



## Nationalstrassen

D

Strassen Nr.

# N04

Unterhaltsabschnitt

## 06

Autobahnklasse

2

### Schaffhausen Süd - Herblingen

EU-Strassen-Nr.

E41

Projektphase

## Generelles Projekt

Projekt-/Planbezeichnung

# N04/06 SH Süd – Herblingen Engpassbeseitigung Kosten/Nutzen-Analyse (KNA)

Projektkurzbezeichnung

N04-06 ENG

Projekt-Nr. / TDcost-Nr.

090229

Inventarobjekt-Nr.

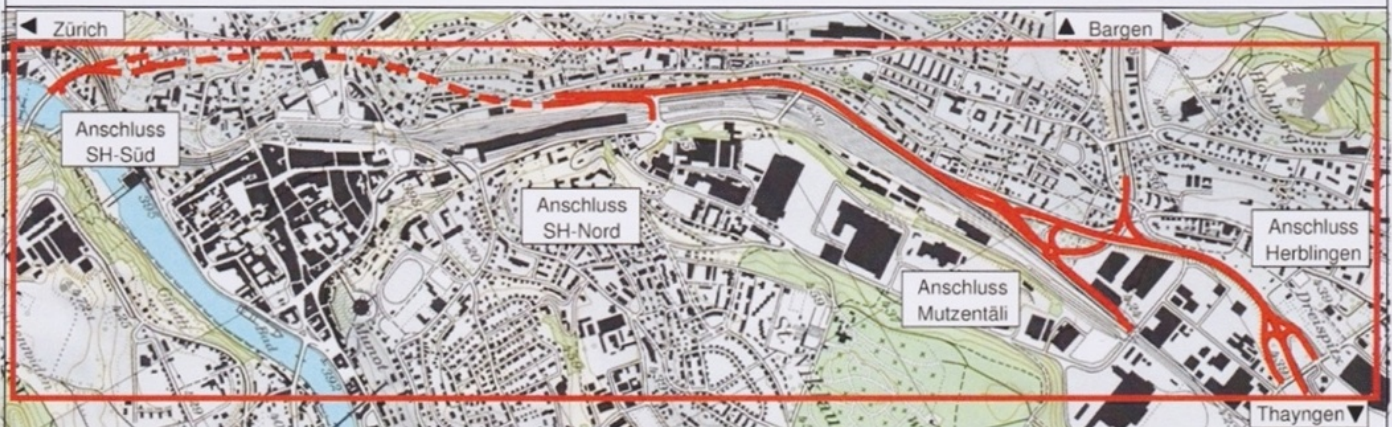
—

Unterhaltskilometer

13.000 - 17.500

RBBS

N04+0130+000 bis N04+0170+500



Projektverfasser:

**gruner > gruner + wepf > PÖYRY**

INGE Gruner / Gruner + Wepf / Pöyry

INGE Gruner / Gruner + Wepf / Pöyry  
c/o Gruner AG Ingenieure und Planer  
Gellertstrasse 55, Postfach, CH-4020 Basel

T +41 61 317 61 61  
F +41 61 317 61 66

Dokument-Nr.(PV) : 206'562'000-39C

Dok.-Nr. (ASTRA):

Version und Datum : 4.0 / 31.10.2016

Erstellt : WIN

Geprüft : RM

Ergänzt :

Geprüft :

Projektleitung:

**Bundesamt für Strassen ASTRA**

Filiale Winterthur  
Grüzefeldstrasse 41, 8404 Winterthur

Eingegangen :

Geprüft :

Freigabe :



# Inhalt

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Kosten/Nutzen-Analyse</b>	<b>7</b>
2.1	Allgemeines	7
2.2	Übersicht der verwendeten Indikatoren	7
2.3	KNA-Parameter	8
2.4	Anwendung des kantonalen Verkehrsmodells Schaffhausen	8
2.5	Viertelanschluss Schaffhausen-Nord	8
2.6	Kostenschätzung	9
2.7	Ergebnisse der KNA	9
<b>3</b>	<b>Erläuterungen zum Ergebnis der KNA</b>	<b>15</b>
	<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>16</b>
	<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>16</b>
<b>A</b>	<b>Zusammenfassung der KNA-Indikatoren</b>	<b>A-1</b>

