

Umwelt und Energie (uwe)

Kanton Luzern

16. Februar 2016

# **Abschätzung der verkehrlichen Emissionen mittels KVM LU und HBEFA Version 3.2 unter Berücksichtigung leichter Nutzfahrzeuge**

**Bericht**

Umwelt und Energie (uwe)  
Kanton Luzern

16. Februar 2016

## **Abschätzung der verkehrlichen Emissionen mittels KVM LU und HBEFA Version 3.2 unter Berücksichtigung leichter Nutzfahrzeuge**

### **Bericht**

Erarbeitung: Christian Heimgartner      Dipl. Bau-Ing. ETH  
                  Alex Stahel                    MSc ETH Raumentwicklung und  
  Infrastruktursysteme  
                  Anna Hool                    MSc ETH in Umweltnaturwissenschaften  
  Jenni+Gottardi AG, Mühlebachstrasse 8, 8008 Zürich

---

**Jenni + Gottardi AG**  
Beratende Ingenieure

# Inhaltsverzeichnis

	<b>Seite</b>
<b>1 Zusammenfassung</b>	<b>1</b>
<b>2 Ausgangslage und Auftrag</b>	<b>2</b>
<b>3 Grundlagen</b>	<b>3</b>
<b>4 Vorgehen</b>	<b>3</b>
4.1 Aufbereitung der Grundlagen aus dem Verkehrsmodell	3
4.2 Bestimmung der Emissionsfaktoren aus HBEFA 3.2	11
4.3 Berechnung und Plausibilisierung der Emissionen	11
<b>5 Ergebnisse</b>	<b>17</b>
<b>6 Vergleich mit der Berechnung ohne Berücksichtigung LNF</b>	<b>19</b>

# 1 Zusammenfassung

Im Jahr 2015 wurden die verkehrlichen Emissionen mittels KVM LU und HBEFA Version 3.2 abgeschätzt.<sup>1</sup> Bei der Abschätzung der Emissionen wurde zwischen Personenwagen (PW) und schweren Nutzfahrzeugen (SNF; entspricht Lastwagen LW) unterschieden. Leichte Nutzfahrzeuge (LNF) wurden dabei nicht mit einem separaten Emissionsfaktor berücksichtigt.

Die Schadstoffemissionen der leichten Nutzfahrzeuge sind z.T. jedoch deutlich höher als bei Personenwagen. Ebenso ist das Verkehrsaufkommen von LNF nicht zu vernachlässigen und es ist davon auszugehen, dass die Bedeutung von LNF in Zukunft – insbesondere auch bezüglich der Schadstoffemissionen – im Strassenverkehr weiter zunehmen wird.

Aus diesem Grund wurden die verkehrlichen Emissionen unter Berücksichtigung leichter Nutzfahrzeuge neu berechnet. Die Ergebnisse dieser Aktualisierung werden in diesem Bericht zusammengefasst.

Für die Berücksichtigung von LNF konnte auf detailliertere Verkehrszählraten zurückgegriffen werden. Dies erlaubte es, neben den LNF-Anteilen auch die LW-Anteile für Autobahnen und Hauptverkehrsstrassen verlässlicher zu schätzen. Es zeigte sich, dass der durchschnittliche LW-Anteil tiefer liegt als bisher angenommen. Aus diesem Grund wurden die LW-Anteile für die Berechnung der verkehrlichen Emissionen reduziert.

Die Berücksichtigung von LNF und die gleichzeitige Reduktion der LW-Anteile führen bei gewissen Schadstoffen zu signifikanten Veränderungen der Emissionen. Dies trifft insbesondere auf den Schadstoff  $N_2O$ , bei dem Lastwagen anteilmässig für rund 50% der Emissionen verantwortlich sind, und die Schadstoffe PM und  $NO_2$ , bei denen die LNF-Anteile an den Gesamtemissionen 18% bzw. 13% betragen, zu. Bei den Schadstoffen  $CH_4$ ,  $NH_3$  und Benzol sind die Veränderungen gering.

---

<sup>1</sup> Bericht zur Abschätzung der verkehrlichen Emissionen mittels KVM LU und HBEFA Version 3.2, Jenni + Gottardi AG, 4. November 2015

## 2 Ausgangslage und Auftrag

Die Dienststelle Umwelt und Energie des Kantons Luzern arbeitet seit einigen Jahren mit einem Ausbreitungsmodell insbesondere der Stickoxid-Immissionen für das ganze Kantonsgebiet. Anlässlich der neuen HBEFA-Version 3.2 mit den aktualisierten Emissionsfaktoren ist eine entsprechende Aktualisierung der verkehrlichen Grundlagen für das Ausbreitungsmodell angezeigt. Vor diesem Hintergrund gilt es, gestützt auf das kantonale Verkehrsmodell Luzern (KVM LU) die relevanten Verkehrsmengen zu schätzen und auf deren Basis mittels der Emissionsfaktoren aus dem HBEFA Vers. 3.2 folgende Emissionen je Strecke zu berechnen:

- Stickoxide  $\text{NO}_x$
- Stickstoffdioxid  $\text{NO}_2$
- Partikelmasse PM
- $\text{CO}_2$  (total)
- Methan  $\text{CH}_4$
- Nichtmethankohlenwasserstoffe NMHC
- Schwefeldioxid  $\text{SO}_2$
- Lachgas  $\text{N}_2\text{O}$
- Ammoniak  $\text{NH}_3$
- Benzol

Im Rahmen der Abschätzung wurden die Emissionen von Personenwagen (PW), Lastwagen (LW; auch schwere Nutzfahrzeuge (SNF) genannt) sowie von leichten Nutzfahrzeugen (LNF) unterschieden. Zudem sind neben dem Ausgangszustand 2012 auch die Zeithorizonte 2015, 2020 und 2025 von Interesse.

Die Emissionen werden zuhanden des kantonalen Emissionskatasters abgeschätzt und bilden die Grundlage für die weiteren Abschätzungen mit dem Ausbreitungsmodell (Immissionen).

## 3 Grundlagen

Zur Bearbeitung der Aufgabenstellung stehen die folgenden Grundlagen zur Verfügung:

- [1] vif Kanton Luzern / Jenni + Gottardi AG: Kantonales Verkehrsmodell Luzern Ist-Zustand 2012 (DTV, MSP und ASP) und Zustand 2030 (DTV, MSP und ASP)
- [2] Handbuch Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs HBEFA Version 3.2, 25. Juli 2014, INFRAS
- [3] NO<sub>x</sub>-Emissionen pro Strecke für den Kanton Luzern auf Basis der Berechnungen aus dem Jahre 2010 (KVM-LU 2005 und HBEFA 3.1), jeweils für Nationalstrassen, kantonale Routen und Zusatzrouten für 2010, 2015 und 2020
- [4] Verkehrsgrundlagen für die Abschätzung der NO<sub>x</sub>-Emissionen pro Strecke für den Kanton Luzern auf Basis des KVM-LU 2005
- [5] vif Kanton Luzern: Strassenverkehrszählungen auf Kantons- und Nationalstrassen 2014

## 4 Vorgehen

In den folgenden Abschnitten werden die einzelnen Arbeitsschritte und die getroffenen Annahmen detailliert erläutert.

