeigen die Nachfrageanteile in Bezug auf die Fahrtweiten von Quell- zu Zieldestination (grün). Zum Vergleich sind die Verteilungskurven der ursprünglichen NPVM-Version (blau) sowie empirischer Werte (rot) aufgezeigt.

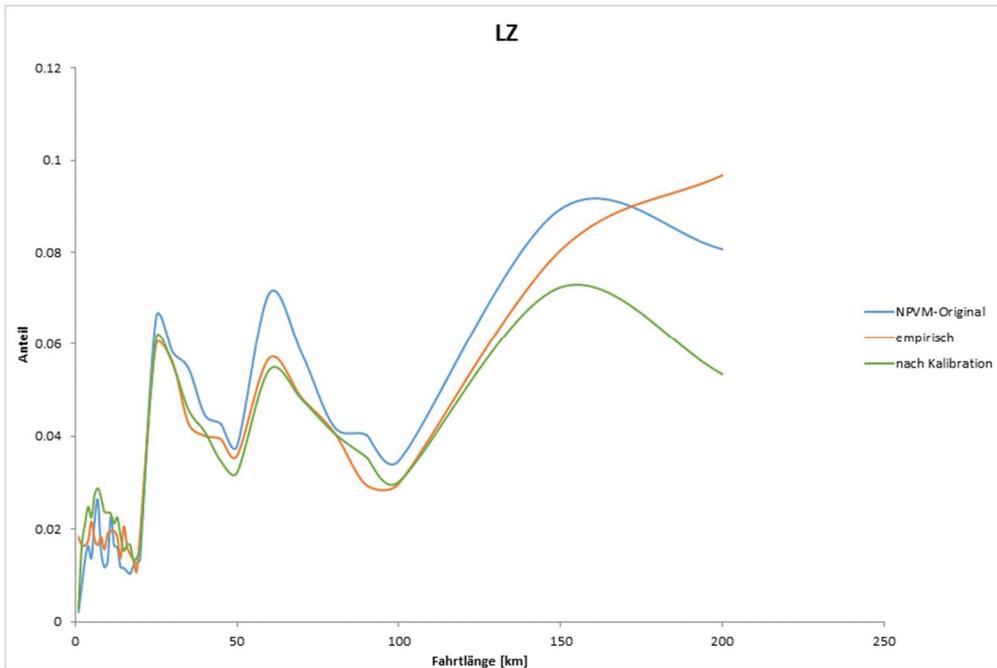


Abbildung 15: Fahrtweitenverteilung LZ, DWV 2010

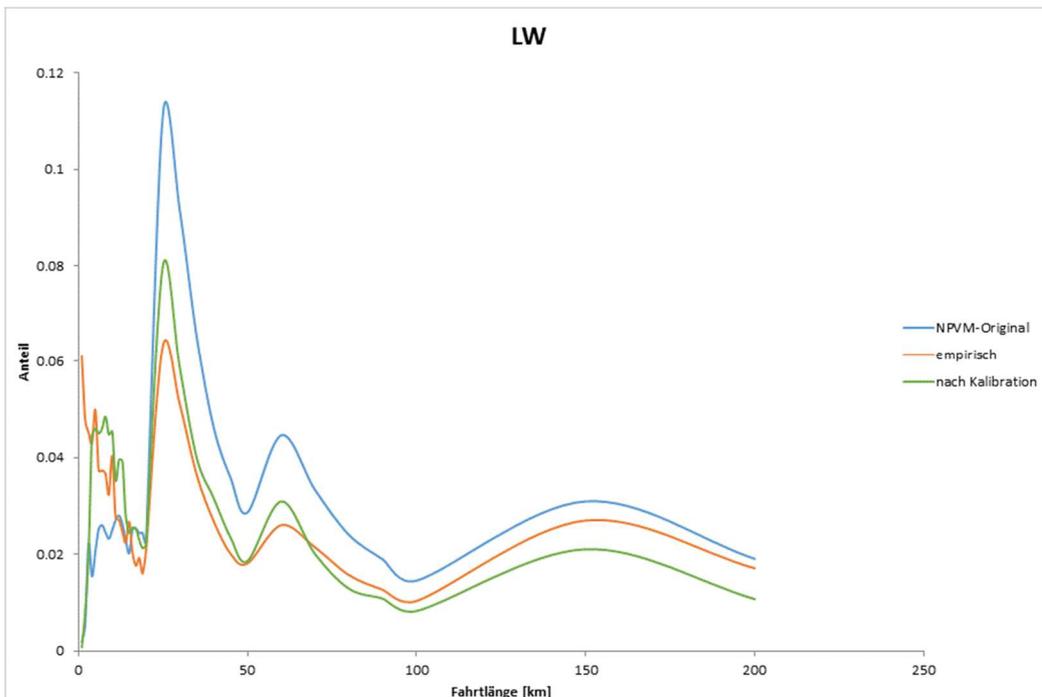


Abbildung 16: Fahrtweitenverteilung LW, DWV 2010

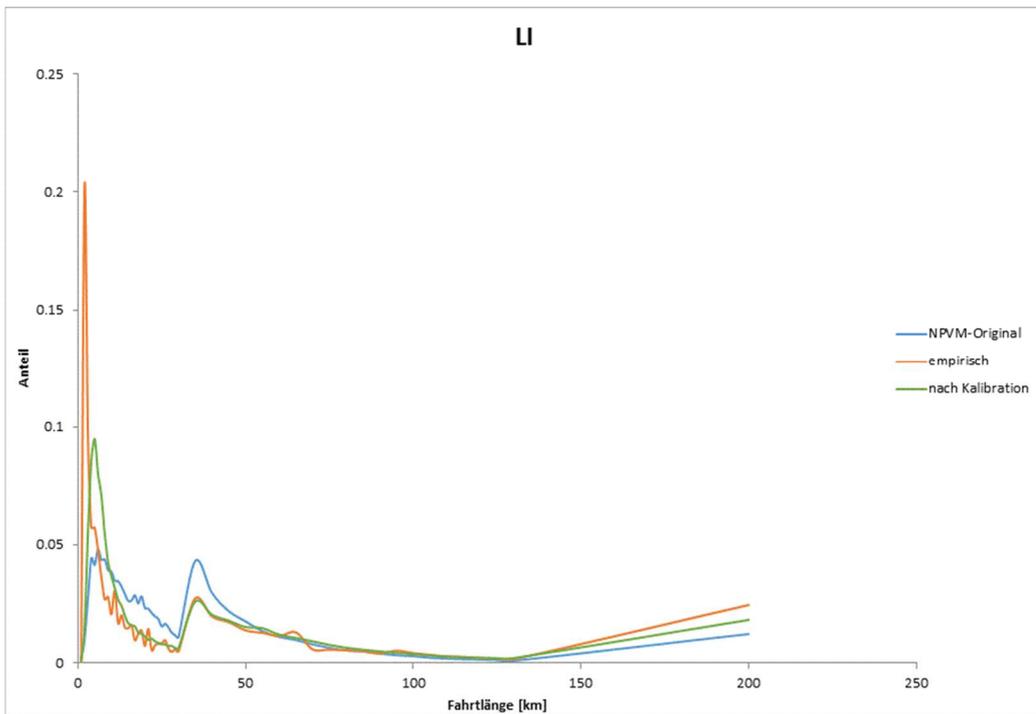


Abbildung 17: Fahrtweitenverteilung LI, DWV 2010

### 3.3. DTV 2010: Personen-, leichter und schwerer Güterverkehr auf der Strasse

Ausgangsbasis für die automatisierte Matrix-Korrektur (VSTROM) stellen die kalibrierten AMG-Nachfragematrizen DWV 2010 dar. Sie überschätzen die DTV-Zählwerte erwartungsgemäss deutlich (siehe Tabelle 5 mit der Ausgangssituation), weisen aber eine gute Korrelation auf. Neben den Zählstellen des ASTRA wurden auch vom ARE aufbereitete Zählstellen aus kantonalen Modellen verwendet.

	LZ	LW	LI	P
Anzahl Zählstellen	836	969	809	1573
Korrelationskoeffizient	0.992	0.971	0.987	0.989
R <sup>2</sup>	0.984	0.943	0.975	0.979
GEH-Summe	172	120	138	91
Anteil mit GEH < 5	54%	50%	39%	37%
Anteil mit GEH < 10	82%	84%	73%	63%
Anteil mit GEH < 20	99%	99%	98%	86%
Anzahl Fahrten (gesamt)	85201	225294	2214652	11239101

Tabelle 5: Statistische Analyse: Berechnete Modellbelastungen und erhobene Zählwerte je Fahrzeugkategorie vor Anpassung (DTV 2010 Strasse)

Nach Durchführung der automatisierten Kalibration ergeben sich die in Tabelle 6 gezeigten Kennwerte.