## Abkürzungsverzeichnis

ASTRA	Bundesamt für Strassen
ASP	Abendspitzenstunde
DTV	Durchschnittlicher Tagesverkehr
DWV	Durchschnittlicher Werktagsverkehr
eNISTRA	Exceltool, mit welchem sowohl eine KNA wie auch eine NISTRA-Bewertung durchgeführt werden kann
Fzh	Fahrzeugstunden
Fzkm	Fahrzeugkilometer
G	Nachhaltigkeitsbereich Gesellschaft
HLS	Hochleistungsstrasse
HVS	Hauptverkehrsstrasse
IBE	Infrastrukturbudgeteffizienz
KNA	Kosten/Nutzen-Analyse
KNA-Indikatoren	Indikatoren der Kosten/Nutzen-Analyse bzw. monetarisierte Indikatoren
LW	Lastwagen
MIV	Motorisierter Individualverkehr
MSP	Morgenspitzenstunde
MWh	Megawattstunden
NISTRA	Nachhaltigkeitsindikatoren für Strasseninfrastrukturprojekte
NKV	Nutzen-Kosten-Verhältnis
ÖV	Öffentlicher Verkehr
U	Nachhaltigkeitsbereich Umwelt
VSS	Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute
W	Nachhaltigkeitsbereich Wirtschaft
ZMB	Zweckmässigkeitsbeurteilung

## Grundlagen

1. Bundesamt für Strassen: N04/06, SH Süd - Herblingen Engpassbeseitigung - Verkehrsmodellberechnungen Variante 4 mit/ohne flankierende Massnahmen, Frauenfeld, 2013
2. Bundesamt für Strassen/ Tiefbauamt Kanton Schaffhausen: N04/06, SH Süd - Herblingen Engpassbeseitigung - Anwendung Verkehrsmodell Schaffhausen, Frauenfeld, 2012
3. Bundesamt für Strassen: Handbuch eNISTRA, Bern und Altdorf, 2010



# 1 Einleitung

Im vorliegenden Bericht werden die Ergebnisse der Kosten/Nutzen-Analyse vorgestellt. Dabei wird die N04/06 Schaffhausen-Süd - Herblingen nach Engpassbeseitigung mit dem infrastrukturellen Ist-Zustand im Prognosejahr 2030 (Referenzfall) verglichen. Die Berechnungen der Indikatoren erfolgen durch das Tool eNISTRA. Das Modellgebiet des zugrunde liegenden Verkehrsmodells des Büros Widmer reicht im Osten bis Stein am Rhein, im Süden bis Kloten, im Westen bis Waldshut-Tiengen (Deutschland) und im Norden bis Singen (Deutschland). Der Projektperimeter beinhaltet den Streckenabschnitt der N04/E54 zwischen den Anschlüssen Schaffhausen-Süd und Herblingen.

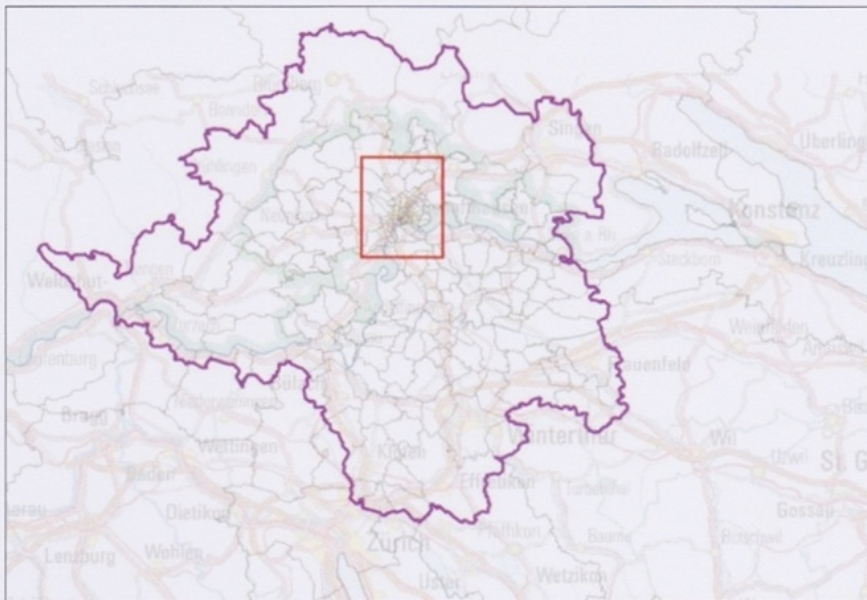


Abbildung 1 Modellgebiet (oben) [vgl. 1] und Projektperimeter (unten) [vgl. Googlemaps]