### 4.1 Aufbereitung der Grundlagen aus dem Verkehrsmodell

Die Verkehrsgrundlagen stammen aus dem kantonalen Verkehrsmodell Luzern Ist-Zustand 2012 und Zustand 2030 [1]. Die Verkehrsmenge und Auslastung (flüssiger, dichter, gesättigter oder stop+go Verkehr) haben einen wesentlichen Einfluss auf die Emissionen, variieren jedoch stark, und dies sowohl im Verlaufe des Tages / der Woche als auch über die Jahre. Im Verkehrsmodell nimmt die Nachfrage des Motorisierten Individualverkehrs (MIV) zwischen 2012 und 2030 um rund 16% zu. Aufgrund des grossen Einflusses der Verkehrsmenge und Auslastung wurden diese anhand des Tagesverkehrs-, des Morgenspitzen- und des Abendspitzenmodells<sup>2</sup> detailliert betrachtet. Für die Jahre 2015, 2020 und 2025 wurde die Differenz zwischen der Quell-Ziel-Matrix des Prognosezustands 2030 und derjenigen des Ist-Zustandes 2012 ermittelt und linear verteilt zur Quell-Ziel-Matrix des Ist-Zustandes 2012 addiert. So wurden Quell-Ziel-Matrizen 2015, 2020 und 2025 abgeschätzt. Diese Matrizen wurden anschliessend auf das Verkehrsnetz<sup>3</sup> umgelegt und die Verkehrsbelastungen für die Zeithorizonte 2015, 2020 und 2025 ermittelt.

---

<sup>2</sup> Im Modell werden die werktäglichen Spitzenstunden des Morgens (07:00-08:00) und des Abends (17:00-18:00) abgebildet.

<sup>3</sup> Das zugrunde gelegte Netzangebot entspricht dem Zustand 2012

Aus dem Verkehrsmodell wurde ein Shape-File mit folgenden Attributen exportiert:

- Streckennummer
- Koordinaten Von-Knoten
- Koordinaten Nach-Knoten
- Streckentyp (2012 und 2030)
- Streckenlänge
- Anzahl Fahrstreifen
- Streckenkapazität
- Streckengeschwindigkeit im unbelasteten Netz
- Belastung Morgenspitze 2012
- Belastung Abendspitze 2012
- Belastung DTV 2012
- Belastung Morgenspitze 2015
- Belastung Abendspitze 2015
- Belastung DTV 2015
- Belastung Morgenspitze 2020
- Belastung Abendspitze 2020
- Belastung DTV 2020
- Belastung Morgenspitze 2025
- Belastung Abendspitze 2025
- Belastung DTV 2025
- Belastung Morgenspitze 2030
- Belastung Abendspitze 2030
- Belastung DTV 2030

Dieses Shape-File wurde für die weitere Bearbeitung in die GIS-Software Maptitude importiert. Um den Strecken einen bestimmten Emissionsfaktor aus HBEFA 3.2 zuordnen zu können, waren folgende Bearbeitungsschritte in Maptitude notwendig:

- a) Zuordnung eines HBEFA-Streckentyps
- b) Zuordnung eines Gebietstyps
- c) Zuordnung des Tempolimits
- d) Abschätzung des LW-Anteiles
- e) Abschätzung des LNF-Anteiles
- f) Bestimmung und Plausibilisierung des Verkehrszustands in der MSP und ASP
- g) Bestimmung der DTV-Anteile nach Verkehrszustand

Diese Bearbeitungsschritte werden nun detaillierter beschrieben.

### a) Zuordnung eines HBEFA-Streckentypes

Die Zuordnung des Streckentypes nach HBEFA 3.2 erfolgt nach dem Schema in Tabelle 1.

**Tabelle 1 Schema Zuordnung Streckentyp**

Visum-Streckentyp (Nummer)	Streckentyp nach HBEFA 3.2	HBEFA 3.2 Streckentypnummer
Hochleistungsstrasse (10, 11)	Autobahn	10
Hauptverkehrsstrasse (20)	Hauptverkehrsstrasse	30
Sammelstrasse (30)	Sammelstrasse	40
Erschliessungsstrasse (40)	Erschliessungsstrasse	50

### b) Zuordnung eines Gebietstyps

Gemäss HBEFA 3.2 sind die Strecken nach den Gebietstypen „Ländlicher Raum“ und „Agglomeration/Ballungsraum“ zu unterscheiden. Zu diesem Zweck wurden den Strecken, die innerhalb des Perimeters der Gemeinden der Agglomeration Luzern liegen, der Gebietstyp „Agglomeration/Ballungsraum“ zugewiesen. Alle anderen Strecken wurden dem Gebietstyp „Ländlicher Raum“ zugeteilt. Zur Agglomeration Luzern zählen gemäss der zentralen Statistikstelle des Kantons Luzern (LUSTAT) folgende Gemeinden:<sup>4</sup>

- Stadt Luzern
- Adligenswil
- Buchrain
- Dierikon
- Ebikon
- Gisikon
- Honau
- Horw
- Hergiswil (NW)
- Küssnacht am Rigi (SZ)
- Kriens
- Meggen
- Root
- Udligenswil
- Emmen
- Rothenburg

<sup>4</sup> LUSTAT: Raumgliederungen – Gemeindetypologien, <http://www.lustat.ch/services/lexikon/raumgliederungen/gemeindetypologie>, besucht am 03.08.2015

### c) Zuordnung des Tempolimits

Die Zuordnung des Tempolimits erfolgte basierend auf der Streckengeschwindigkeit im unbelasteten Netz gemäss dem Schema in Tabelle 2.

**Tabelle 2 Schema Zuordnung Tempolimit**

Streckentyp	Geschwindigkeit im unbelasteten Netz [km/h]	Tempolimit [km/h]
Autobahn	<=80	80
	<=100	100
	>100	120
Hauptverkehrsstrasse / Sammelstrasse	<=50	50
	<=60	60
	>60	80
Erschliessungsstrasse	<=30	30
	>30	50

### d) Abschätzung des LW-Anteiles

Im kantonalen Verkehrsmodell Luzern liegen keine Lastwagenanteile vor. Aus diesem Grund wurden die Anteile pauschal anhand der Auswertung der LW-Anteile von verschiedenen Zählstellen im Kanton Luzern abgeschätzt [5]. Für die Berechnung der verkehrlichen Emissionen wurde von einem pauschalen LW-Anteil nach Streckentyp gemäss dem Schema in Tabelle 3 ausgegangen.

**Tabelle 3 Abschätzung LW-Anteil nach Streckentyp**

Streckentyp	LW-Anteil
Autobahn	6.5%
Hauptverkehrsstrasse	5.0%
Sammelstrasse / Erschliessungsstrasse	3.0%

### e) Abschätzung des LNF-Anteiles

Die LNF-Anteile mussten analog zum LW-Anteil anhand von Zählraten abgeschätzt werden [5]. Für die Berechnung der verkehrlichen Emissionen wurde von einem pauschalen LNF-Anteil nach Streckentyp gemäss dem Schema in Tabelle 4 ausgegangen.

**Tabelle 4 Abschätzung LNF-Anteil nach Streckentyp**

Streckentyp	LNF-Anteil
Autobahn	8.5%
Hauptverkehrsstrasse	5.5%
Sammelstrasse / Erschliessungsstrasse	4.0%

### f) Verkehrszustand in der MSP und ASP bestimmen und plausibilisieren

Die Zuordnung eines Emissionsfaktors erfolgt abhängig vom Verkehrszustand. In HBEFA 3.2 werden die in Tabelle 5 gezeigten Verkehrszustände unterschieden.