	LZ	LW	LI	P
Anzahl Zählstellen	836	969	809	1573
Korrelationskoeffizient	0.999	0.998	0.999	0.99
R <sup>2</sup>	0.998	0.996	0.998	0.999
GEH-Summe	-1	-2	0	-2
Anteil mit GEH < 5	100%	99%	98%	94%
Anteil mit GEH < 10	100%	100%	100%	97%
Anteil mit GEH < 20	100%	100%	100%	99%
Anzahl Fahrten (gesamt)	69076	199015	2070630	10739778
Veränderung zum Zustand vor Anpassung	-18.9%	-11.7%	-6.5%	-4.4%

Tabelle 6: Statistische Analyse: Berechnete Modellbelastungen und erhobene Zähldaten je Fahrzeugkategorie nach Anpassung (DTV 2010 Strasse)

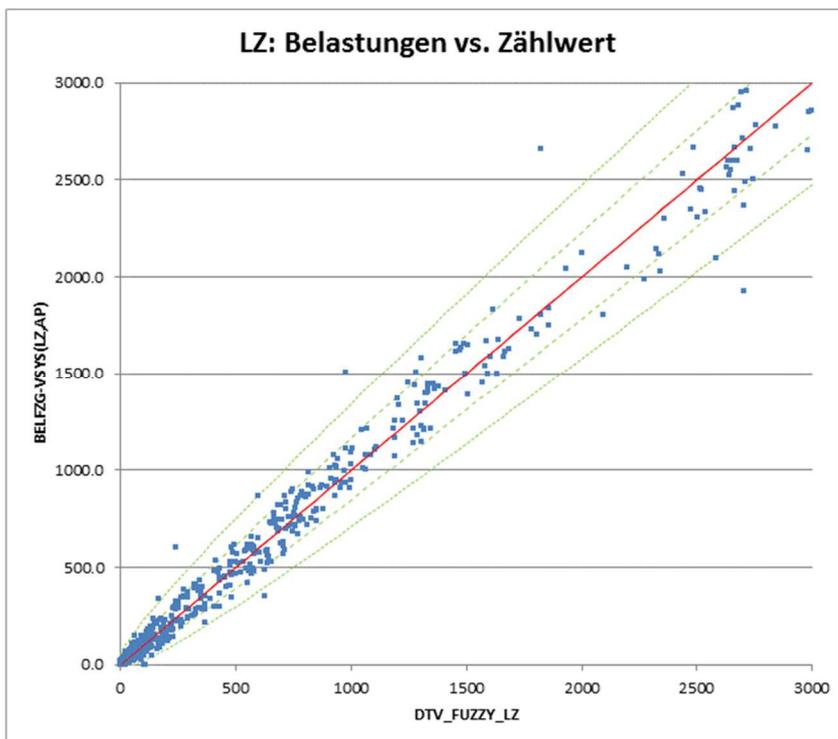


Abbildung 18: Streudiagramm LZ, DTV 2010 Strasse

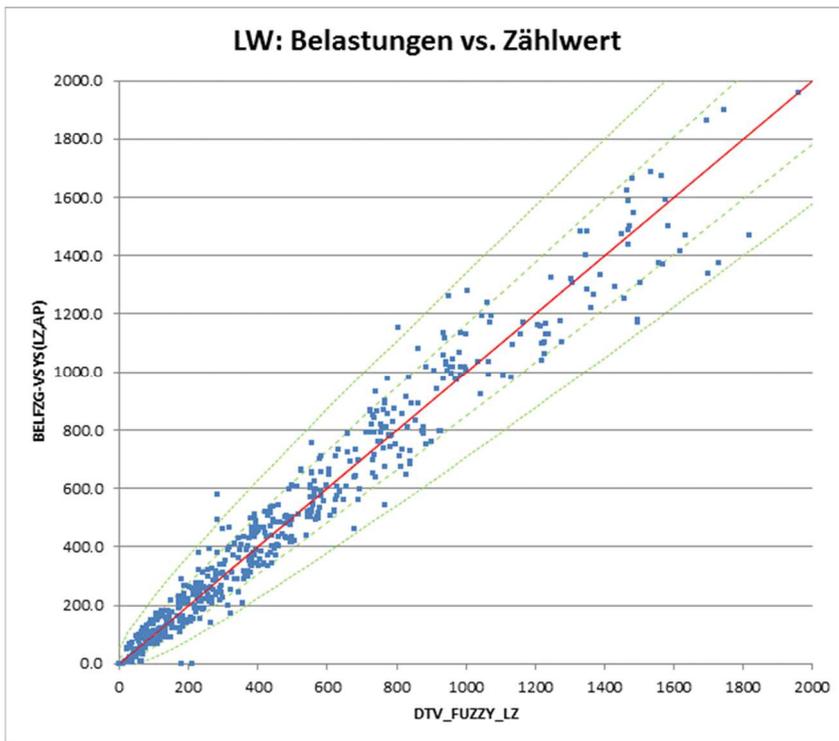


Abbildung 19: Streudiagramm LW, DTV 2010 Strasse

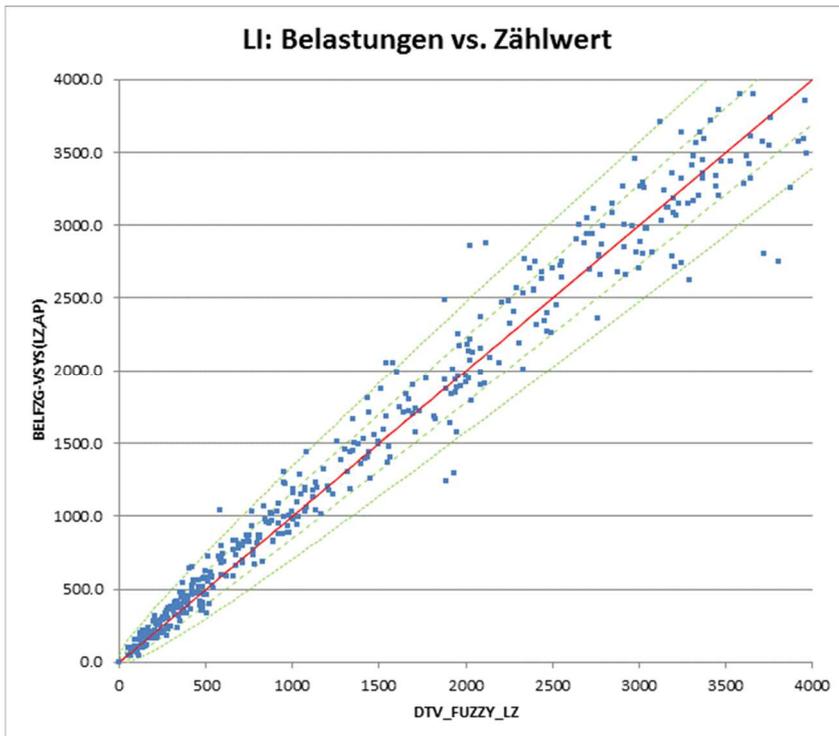