## 2 Kosten/Nutzen-Analyse

### 2.1 Allgemeines

Methodisch wird bei einer KNA - wie üblich bei Bewertungsverfahren - ein Planfall (Variante) mit einem Referenzfall (infrastruktureller Istzustand) zu einem Prognosezeitpunkt verglichen. Somit ergibt sich im Ergebnis (im Vergleich mit der Referenzvariante, also sog. Deltawerte) ein Nutzen/Kosten-Verhältnis. Das Bezugsjahr, auf das alle anfallenden Kosten und Nutzen abdiskontiert<sup>1</sup> werden, ist 2013. Dies ist notwendig, um die Kosten und Nutzen, welche zu unterschiedlichen Zeitpunkten anfallen, miteinander vergleichen zu können. Daher verwendet man sog. Nettobarwerte. Zusätzlich wird die Annuität (jährliche Kapitalabschreibung) ausgewiesen. Die Betrachtungsdauer beträgt in eNISTRA 40 Jahre nach Inbetriebnahme. Der durch die Anlage zu diesem Zeitpunkt resultierende Restwert wird eingerechnet, bzw. bei Anlageteilen deren Lebensdauer geringer als 40 Jahre ist, werden die notwendigen Ersatzinvestitionen berücksichtigt. Grundsätzlich können in eNISTRA auch negative Nutzen ausgewiesen werden, sofern negative Wirkungen verursacht werden. Diese führen zu einer Reduktion der Gesamtnutzen, aber nicht zu einer Erhöhung der Kosten.

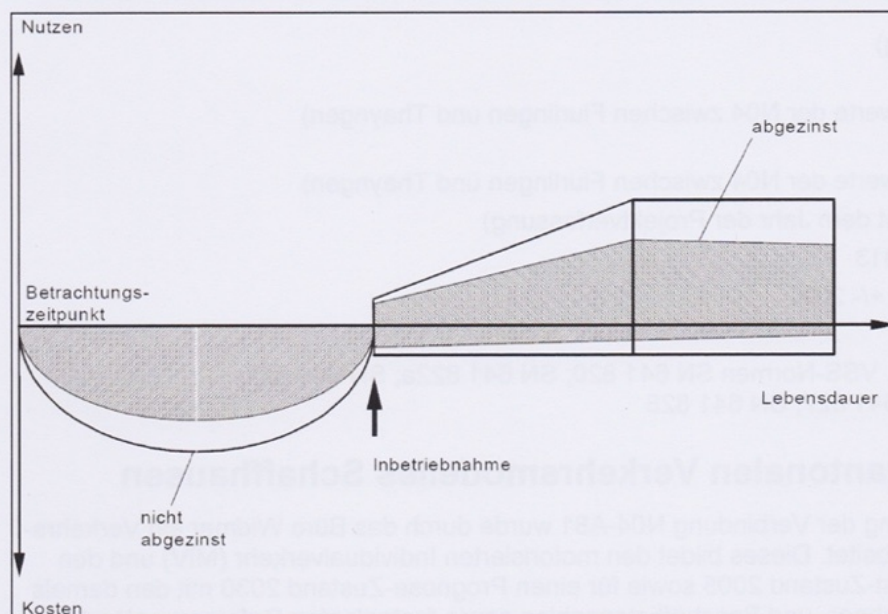


Tabelle 1 Diskontierung von Kosten und Nutzen auf einen Betrachtungszeitpunkt  
(Quelle: IVT-ETH: Vorlesung Bewertungsverfahren, Juni 2005)

### 2.2 Übersicht der verwendeten Indikatoren

Für die vorliegende KNA werden nur die relevanten Indikatoren bezüglich den erwarteten Kosten und Nutzen berechnet.

- Unfälle (NISTRA-Indikator G211)
- Baukosten (NISTRA-Indikator W111)
- Ersatzinvestitionen (NISTRA-Indikator W112)
- Landkosten (NISTRA-Indikator W113)
- Betriebs- und Unterhaltskosten Strasse (NISTRA-Indikator W114)
- Reisezeiten (NISTRA-Indikator W121)
- Betriebskosten Fahrzeuge (NISTRA-Indikator W123)

<sup>1</sup> Abdiskontierung: Finanzmathematische Methode, den Gegenwartswert (Barwert, Kapitalwert zu einem festgelegten Zeitpunkt) künftiger Zahlungen mittels Zinseszinsrechnung zu ermitteln.



## 2 Kosten/Nutzen-Analyse

---

- Luftbelastung (NISTRA-Indikator U111)
- Lärmbelastete Personen (NISTRA-Indikator U121)
- Bodenversiegelung (NISTRA-Indikator U131)
- Klimaeffekt (NISTRA-Indikator U211)
- Externe Kosten Energie Infrastrukturbetrieb (NISTRA-Indikator U311)

### 2.3 KNA-Parameter

Für die KNA sind folgende Parameter verwendet worden:

- Beginn der Planungs- und Bauphase: 2014
- Dauer der Planungs- und Bauphase: 16 Jahre (davon 9 Jahre Bauphase)
- Jahr der Inbetriebnahme: 2030
- Betrachtungsdauer: bis 2070 (standardisierte 40-Jahres-Betrachtung)
- Jährliches Verkehrswachstum: 1.5% (statt Basiswert 1.0%, da Potenzial für entsprechendes Wachstum vorhanden).  
(Quelle: Nutzungsvereinbarung)
- LW-Anteil: 8%  
(Quelle: Durchschnitt der Zählwerte der N04 zwischen Flurlingen und Thayngen)
- Verhältnis DTV/DWV: 0.935  
(Quelle: Durchschnitt der Zählwerte der N04 zwischen Flurlingen und Thayngen)
- Vergleichsjahr: 2013 (entspricht dem Jahr der Projektverfassung)
- Preistand Kostenschätzung: 2013
- Genauigkeit Kostenschätzung: +/- 20%
- Diskontsatz: 2%
- Grundlagen für die Indikatoren: VSS-Normen SN 641 820; SN 641 822a; SN 641 823; SN 641 824; SN 641 826; SN 641 827; SN 641 828

### 2.4 Anwendung des kantonalen Verkehrsmodelles Schaffhausen

Für die Zweckmässigkeitsbeurteilung der Verbindung N04-A81 wurde durch das Büro Widmer ein Verkehrsmodell (Verkehrsmodell 2006) erarbeitet. Dieses bildet den motorisierten Individualverkehr (MIV) und den öffentlichen Verkehr (ÖV) für den Ist-Zustand 2005 sowie für einen Prognose-Zustand 2030 mit den damals vom Kanton prognostizierten Einwohner- und Beschäftigtenzahlen sowie festgelegten Referenzzuständen für das MIV- und ÖV-Angebot ab. Für die Beurteilung der zukünftigen Verkehrsbelastungen respektive der im Kanton Schaffhausen zu erwartenden Engpässe wurde das Verkehrsmodell im Jahr 2013 aktualisiert und Verkehrsprognosen für das Jahr 2030 für die Zustände mit und ohne 2. Röhre des Tunnels Fäsenstaub erstellt. In Ergänzung zum Auftrag des kantonalen Tiefbauamtes beauftragte das Bundesamt für Strassen ASTRA, Filiale Winterthur, das Büro Widmer mit dem kantonalen Verkehrsmodell zusätzliche Varianten unterschiedlicher Anschlusskonfigurationen der N04/06 im Abschnitt Schaffhausen Süd bis Herblingen zu berechnen. Beim vorliegenden Verkehrsmodell handelt es sich um ein DWV-Modell. Das heisst, die Morgen- und Abendspitzenstunden (MSP und ASP) werden nicht modelliert. Folglich können auch die in der Regel ausgeprägten Spitzenstundeneffekte (Routenwahl- und Reisezeiteffekte) nicht abgebildet werden. Der Referenzfall wird somit eher zu positiv abgebildet, da allfällige Staus nicht adäquat berücksichtigt werden können. Der ausgewiesene Nutzen-Kosten-Faktor ist demnach eher auf der konservativen Seite.

### 2.5 Viertelanschluss Schaffhausen-Nord

In Schaffhausen-Nord wird ein Viertelanschluss vorgesehen, der modelltechnisch nicht enthalten ist. Bei diesem wird eine Ausfahrt von Zürich her angeboten. Aus den Verkehrsmodell-Zahlen der Verkehrserzeugung kann abgeleitet werden, dass diese Ausfahrt von 1'900 Fahrzeugen pro Tag genutzt wird, die ansonsten den Anschluss Schaffhausen-Süd genutzt hätten. Aufgrund des relativ geringen Einflusses wird auf die Berücksichtigung von Veränderungen für den Güterverkehr verzichtet.

Veränderungen werden bei den relevanten Indikatoren W121 "Reisezeitveränderungen Stammverkehr", W123 "Betriebskosten Fahrzeuge Stammverkehr", G211 "Unfälle" und U111 "Luftverschmutzung vorgenommen.



## 2.6 Kostenschätzung

Summe Mio. CHF (inkl. MwSt.)	Unterhalt Mio. CHF (inkl. MwSt.)	Engpassbeseitigung Mio. CHF (inkl. MwSt.)	abzgl. MwSt. (8%) Mio. CHF	Erstinvesti- tionskosten Mio. CHF	abzgl. Landkosten Mio. CHF (inkl. Unvorher- gesehenes)	NISTRA- Kosten W111 Mio. CHF
472.6	53.5	419.1	31.0	388.1	14.5	373.5

Tabelle 2 Investitionskosten

Gemäss Kostenschätzung ergeben sich bei Realisierung der Engpassbeseitigung nach Abzug der Unterhaltskosten ("Ohnehin-Kosten" wie z.B. Sanierungskosten der bestehenden Infrastruktur, die auch anfallen, wenn das Ausbauprojekt nicht realisiert wird) Kosten in Höhe von 419.1 Mio. CHF. Darin inbegriffen sind eine Projektreserve von 10%, allgemeine Kosten (z.B. Projektierungskosten, etc.) sowie die Mehrwertsteuer. Bei der Kosten/Nutzen-Analyse wird beim Indikator W111 Baukosten die Mehrwertsteuer nicht berücksichtigt, da sie aus volkswirtschaftlicher Sicht keinen Mehrnutzen generiert, womit sich Erstinvestitionskosten von 388.1 Mio. CHF ergeben. Die Investitionskosten ohne Landkosten und ohne Mehrwertsteuer betragen 373.5 Mio. CHF.