**Tabelle 5 Verkehrszustände nach HBEFA 3.2**

Verkehrszustand nach HBEFA 3.2	Beschreibung	Verkehrsqualitätsstufe <sup>5</sup>	Auslastung <sup>6</sup>
flüssig	Frei-fliessender Verkehr; konstante und hohe Geschwindigkeit	A-B	≤0.6
dicht	Frei-fliessender Verkehr bei hoher Verkehrsbelastung; nahezu konstante Geschwindigkeit	C-D	0.6 - 0.9
gesättigt	Unsteter Verkehrsfluss, Kapazitätsgrenze nahezu erreicht; variierende Geschwindigkeit	E	0.9 - 1.0
stop+go	Stop+go Verkehr, Kapazitätsgrenze überschritten; variierende, tiefe Geschwindigkeit	F	>1.0

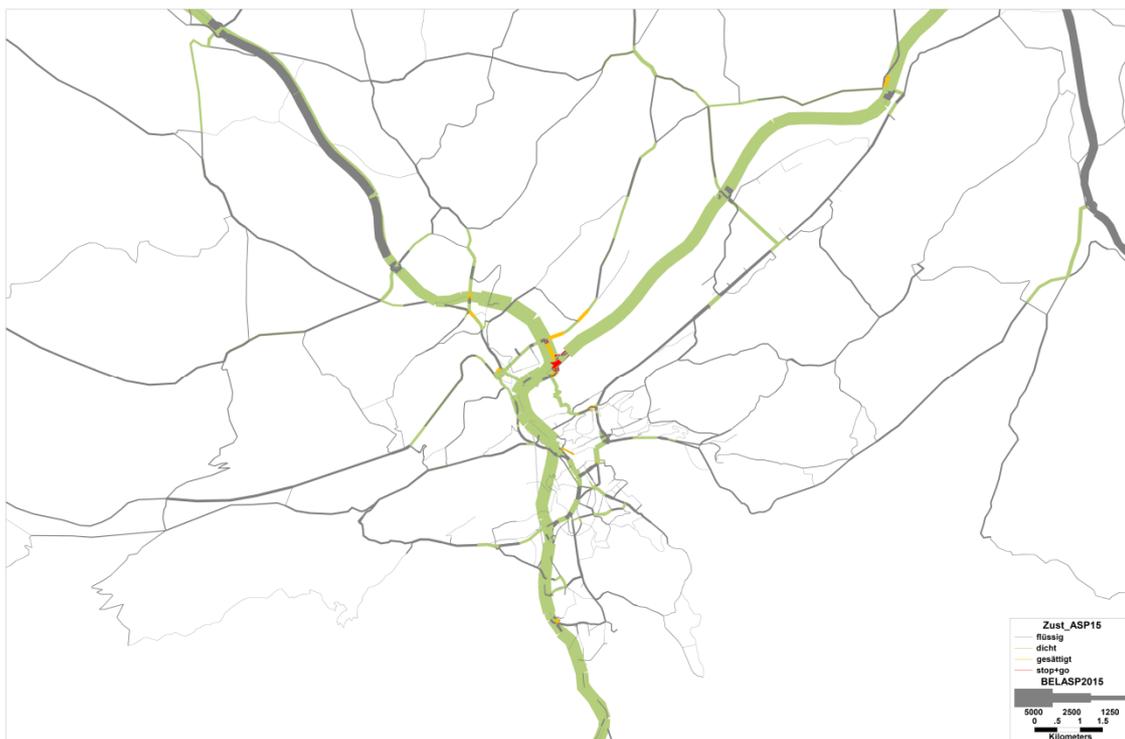
Die Verkehrszustände in der MSP und ASP wurden anhand der Belastung aus dem Verkehrsmodell und der Kapazität bestimmt. Bildet man das Verhältnis zwischen diesen

<sup>5</sup> Gemäss Highway Capacity Manual 2010

<sup>6</sup> Auslastung = Belastung / Kapazität

Grössen, erhält man die Auslastung, aufgrund derer man wiederum den Verkehrszustand zuordnen kann (gemäss Tabelle 5).

Die so ermittelten Verkehrszustände sind als grobe Schätzung der Auslastung zu verstehen. Im Modell sind keine expliziten Kapazitäten der Knoten hinterlegt, sondern deren Effekte einzig durch die Streckenkapazitäten und -geschwindigkeiten berücksichtigt. Insbesondere in Netzbereichen mit hoher Verkehrsauslastung sind zwischen modellgestütztem Berechnungsergebnis und der effektiven Situation zuweilen erhebliche Differenzen zu gewärtigen. Dieser Umstand ist bei der Interpretation der mit diesen Datengrundlagen erzeugten weiteren Resultate zu berücksichtigen. Um diesen Toleranzbereich möglichst eng zu halten, wurden die Verkehrszustände anhand von verschiedenen Plänen plausibilisiert. In Abbildung 1 ist beispielhaft ein solcher Plan für die Plausibilisierung des Verkehrszustands in der werktäglichen Abendspitze 2015 gezeigt.



**Abbildung 1 Verkehrszustand in der werktäglichen Abendspitze 2015**

In Fällen, wo der Verkehrszustand unplausibel erschien, wurden die Streckenkapazitäten entsprechend angepasst.

### g) DTV-Anteile nach Verkehrszustand bestimmen

Der Verkehrszustand kann sich im Verlaufe eines Tages verändern und ist von verschiedenen Faktoren abhängig (Funktion der Strasse, Wochentag, Jahreszeit etc.). In Abbildung 2 ist eine typische Ganglinie für eine Strasse mit hohem Pendlerverkehrsaufkommen dargestellt.

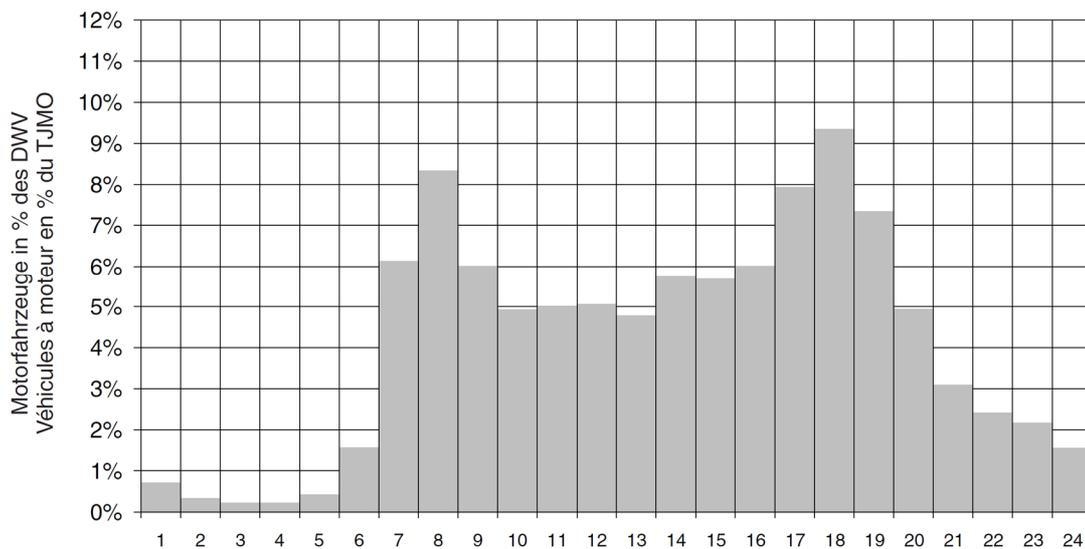


Abbildung 2 Werktagsganglinie Typ „Pendler“<sup>7</sup>

Es sind zwei ausgeprägte Spitzen am Morgen und am Abend zu beobachten, wo der Verkehr je nachdem dicht, gesättigt oder übersättigt sein kann. In den Randzeiten ist die Belastung deutlich geringer und der Verkehr kann frei fliessen. Je nach Situation können die Spitzen deutlich weniger ausgeprägt sein oder beispielsweise die Morgenspitze fehlen (hoher Freizeitverkehrsanteil).