Abbildung 20: Streudiagramm LI, DTV 2010 Strasse

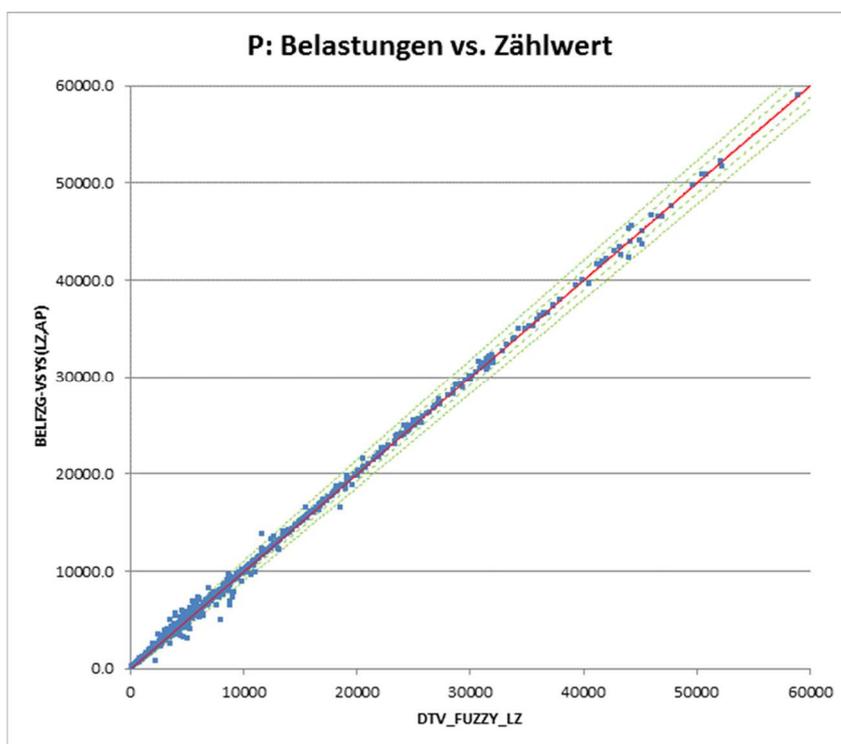


Abbildung 21: Streudiagramm PW, DTV 2010 Strasse

### 3.4. DTV 2010: Personenverkehr auf der Schiene

Die Erstellung des Zustandes DTV 2010 für den Personenverkehr auf der Schiene erfolgt auf der Netzbasis „Systemfahrplan 2010“. Es wurden keine Netz- oder Fahrplananpassungen durchgeführt. Als Grundlage für die Erstellung des DTV 2010 dient die Quell-Ziel-Matrix des DWV 2010.

	Personen- verkehr
Anzahl Zählstellen	406
Korrelationskoeffizient	0.998
R <sup>2</sup>	0.995
GEH-Summe	170
Anteil mit GEH < 5	33%
Anteil mit GEH < 10	68%
Anteil mit GEH < 20	94%
Anzahl Fahrten (gesamt)	2724930

Tabelle 7: Statistische Analyse: Berechnete Modellbelastungen und erhobene Zähldaten vor Kalibration (DTV 2010 Schiene)