## 2.7 Ergebnisse der KNA

### 2.7.1 Ergebnis pro Indikator

Nachfolgend werden die einzelnen KNA-Indikatoren und deren Einheiten (Mengen- und Wertgerüst) erläutert. Eine Gesamtübersicht der Ergebnisse findet sich im Anhang A in Form der eNISTRA-Zusammenfassungen der KNA-Indikatoren.

#### G211 - Unfälle

Dieser Indikator misst die Veränderung der Verkehrssicherheit. Hierfür werden anhand der Verkehrsleistungen (in Mio. Fzkm/Jahr) pro Strassentyp (HLS, HVS innerorts und ausserorts) die Unfallhäufigkeiten (gemäss vorgegebenen Unfallraten) ermittelt. Den Unfallfolgen (Unfälle, Verletzte, Getötete) liegen entsprechende Kostensätze zu Grunde. Bei diesem Indikator entstehen innerhalb der KNA massgebende Nutzen durch die Verkehrsverlagerung auf "sicherere" Strassentypen.

Variante	Nutzen (Annuität) Mio. CHF	Nutzen (Nettoarwert) Mio. CHF
nach Engpassbeseitigung	2.62	52.29

Tabelle 3 Indikator G211 - Unfälle

#### Ergebnis:

Gemäss kantonalem Verkehrsmodell und den in Kapitel 2.5 dargelegten Anpassungen nehmen die Verkehrsbelastungen nach der Engpassbeseitigung im Vergleich zum Referenzfall innerorts, ausserorts sowie auf einstreifigen Abschnitten der Hochleistungsstrassen (HLS) ab. Innerorts beträgt die Abnahme 4.86 Mio. Fzkm/Jahr, ausserorts 8.81 Mio. Fzkm/Jahr sowie auf einstreifigen HLS-Abschnitten gar 24.14 Mio. Fzkm/Jahr. Gleichzeitig ist eine deutliche Verkehrszunahme um 43.29 Mio. Fzkm/Jahr auf zweistreifigen Autobahnabschnitten zu beobachten. Die Belastungen auf dreistreifigen Autobahnabschnitten im Modellgebiet nehmen im Vergleich zum Referenzfall um 1.29 Mio. Fzkm/Jahr zu. Durch die Verkehrsverlagerung auf die "sichereren" Strassentypen entsteht somit ein Nutzen von 52.29 Mio. CHF (Nettoarwert).

#### W111 - Baukosten

Die Baukosten stellen den wichtigsten KNA-Indikator auf der Kostenseite dar. Die Landkosten werden in einem separaten Indikator (W113 - Landkosten) ausgewiesen.

Variante	Baukosten (exkl. MwSt.) zum Investitionszeitpunkt Mio. CHF	Kosten (Annuität) Mio. CHF	Kosten (Nettoarwert) Mio. CHF
nach Engpassbeseitigung	373.5	13.78	274.68

Tabelle 4 Indikator W111 - Baukosten



2 Kosten/Nutzen-Analyse

**Ergebnis:**

Die Baukosten der Engpassbeseitigung gemäss eNISTRA betragen 373.5 Mio. CHF. Der Kostenschätzung liegt das Preisniveau von 2013 zugrunde. Ferner ist in den Baukosten eine Reserve von 10% enthalten. Die Genauigkeit der Kostenschätzung liegt bei +/- 20%.

**W112 - Ersatzinvestitionen**

Die Ersatzinvestitionen ergeben sich aus der unter W111 angegebenen Lebensdauer der einzelnen Baubestandteile. Da eNISTRA eine Betrachtung über 40 Jahre vornimmt, fallen teilweise bereits innerhalb des Betrachtungszeitraumes Ersatzinvestitionen für einzelne Bauteile an.

Variante	Kosten (Annuität) Mio. CHF	Kosten (Nettobarwert) Mio. CHF
nach Engpassbeseitigung	0.60	11.87

Tabelle 5 Indikator W112 - Ersatzinvestitionen

**Ergebnis:**

Die einzelnen Baubestandteile wurden in Anlehnung an die NISTRA-Einteilung und die Nutzungsvereinbarung insgesamt 7 Gruppen mit einer Lebensdauer von 90-100 Jahren, 90 Jahren, 60 Jahren, 50 Jahren, 40-45 Jahren, 30-40 Jahren sowie 15-30 Jahren zugeordnet. Insgesamt ergeben sich dadurch Kosten in Höhe von 11.87 Mio. CHF (Nettobarwert).