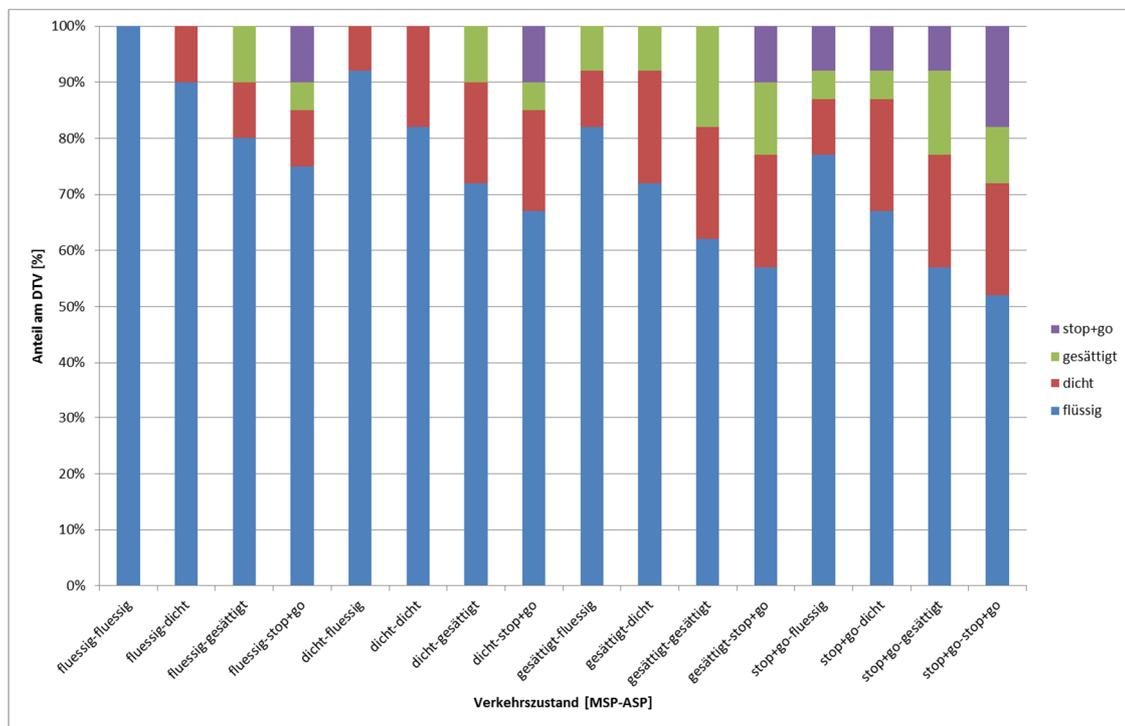
Im Rahmen dieses Projektes wurde der Anteil eines bestimmten Verkehrszustandes am DTV aufgrund der Verkehrszustände der MSP und ASP bestimmt. Anhand dieser wurden vereinfachte Ganglinien für den Tagesverkehr angenommen. Im einfachsten Fall bleibt der Verkehr in der MSP und ASP flüssig und der DTV-Anteil „flüssig“ beträgt 100%. Entspricht der Verkehr in der MSP und/oder ASP dem Zustand dicht, gesättigt oder stop+go, ist der DTV-Anteil „flüssig“ zu reduzieren bzw. die DTV-Anteile „dicht“, „gesättigt“ oder „stop+go“ zu erhöhen. Ist der Verkehrszustand in der MSP oder ASP gesättigt (oder übersättigt), ist automatisch auch der DTV-Anteil „dicht“ zu erhöhen, da der Verkehrszustand nicht sprunghaft von flüssig zu gesättigt wechselt, sondern dazwischen für einen gewissen Zeitraum „dicht“ ist.

<sup>7</sup> SN 640 005a, Abbildung 2, Werktagsganglinie Typ „Pendler“ (SN 640 005a wurde am 01.08.2010 durch SN 640 005b ersetzt)

Für die Abbildung der DTV-Ganglinie wurden folgende Annahmen getroffen:

- MSP-Anteil 8%
- ASP-Anteil 10%
- MSP-Anteil dicht vor gesättigt 10%
- ASP-Anteil dicht vor gesättigt 10%
- MSP-Anteil gesättigt vor stop+go 5%
- ASP-Anteil gesättigt vor stop+go 5%

In Abbildung 3 sind DTV-Anteile je Verkehrszustand in Abhängigkeit der Verkehrszustände in der MSP und ASP aufgrund der obigen Annahmen dargestellt.



**Abbildung 3 DTV-Anteile je Verkehrszustand in Abhängigkeit der Verkehrszustände in der MSP und ASP**

Falls der Verkehr in der MSP und ASP dem Zustand „stop+go“ entspricht, beträgt der DTV-Anteil „flüssig“ noch 52%.

## 4.2 Bestimmung der Emissionsfaktoren aus HBEFA 3.2

Für die Berechnung der Emissionen werden folgende Emissionsfaktoren aus dem HBEFA 3.2 ausgewählt:

- Schadstoffe: gemäss Kap. 1 (zehn Schadstoffe);
- Bezugsjahre: gemäss Kap. 1 (vier Bezugsjahre);
- Fahrzeugkategorien: Personenwagen (PKW), leichte Nutzfahrzeuge (LNF) und Lastwagen (SNF);
- Verkehrszusammensetzung: Flottenmix "BAU CH HB32";
- Verkehrssituationstypen: alle Verkehrszustände (flüssig, dicht, gesättigt, stop+go)
  - Gebietstyp Land:
    - Autobahn mit Tempolimit 80 km/h, 100 km/h, 120 km/h;
    - Hauptverkehrsstrasse mit Tempolimit 50 km/h, 60 km/h, 80 km/h;
    - Sammelstrasse mit Tempolimit 50 km/h, 60 km/h, 80 km/h;
    - Erschliessungsstrasse mit Tempolimit 30 km/h, 50 km/h;
  - Gebietstyp Agglo:
    - Autobahn mit Tempolimit 80 km/h, 100 km/h, 120 km/h;
    - Hauptverkehrsstrasse mit Tempolimit 50 km/h, 60 km/h, 80 km/h;
    - Sammelstrasse mit Tempolimit 50 km/h, 60 km/h;
    - Erschliessungsstrasse mit Tempolimit 30 km/h, 50 km/h;
- Längsneigung: 0 % (keine Berücksichtigung der Längsneigung)
- Klimaanlage Personenwagen: berücksichtigt.