Die durchgeführten Korrekturschritte sind entsprechend dem in Kapitel 2.1 beschriebenen Vorgehen ausschliesslich manuell erfolgt. Insgesamt waren 48 Schritte notwendig um das in Tabelle 8 dargestellte Ergebnis zu erzeugen.

	<b>Personen- verkehr</b>
Anzahl Zählstellen	406
Korrelationskoeffizient	1.000
R <sup>2</sup>	0.999
GEH-Summe	2
Anteil mit GEH < 5	88%
Anteil mit GEH < 10	100%
Anteil mit GEH < 20	100%
Anzahl Fahrten (gesamt)	2703917
Veränderung zum Zustand vor Anpassung	-0.8%

Tabelle 8: Statistische Analyse: Berechnete Modellbelastungen und erhobene Zähldaten nach Kalibration (DTV 2010 Schiene)

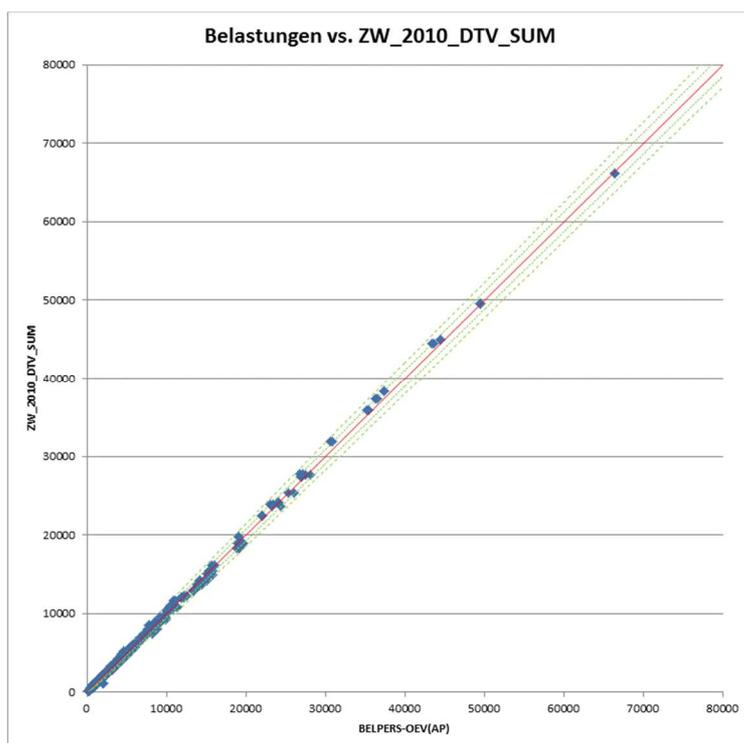


Abbildung 22: Streudiagramm Personenverkehr Schiene (gesamt)