Element	Geplante Nutzungsdauer in Jahren
Vorbereitungs-, Rodungs- und Abbrucharbeiten, provisorische Massnahmen, Abbrüche/Demontagen	unendlich
Neue Stützmauer, Tragkonstruktionen, Erdbau	90-100
Kabelrohrblöcke, Ausbruchsicherung im Untertagebau, Rohrschirm und Injektionen	90
Randsteine und Stellplatten	60
Abdichtung, Entwässerung, Brückenlager, Innenausbau im Untertagebau	50
Fahrbahnfundation, Trag- und Bindschicht, Lärmschutzelemente, Portalrahmen, Verkleidungen im Untertagebau, Werkleitungen für Wasser und Gas	40-45
verkehrlich flankierende Massnahmen, Leitschranken, Zäune, Lüftung, Energieversorgung	30-40
Deckbelag, Markierungen, Beleuchtung, Signalisation, Kommunikation und Leittechnik, Überwachungsanlagen, Lüftung	15-30

Tabelle 6 Gruppierung Bauelemente nach Lebensdauer

**W113 - Landkosten**

Die Landkosten werden in eNISTRA separat von den Baukosten betrachtet. Dabei sind für den Landwert nicht der Kaufpreis, sondern die Opportunitätskosten des Landes zu betrachten.

Variante	Kosten (Annuität) Mio. CHF	Kosten (Nettobarwert) Mio. CHF
nach Engpassbeseitigung	0.47	9.32

Tabelle 7 Indikator W113 - Landkosten

**Ergebnis:**

Die Engpassbeseitigung weist insgesamt Landkosten in Höhe von 14.5 Mio. CHF auf. Darin inbegriffen sind zum einen Kosten für den endgültigen Landerwerb, zum anderen Kosten für den temporären Landerwerb und Entschädigungen.



2 Kosten/Nutzen-Analyse

**W114 - Betriebs- und Unterhaltskosten Strasse**

Die Betriebs- und Unterhaltskosten sind Bestandteil der direkten Kosten eines Strasseninfrastrukturprojektes und werden dabei unterteilt in "HVS/HLS", "übrige Strassen" und "Tunnel". Weiter spielen bei der Kostenermittlung unter anderem der DTV, die Länge des Strassenstücks sowie die Anzahl der Fahrstreifen eine Rolle. Im vorliegenden Fall werden lediglich die Betriebs- und Unterhaltskosten der Autobahn bewertet. Die Änderungen der Verkehrsmenge auf dem bestehenden Netz haben nur einen geringen Einfluss und können daher im Rahmen dieser KNA vernachlässigt werden.

Variante	Kosten (Annuität) Mio. CHF	Kosten (Nettoarwert) Mio. CHF
nach Engpassbeseitigung	1.68	33.42

Tabelle 8 Indikator W114 - Betriebs- und Unterhaltskosten Strasse

**Ergebnis:**

Für die Berechnung der Betriebs- und Unterhaltskosten der Autobahn werden virtuelle km angewandt. Dies impliziert eine Multiplikation der effektiven km mit dem Faktor 1.27, um Fahrbahnverbreiterungen, Anschlüsse, Rastplätze, etc. mit einzuschliessen. Gemäss der in eNISTRA durchgeführten 40-Jahres-Betrachtung der Betriebsphase (im vorliegenden Fall 2030 bis 2070) entstehen Kosten in Höhe von 1.68 Mio. CHF. Dabei handelt es sich um die ausgewiesene Annuität, die eine Umrechnung des Barwertes auf einen durchschnittlichen jährlichen Betrag darstellt. Zu Beginn der 40-Jahres-Betrachtung (Jahr 2030) ist nach der Engpassbeseitigung mit Betriebs- und Unterhaltskosten in Höhe von 0.78 Mio. zu rechnen, wohingegen im Referenzfall 2030 Kosten von 0.51 Mio. CHF entstehen. Die Kosten in Höhe von 0.78 Mio. CHF entstehen aus dem abgezinsten Betrag von 1.68 Mio. CHF.

**W121 - Reisezeiten**

Der Indikator Reisezeiten gehört zu den wichtigsten KNA-Indikatoren auf der Nutzenseite. Die Reisezeitersparnisse (Pers.-Stunden/Jahr) werden sowohl für den Personen- als auch für den Güterverkehr mit entsprechenden Kostensätzen (CHF/Pers.-Stunde) berechnet. Die Kosten basieren auf den beiden VSS-Normen SN 641 822a (Zeitkosten im Personenverkehr) und SN 641 823 (Zeitkosten im Güterverkehr).