## 4.3 Berechnung und Plausibilisierung der Emissionen

Die Berechnung der Emissionen erfolgt mit Microsoft Access 2010. Dazu werden die Verkehrszahlen und weitere Angaben aus dem Verkehrsmodell gemäss Kap. 4.1 und die Emissionsfaktoren gemäss Kap. 3.2 als Tabellen eingelesen. Die Berechnung der Emissionen erfolgt nach der Formel:

$$Emissionen = L \cdot Verkehrsmenge \cdot EF$$

Emissionen	Emissionen eines Stoffs für einen Streckenabschnitt	[g/d]
L	Länge des Streckenabschnitts	[km]
VM	Verkehrsmenge, Anzahl Fahrzeuge	[-/d]
EF	Emissionsfaktor, Emission eines Fahrzeugs je gefahrene Strecke	[g/km]

Die Emissionen werden für jeden Streckenabschnitt getrennt nach Verkehrszustand (flüssig, dicht, gesättigt, stop+go) ermittelt und als totale Summe ausgegeben. Zum Beispiel werden die Emissionen von Personenwagen im flüssigen Zustand wie folgt berechnet:

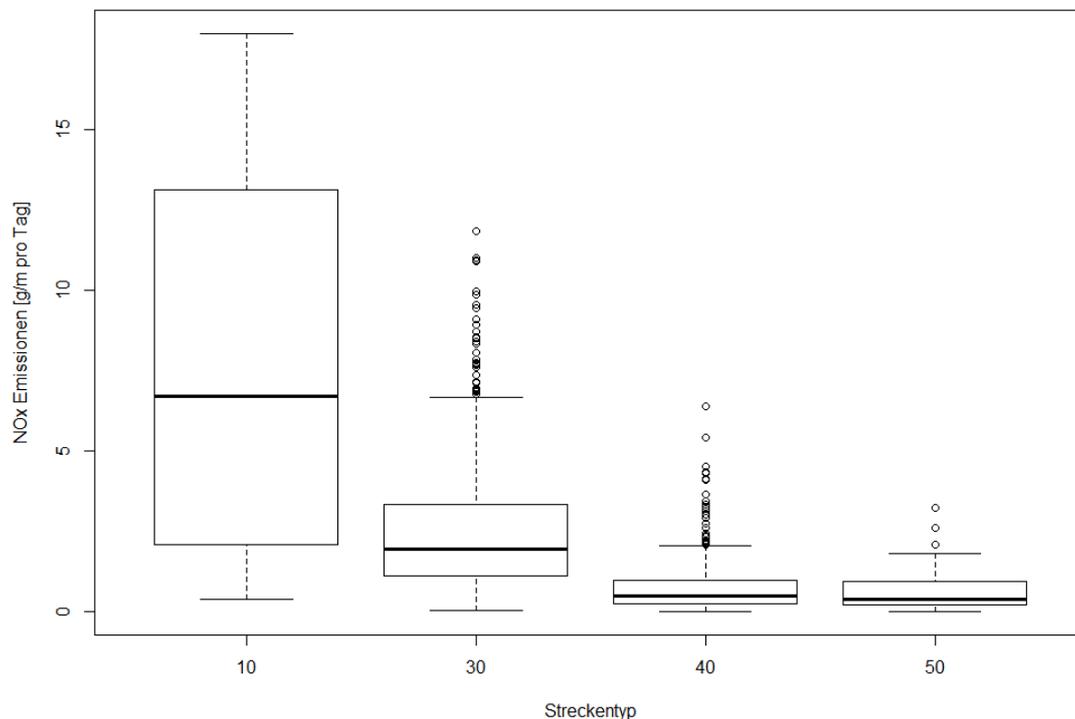
$$Emissionen_{PW\_flüssig} = L \cdot VM \cdot Ant_{PW} \cdot Ant_{flüssig} \cdot EF_{PW\_flüssig}$$

Emissionen_PW_flüssig	Emissionen für Personenwagen im flüssigen Verkehr	[g/d]
L	Länge des Streckenabschnitts	[km]
VM	Verkehrsmenge, Anzahl Fahrzeuge	[-/d]
Ant_PW	Anteil Personenwagen an Verkehrsmenge	[-]
Ant_flüssig	Anteil flüssiger Verkehr an Verkehrsmenge	[-]
EF_PW_flüssig	Emissionsfaktor für Personenwagen im flüssigen Verkehrszustand	[g/km]

Um die Ergebnisse zu plausibilisieren, wurden die ermittelten NO<sub>x</sub>-Emissionen mit Daten der früheren Berechnung aus dem Jahre 2010 [3] verglichen sowie verschiedene Kenngrößen (z.B. Emissionen nach Strassentyp, Verkehrszustand etc.) ermittelt.

Der Vergleich mit den NO<sub>x</sub>-Emissionen aus der früheren Berechnung wurde anhand von Kennwerten und räumlichen Plots vorgenommen. Da die früheren Berechnungen nur eingeschränkt verfügbar waren (als drei separate Ergebnistabellen für Nationalstrassen, kantonale Routen und Zusatzrouten) und auf einer anderen Berechnungsmethodik basieren, waren nur grobe Vergleiche möglich. Insgesamt zeigte die Gegenüberstellung aber, dass vergleichbare Werte ermittelt wurden, die sich in derselben Grössenordnung bewegen.

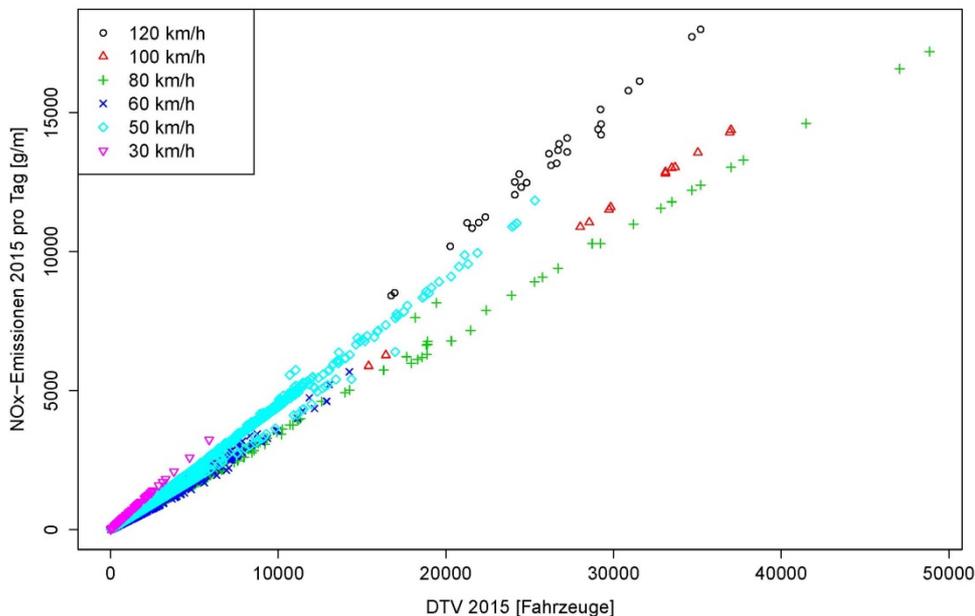
In den folgenden Abschnitten werden nun einige Kenngrößen der neuen Abschätzung präsentiert, anhand derer die Ergebnisse detaillierter plausibilisiert wurden. In Abbildung 4 auf der folgenden Seite sind Boxplots der NO<sub>x</sub>-Emissionen nach Streckentyp für das Jahr 2015 gezeigt.