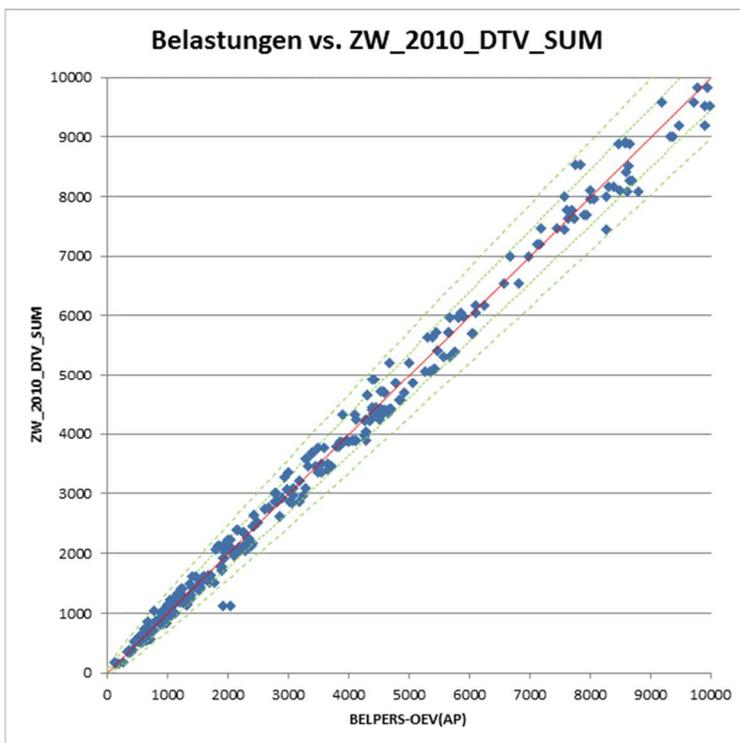


Abbildung 23: Streudiagramm Personenverkehr Schiene (Teilausschnitt)

#### **4. Bewertung und Interpretation der Ergebnisse**

Als Resultat der beschriebenen Arbeiten liegen Nachfragematrizen für den Güterverkehr im DWV sowie für den Personen- und Güterverkehr im DTV für das Jahr 2010 vor, welche so angepasst wurden, dass sie die Streckenbelastungen der Zählstellen ausreichend valide treffen und relevante Kenngrößen des Verkehrs abbilden.

Die Übereinstimmungen von Zählwerten und Belastungswerten von Last-/Sattelzügen und Lastwägen stimmen im DWV nach den manuellen Anpassungsschritten sehr gut überein. Die formulierten Qualitätsanforderungen werden eingehalten, so dass in beiden Fällen mehr als 85% aller Validierungspunkte einen GEH-Wert von <5 aufweisen und die jeweilige Gesamtbelastung über alle Zählstellen einen GEH-Wert von 4 nicht überschreitet. Der Abgleich der Modellwerte mit weiteren statistischen Werten sowie der Vergleich der Fahrtweitenverteilung zeigen eine gute Qualität der Ergebnismatrizen.

Die Anpassung der vorhandenen AMG-Nachfragematrix für den Lieferwagenverkehr im DWV 2010 konnte hingegen mit manuellen Eingriffen nicht vollständig das gesetzte Qualitätsziel erreichen. Ein wichtiger Grund hierfür liegt in der Matrixstruktur mit sehr vielen kurzen Fahrten, welche eine manuelle Matrix-Korrektur erheblich schwieriger und aufwendiger macht. In Summe konnte ein noch gutes Ergebnis in der Anpassung und Umlegung der Lieferwagen-Nachfragematrix erreicht werden.

Im DTV werden die gesetzten Qualitätsziele der Nachfragematrizen des Personen- und Güterverkehrs sehr gut erreicht. Dies liegt primär an der Nutzung der automatisierten Methoden zur Matrixanpassung.

Um den DTV-Zustand für den Personenverkehr auf der Schiene zu erstellen, waren nur wenige manuelle Anpassungsschritte notwendig. Das Ergebnis stellt eine mit den Zählwerten vergleichbare Belastungssituation dar.

## **Anhang 1 – Erläuterung der Anpassungsschritte**

Sämtliche Anpassungsschritte sind nachvollziehbar dokumentiert. Die Detaillauflistungen sind dazu in einer Excel-Liste festgehalten.