Variante	Nutzen (Annuität) Mio. CHF	Nutzen (Nettoarwert) Mio. CHF
nach Engpassbeseitigung	8.79	175.19

Tabelle 9 Indikator W121 - Reisezeiten

**Ergebnis:**

Im Personenverkehr wird gemäss SN 641 822 für das Prognosejahr 2030 von einem Besetzungsgrad von 1.43 Personen/PW (Durchschnitt aller Fahrtzwecke) ausgegangen. Damit entstehen nach der Engpassbeseitigung im Vergleich zum Referenzfall im Personenverkehr Reisezeitgewinne in Höhe von 4.72 Mio. CHF und im Güterverkehr von 0.17 Mio. CHF. Der Mengeneffekt lässt sich somit auf 0.19 Mio. Personenstunden (Personenverkehr) und 0.01 Mio. Fahrzeugstunden (Güterverkehr) beziffern.

**W123 - Betriebskosten Fahrzeuge**

Eine allfällige Reduktion der Fahrzeugbetriebskosten ergibt sich aus der Verringerung der Fahrzeugleistungen (Fzkm/Jahr) und Fahrzeiten (Fzh/Jahr), welche wiederum mit Treibstoffkosten, Fahrerlöhnen (Güterverkehr) und fixen Kosten multipliziert werden.

Variante	Nutzen (Annuität) Mio. CHF	Nutzen (Nettoarwert) Mio. CHF
nach Engpassbeseitigung	-0.91	-18.18

Tabelle 10 Variantenvergleich beim Indikator W123 - Betriebskosten Fahrzeuge



**Ergebnis:**

Nach der Engpassbeseitigung ist auf der Autobahn eine Zunahme von insgesamt 18.95 Mio. Fzkm/Jahr im Vergleich zum Referenzfall 2030 zu konstatieren (Summe aus Personen- und Güterverkehr). Ausserorts ist hingegen eine Reduktion von 8.1 Mio. Fzkm/Jahr und innerorts eine Reduktion von 4.56 Mio. Fzkm/Jahr festzustellen. Weiterhin sinken durch die Verkehrsverlagerung auf die Autobahn die Fahrzeugstunden im Prognosejahr 2030 um 0.14 Mio. im Vergleich zum Referenzfall. Da nach der Engpassbeseitigung jedoch in der Summe mehr Fzkm/Jahr zurückgelegt werden als im Referenzfall, ergibt sich ein negativer Nutzen von -0.91 Mio. CHF (Annuität). Der negative Nutzen beschreibt somit die negative Wirkung, die aus der Zunahme der Fzkm/Jahr entsteht.

**U111 - Luftbelastung**

Die vom Strassenverkehr verursachte Luftbelastung führt zu Kosten an Gesundheit, Gebäuden und Vegetation. Die Gesundheitskosten und Gebäudeschäden werden auf Grundlage der Feinstaubemissionen (PM10) berechnet. Ernteausfälle und Waldschäden werden über NOx und die Bodenqualität über Zink bewertet. Basis der Berechnungen bildet die Veränderung der Verkehrsbelastungen in Fzkm/Jahr. Ferner kann die jeweilige Belastung bebauten und unbebauten Gebieten anteilmässig zugeordnet werden.

Variante	Nutzen (Annuität) Mio. CHF	Nutzen (Netto-barwert) Mio. CHF
nach Engpassbeseitigung	-0.88	-17.6

Tabelle 11 Indikator U111 - Luftbelastung

**Ergebnis:**

Die Veränderung der Verkehrsbelastung auf Autobahnen wird zu 90% unbebauten und zu 10% bebauten Gebieten zugeschrieben. Ausserorts wird die Belastung der Hauptverkehrsstrassen (HVS) zu 100% unbebauten und innerorts (ebenfalls HVS) zu 100% bebauten Gebieten zugeordnet (vgl. Grundlage 3). Im 10. Betriebsjahr (Jahr 2040) ergeben sich demnach eine Feinstaubreduktion von 0.27 t in bebauten Gebieten sowie eine Zunahme von 0.76 t in unbebauten Gebieten. Die NOx-Belastung nimmt um 1.49 t zu, die Zinkbelastung in Böden bleibt bei einer Zunahme von 0.02 t nahezu konstant. Insgesamt führt die Zunahme der Fzkm/Jahr somit zu einem negativen Nutzen von -0.88 Mio. CHF (Annuität).