**Abbildung 4 NO<sub>x</sub>-Emissionen 2015 nach Streckentyp (10: HLS, 30: HVS, 40: SS, 50: ES) differenziert**

Die NO<sub>x</sub>-Emissionen nach Streckentyp erscheinen plausibel. Die Abbildung verdeutlicht, dass sich die Emissionen signifikant nach Streckentyp unterscheiden. Auf Autobahnen (Streckentyp 10) sind erwartungsgemäss aufgrund der grösseren Verkehrsbelastung und des höheren LW- und LNF-Anteils die höchsten Emissionen zu beobachten.

Abbildung 5 auf der folgenden Seite zeigt ein Streudiagramm der NO<sub>x</sub>-Emissionen 2015 gegenüber den DTV-Belastungen, unterschieden nach dem Tempolimit.



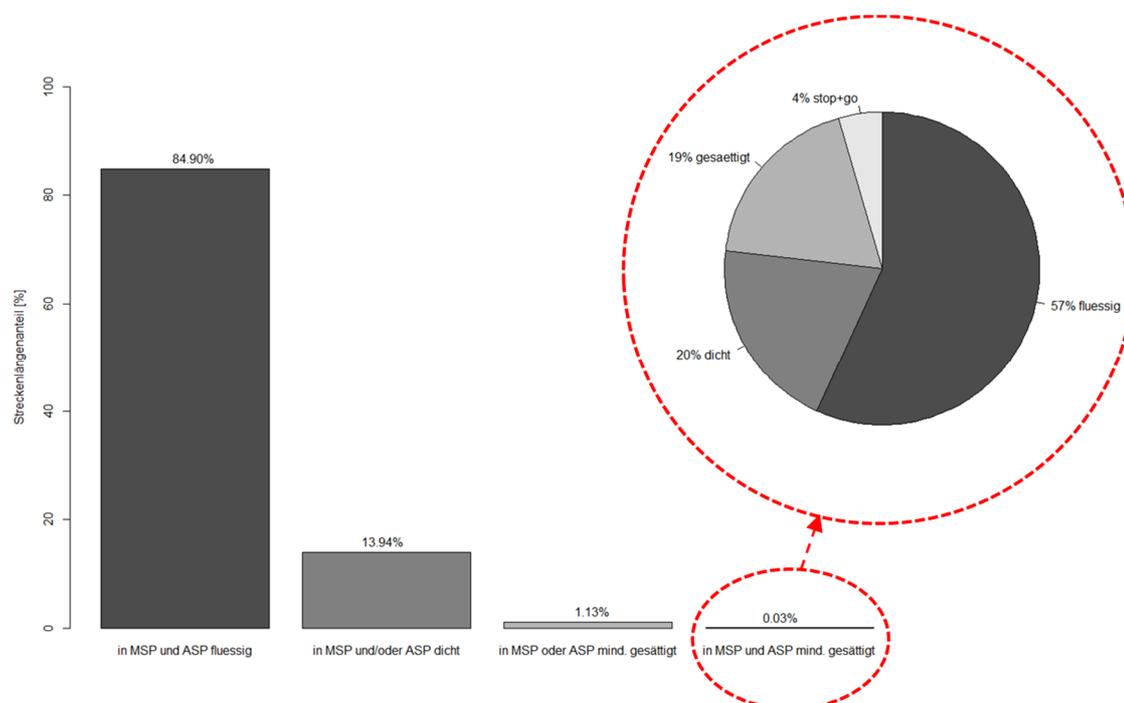
**Abbildung 5 Streudiagramm NO<sub>x</sub>-Emissionen 2015 vs. DTV 2015 nach Tempolimit**

Die Streuung der Emissionen wird als realistisch erachtet. In der Graphik ist der hohe Einfluss des Tempolimits (und der damit verbundenen gefahrenen Geschwindigkeiten und des Fahrverhaltens) zu sehen.

Die Auswirkung der Annahmen über den sich im Tagesverlauf verändernden Verkehrszustand ist in Abbildung 6 dargestellt. Im linken Balkendiagramm sind die Streckenlängenanteile (Kilometeranteil am Gesamtnetz) nach Verkehrszustandskategorie im Jahr 2025 gezeigt. Es wurden vier Verkehrszustandskategorien gebildet:

- *Kategorie 1: In MSP und ASP flüssig:* Die Strecken befinden sich während dem ganzen Tag in einem flüssigen Zustand, das heisst, die Auslastung ist zu keinem Zeitpunkt höher als 0.6.
- *Kategorie 2: In MSP und/oder ASP dicht:* Die Strecken sind in der Morgen- und/oder Abendspitze in einem dichten Verkehrszustand.
- *Kategorie 3: In MSP oder ASP mind. gesättigt:* Die Strecken sind entweder in der Morgen- oder Abendspitze in einem gesättigten oder „stop+go“ Zustand.
- *Kategorie 4: In MSP und ASP mind. gesättigt:* Die Strecken sind sowohl in der Morgen- als auch Abendspitze in einem gesättigten oder „stop+go“ Zustand.

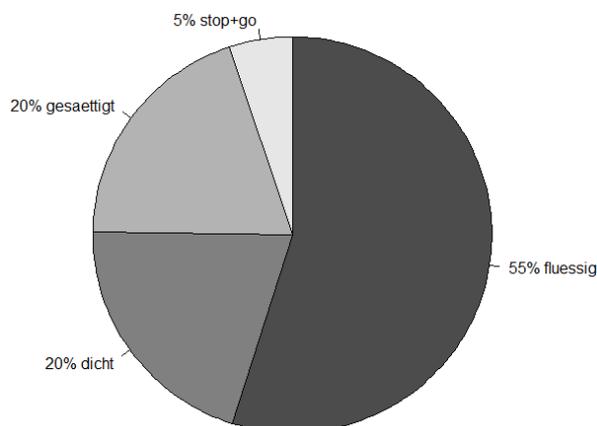
Im rechten Kuchendiagramm ist der durchschnittliche CO<sub>2</sub>-Emissionsanteil (an den gesamten CO<sub>2</sub>-Emissionen dieser Strecken) nach Verkehrszustand im Jahr 2025 für die Strecken der Kategorie 4, die in der MSP und ASP mindestens gesättigt sind, gezeigt.



**Abbildung 6 Anteil des Streckennetzes in verschiedenen Verkehrszustandskategorien und durchschnittlicher CO<sub>2</sub>-Emissionsanteil nach Verkehrszustand im Jahr 2025 auf in der MSP und ASP übersättigten Strecken**

Die Anteile erscheinen plausibel. Der CO<sub>2</sub>-Emissionsanteil unter flüssigen Bedingungen beträgt bei in den Spitzenstunden überlasteten Strecken durchschnittlich 57%. Die Mehrheit der täglichen CO<sub>2</sub>-Emissionen wird somit auch bei diesen Strecken bei einem flüssigen Verkehrszustand abgegeben.