Der Inhalt der Dokumentationen wird im Folgenden an Beispielschritten des LZ, DWV erläutert (siehe Tabelle 9).

Für jeden manuellen Anpassungsschritt sind hierbei die Grundangaben aufgelistet. Strecken-ID, Name/Ort und Richtung geben die genaue Lage des betrachteten Querschnittes in Netz an. Hin- und Rückrichtung einer VISUM-Strecke werden dabei separat betrachtet.

„Ist“ und „Soll“ geben die Belastungszahlen der aktuellen Umlegung sowie die Werte der Zählraten wieder. Aus der Differenz ergibt sich ein berechneter Faktor, welcher zum vollständigen Ausgleich des Unterschiedes grundsätzlich angewandt werden sollte. Der genutzte Faktor weicht jedoch oftmals hiervon ab.

Die Angabe „Teilspinne“ gibt an, dass die betrachteten Verkehrsströme eingeschränkt verwendet werden. In diesem Fall wird aus Gründen der Übersichtlichkeit kein berechneter Faktor angegeben, da ansonsten sämtliche ergänzende resp. einschränkende Spinnensegmente ebenfalls notiert werden müssten.

Der hintere Teil der Dokumentationstabelle zeigt die Qualitätsbewertung der jeweils aktuellen Umlegung (Vergleiche Kapitel 3.1.2). Wie zu sehen ist, liegen nicht für jeden Anpassungsschritt Qualitätsangaben vor. Dies liegt in der Optimierung des Bearbeitungsablaufes begründet, wonach solche Anpassungsschritte kombiniert werden können, welche sich nicht gegenseitig beeinflussen (z.B. Hin- und Rückrichtungen).

Strecken-ID	Name/Ort	Richtung	Ist	Soll	Berech. Faktor	Genutz. Faktor		GEH gesamt	GEH <5	GEH <10	GEH <20	Korr	R^2	N
8621R	Ins	Nord				3.50	Teilspinne	-8	74%	97%	100%	0.991	0.982	581
7952R	Lauperswil	Nord	21	74	3.52	5.00								
7952H	Lauperswil	Süd	21	169	8.05	6.00								
727H	Widnau	Nord				3.00	Teilspinne							
727R	Widnau	Süd				3.00	Teilspinne							
286R	Balerna	Nord	1275	1634	1.28	1.15								
286H	Balerna	Süd	1125	1571	1.40	1.25		1	76%	97%	100%	0.992	0.983	581
7952R	Lauperswil	Nord	21	74	3.52	5.00								
7952H	Lauperswil	Süd	21	169	8.05	6.00								
727H	Widnau	Nord				3.00	Teilspinne							
727R	Widnau	Süd				3.00	Teilspinne							
286R	Balerna	Nord	1275	1634	1.28	1.15								
286H	Balerna	Süd	1125	1571	1.40	1.25		-1	76%	97%	100%	0.992	0.984	581

Tabelle 9: Dokumentationsbeispiel (Ausschnitt aus Anpassungsschritten LZ, DWV)

## Anhang 2 – Ergänzte Attribute

In den Versionsdateien sind folgende Attribute neu hinzugefügt worden:

Attribut	Inhalt
ZW_2010_DTV_SUM	Korrekturgrösse für den DTV 2010

Tabelle 10: neue Attribute in der Versionsdatei Schiene

Attribut	Inhalt
ZW_DWV_LZ_2010	Verfügbare Zählwerte für DWV 2010
ZW_DWV_LW_2010	
ZW_DWV_LI_2010	
ZW_DWV_P_2010	
ZW_DWV_LZ_2010 (verwendet)	Verwendete Zählwerte für DWV 2010
ZW_DWV_LW_2010 (verwendet)	
ZW_DWV_LI_2010 (verwendet)	
ZW_DWV_P_2010 (verwendet)	
ZW_DTV_LZ_2010	Verfügbare Zählwerte für DTV 2010
ZW_DTV_LW_2010	
ZW_DTV_LI_2010	
ZW_DTV_PW_2010	
DTV_Fuzzy_LZ	Verwendete Zählwerte für DTV 2010
DTV_Fuzzy_LW	
DTV_Fuzzy_LI	
DTV_Fuzzy_P	

Tabelle 11: neue Attribute in der Versionsdatei Strasse