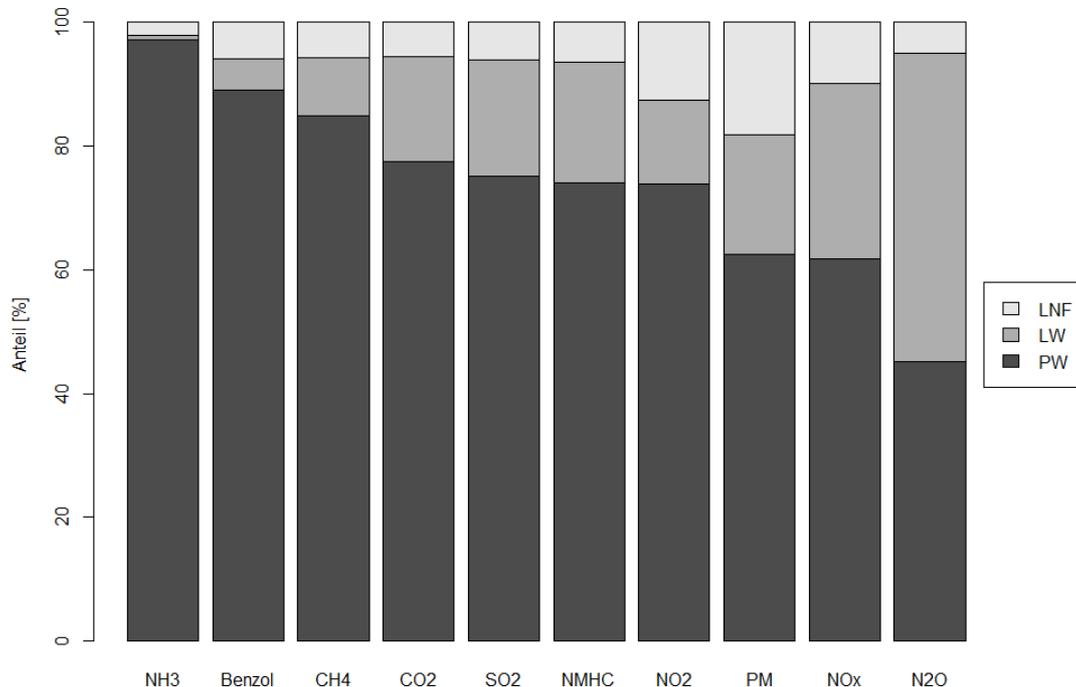
Für Stickoxide (NO<sub>x</sub>) wurde ein analoges Kuchendiagramm erstellt. Dieses ist in Abbildung 7 auf der folgenden Seite dargestellt.



**Abbildung 7 Durchschnittlicher NO<sub>x</sub>-Emissionsanteil nach Verkehrszustand im Jahr 2025 auf in der MSP und ASP übersättigten Strecken**

Die durchschnittlichen NO<sub>x</sub>-Emissionsanteile nach Verkehrszustand im Jahr 2025 auf in der MSP und ASP übersättigten Strecken sind gegenüber derjenigen von CO<sub>2</sub> praktisch unverändert.

Abbildung 8 zeigt die PW-, LW- und LNF-Anteile nach Schadstoff für das Jahr 2020.



**Abbildung 8 Fahrzeugkategorie-Anteile an den Gesamtemissionen nach Schadstoff für alle Strassen für das Jahr 2020**

Die LNF- und LW-Anteile an den Gesamtemissionen variieren stark und bewegen sich zwischen 1% und 50%. Anteilsmässig werden beim Schadstoff Lachgas ( $N_2O$ ) am meisten Emissionen durch Lastwagen verursacht. Der LNF-Anteil ist bei den Schadstoffen PM und  $NO_2$  am höchsten (18% bzw. 13%). Die geringsten LNF- und LW-Anteile sind beim Schadstoff Ammoniak zu verzeichnen.

Die Fahrzeugkategorie-Anteile an den Gesamtemissionen wurden mit den zugrunde gelegten Emissionsfaktoren für PW, LNF und LW verglichen und geprüft. Die variierenden LNF- und LW-Anteile erscheinen aufgrund der unterschiedlichen Emissionsfaktoren plausibel.

## 5 Ergebnisse

Die Ergebnisse der Abschätzung der verkehrlichen Emissionen sind in einer separaten Excel-Datei zusammengefasst, in der die ermittelten Emissionen pro Strecke ausgewiesen sind.

Beispielhaft sind in Abbildung 9 die  $NO_x$ -Emissionen 2015 im Raum Luzern dargestellt.



**Abbildung 9  $NO_x$ -Emissionen 2015 [g/m pro Tag]**

In Tabelle 6 sind die jährlichen Gesamtemissionen im Netz für alle berücksichtigten Schadstoffe und Jahre zusammengefasst.

**Tabelle 6 Jährliche Gesamtemissionen Strassenverkehr (Netz gemäss KVM LU, d.h. ohne Nebenstrassen)**

Schadstoff	Jährliche Gesamtemissionen [Tonnen]			
	2012	2015	2020	2025
Stickoxide NO <sub>x</sub>	1'469	1'280	880	574
Sickstoffdioxid NO <sub>2</sub>	303	311	242	165
Partikelmasse PM	39.4	28.6	16.9	10.3
CO <sub>2</sub> (total)	608'700	603'800	591'000	576'800
Methan CH <sub>4</sub>	4.29	2.97	1.88	1.52
Nichtmethankohlenwasserstoffe NMHC	72.1	50.1	33.3	27.3
Schwefeldioxid SO <sub>2</sub>	3.43	3.43	3.40	3.34
Lachgas N <sub>2</sub> O	13.19	14.08	14.84	15.64
Ammoniak NH <sub>3</sub>	110	93.8	78.4	74.8
Benzol	5.88	4.02	2.46	1.96

Die Gesamtemissionen pro Jahr nehmen zwischen 2012 und 2025 bei fast allen Schadstoffen zum Teil deutlich ab. Einzig beim Lachgas ist mit einer Zunahme der Emissionen um rund 19% zu rechnen. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen verbleiben bei einer Reduktion um rund 5% auf einem hohen Niveau.

## 6 Vergleich mit der Berechnung ohne Berücksichtigung LNF

Die vorliegende Emissionsberechnung basiert auf dem Bericht „Abschätzung der verkehrlichen Emissionen mittels KVM LU und HBEFA Version 3.2“ vom 04. November 2015. Ergänzt wurde in diesem Bericht die explizite Berücksichtigung der leichten Nutzfahrzeuge (zuvor wurden nur die Fahrzeugkategorien PW und LW unterschieden). Im Folgenden werden die vorgenommenen Anpassungen und die Unterschiede zwischen den beiden Berechnungen (ohne / mit Berücksichtigung LNF) erläutert.

Für die Berücksichtigung von LNF konnte auf detailliertere Verkehrszählraten zurückgegriffen werden. Für rund 35 Zählstellen auf dem Kantonsstrassennetz sowie 11 Zählstellen auf Autobahnen im Kanton Luzern standen Angaben zu einzelnen Fahrzeugkategorien gemäss dem Schema „Swiss 10“<sup>8</sup> zur Verfügung. Dies erlaubte es, neben den LNF-Anteilen auch die LW-Anteile für Autobahnen und Hauptverkehrsstrassen verlässlicher zu schätzen. In Tabelle 7 sind die für die neue Berechnung verwendeten PW-, LW- und LNF-Anteile am Gesamtverkehr nach Streckentyp aufgeführt (in Klammer ist jeweils der Anteil angegeben, der für die frühere Berechnung ohne Berücksichtigung von LNF verwendet wurde).

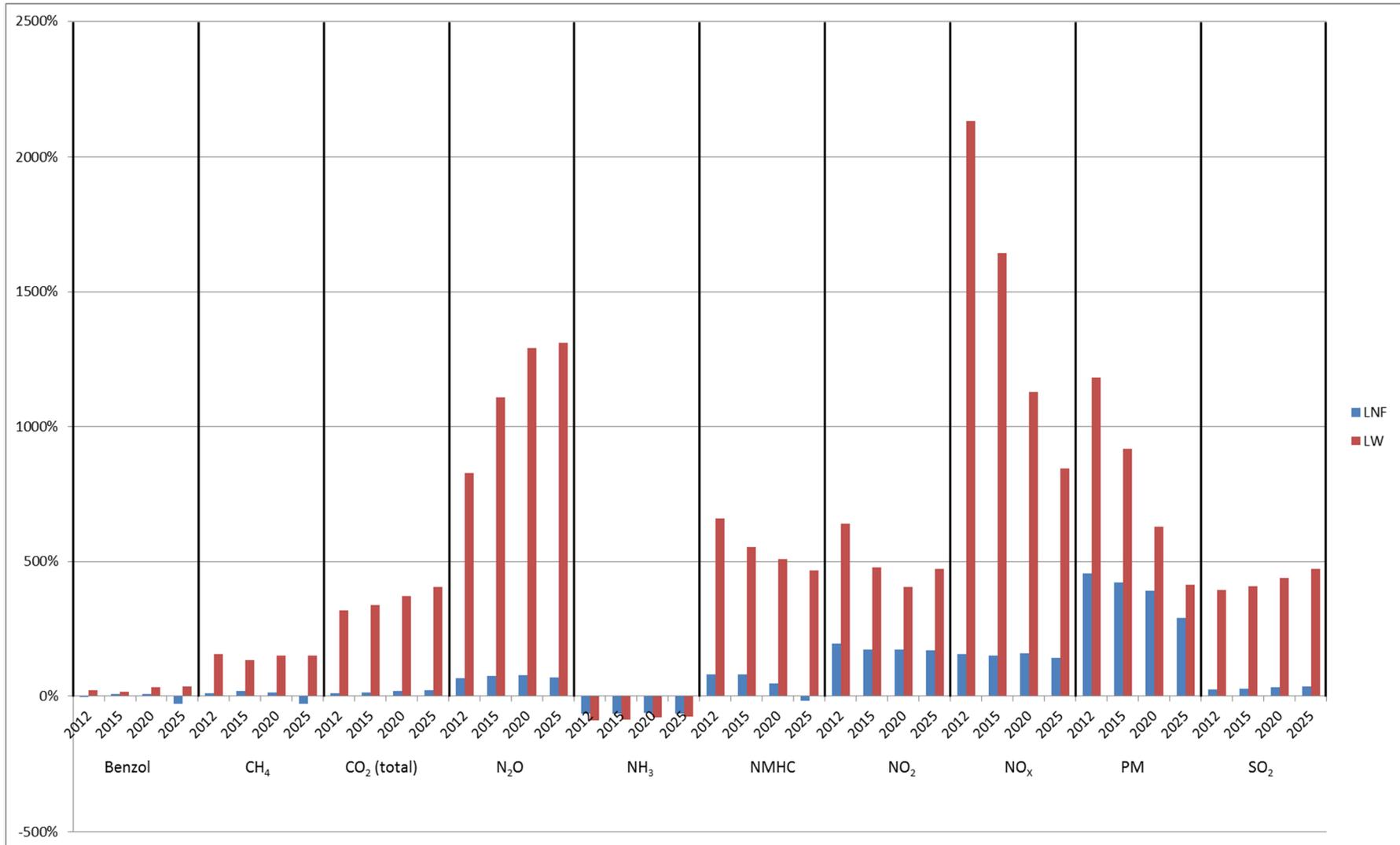
**Tabelle 7 LW- und LNF-Anteile nach Streckentyp**

Streckentyp	Anteil [neu (alt)]		
	PW	LW	LNF
Autobahn	85.0% (90.0%)	6.5% (10.0%)	8.5% (0.0%)
Hauptverkehrsstrasse	89.5% (92.0%)	5.0% (8.0%)	5.5% (0.0%)
Sammelstrasse / Erschliessungsstrasse	93.0% (95.0%)	3.0% (5.0%)	4.0% (0.0%)

Aufgrund der Zählraten wurden die LW-Anteile reduziert. Insbesondere zeigte sich, dass der durchschnittliche LW-Anteil auf Autobahnen erheblich tiefer liegt. Auf einigen Autobahnabschnitten beträgt der Anteil tatsächlich 10%, auf anderen Abschnitten wurden jedoch Anteile zwischen 4-5% gemessen.

In Abbildung 10 auf der folgenden Seite sind die relativen Verhältnisse der durchschnittlichen LW- und LNF-Emissionsfaktoren im Vergleich zu den durchschnittlichen PW-Emissionsfaktoren für die verschiedenen Zeitzustände gezeigt. Die Abbildung verdeutlicht die zum Teil sehr grossen Unterschiede zwischen den drei Fahrzeugkategorien.

<sup>8</sup> Nach dem Schema Swiss 10 werden folgende Fahrzeugklassen unterschieden: Bus/Car, Motorrad, Personenwagen, Personenwagen mit Anhänger, Lieferwagen, Lieferwagen mit Anhänger, Lieferwagen mit Auflieger, Lastkraftwagen, Lastenzug und Sattelzug



**Abbildung 10 Relative Verhältnisse der durchschnittlichen LW- und LNF-Emissionsfaktoren im Vergleich zu den durchschnittlichen PW-Emissionsfaktoren**

In Tabelle 8 sind die relativen Veränderungen der Gesamtemissionen im Strassenverkehr aufgrund der Berücksichtigung von LNF und Reduktion der LW-Anteile dargestellt.

**Tabelle 8 Relative Veränderung der Gesamtemissionen im Strassenverkehr aufgrund der Berücksichtigung von LNF und Reduktion der LW-Anteile (Netz gemäss KVM LU, d.h. ohne Nebenstrassen)**

Schadstoff	Veränderung [%]			
	2012	2015	2020	2025
Stickoxide NO <sub>x</sub>	-10.3	-5.5	1.7	5.8
Sickstoffdioxid NO <sub>2</sub>	9.1	11.8	15.0	14.9
Partikelmasse PM	5.7	8.1	12.4	12.6
CO <sub>2</sub> (total)	-5.6	-5.7	-6.0	-6.5
Methan CH <sub>4</sub>	-0.6	0.2	-0.7	-3.2
Nichtmethankohlenwasserstoffe NMHC	-6.4	-4.8	-5.9	-8.6
Schwefeldioxid SO <sub>2</sub>	-6.0	-6.0	-6.3	-7.0
Lachgas N <sub>2</sub> O	-18.8	-20.9	-21.6	-21.7
Ammoniak NH <sub>3</sub>	-2.1	-2.3	-2.5	-2.8
Benzol	1.7	2.6	2.1	-1.0

**Legende**

Abnahme: gross  gering  
 Zunahme: gross  gering

Die Veränderungen der Gesamtemissionen sind im Einklang mit den unterschiedlichen Emissionsfaktoren der Fahrzeugtypen (siehe Abbildung 10) und erscheinen plausibel.

Die Berücksichtigung von LNF und die gleichzeitige Reduktion der LW-Anteile führen zu signifikanten Veränderungen der Emissionen. Dies trifft insbesondere auf den Schadstoff N<sub>2</sub>O, bei dem Lastwagen anteilmässig für rund 50% der Emissionen verantwortlich sind, und die Schadstoffe PM und NO<sub>2</sub>, bei denen die LNF-Anteile an den Gesamtemissionen 18% bzw. 13% betragen, zu.