**U121 - Lärmbelastete Personen**

Die Berechnung des Indikators U121 Lärmbelastete Personen nach der Standardmethode verlangt detaillierte Angaben zur Veränderung der Lärmbelastung einzelner Wohnungen im Referenz- und Projektfall. Da diese Datengrundlage nicht zur Verfügung steht, kann in eNISTRA die Berechnung nach einer vereinfachten Methode vorgenommen werden. Dabei werden auf Basis der Veränderung der Fzkm/Jahr die Kosten der Lärmbelastung berechnet. Im vorliegenden Fall würde diese Methode durch die Zunahme der Fzkm/Jahr jedoch volkswirtschaftliche Kosten verursachen, die bereits durch Lärmschutzmassnahmen in den Baukosten inbegriffen sind. Da eine Berechnung des Indikators nach der vereinfachten Methode somit zu einer doppelten Berechnung der durch Lärm verursachten Kosten führen würde, wird im vorliegenden Fall dieser Indikator nicht bemessen.

**U131 - Bodenversiegelung**

Böden haben eine besondere Bedeutung als Nährstoff- und Wasserspeicher, Puffer sowie als Lebensraum. Verkehrsflächen führen hingegen zu einer Versiegelung der Böden, sodass sie diese Funktionen nicht mehr wahrnehmen können. Der Indikator U131 bewertet die Kosten, die durch diese Versiegelung entstehen. Dabei werden drei Strassentypen mit spezifischen Korrekturfaktoren unterschieden. Bei Autobahnen wird der Platzbedarf der Strasse plus die doppelte Strassenbreite links und rechts der Strasse berechnet, bei Autostrassen der Platzbedarf der Strasse plus die einfache Strassenbreite links und rechts der Strasse sowie bei übrigen Strassen der Platzbedarf der Strasse plus 10 m links und rechts der Strasse.

Variante	Nutzen (Annuität) Mio. CHF	Nutzen (Netto-barwert) Mio. CHF
nach Engpassbeseitigung	-0.02	-0.42

Tabelle 12 Indikator U131 - Bodenversiegelung



**Ergebnis:**

Der Ausbau umfasst neben dem Bau zusätzlicher Fahrstreifen auch den Neubau der Verbindungsstrasse am Anschluss Mutzentäli. Durch diese Massnahmen entsteht gemäss den oben beschriebenen Korrekturfaktoren ein Flächenverbrauch von 39'677 m<sup>2</sup>.

**U211 - Klimaeffekt**

Der Indikator U211 misst den Ausstoss von CO<sub>2</sub> und anderer Treibhausgase wie Methan CH<sub>4</sub> und Lachgas N<sub>2</sub>O. Die Berechnung beruht auf der Veränderung der Verkehrsbelastung nach der Engpassbeseitigung.

Variante	Nutzen (Annuität) Mio. CHF	Nutzen (Nettobarwert) Mio. CHF
nach Engpassbeseitigung	-0.19	-3.88

Tabelle 13 Indikator U211 - Klimaeffekt

**Ergebnis:**

Gemäss den Berechnungen in eNISTRA ist für das Jahr 2030 eine zusätzliche Belastung von 1'211 t CO<sub>2</sub>-Äquivalenten festzustellen.

**U311 - Externe Kosten Energie Infrastrukturbetrieb**

Der Energieverbrauch beim Betrieb der Infrastruktur entsteht beispielsweise durch Beleuchtung, Ventilation und Pumpen. Bei der Produktion der benötigten elektrischen Energie werden Emissionen freigesetzt, deren Effekte durch den Indikator U311 monetarisiert werden.

Variante	Nutzen (Annuität) Mio. CHF	Nutzen (Nettobarwert) Mio. CHF
nach Engpassbeseitigung	-0.06	-1.17

Tabelle 14 Indikator U311 - Externe Kosten Energie Infrastrukturbetrieb

**Ergebnis:**

Im Vergleich zum Referenzzustand entsteht nach der Engpassbeseitigung ein zusätzlicher Energieverbrauch von 780 MWh/Jahr. Der Nettobarwert beträgt somit -1.17 Mio. CHF.



### 2.7.2 Gesamtergebnis KNA-Indikatoren

Das Nutzen/Kosten-Verhältnis wird gebildet aus der der Summe aller Nettobarwerte der Nutzen dividiert durch die Summe aller Nettobarwerte der Kosten.

#### Gesamtergebnisse der KNA-Indikatoren

Variante	Nettobarwert Kosten Mio. CHF	Nettobarwert Nutzen Mio. CHF	Nutzen/Kosten- Verhältnis NKV
nach Engpassbeseitigung	329.29	186.25	0.57

Tabelle 15 Indikator U311 - Externe Kosten Energie Infrastrukturbetrieb

Nach Berücksichtigung der erläuterten Indikatoren, ergibt sich für die Engpassbeseitigung ein Nutzen/Kosten-Verhältnis von 0.57. Dabei steht dem Nettobarwert der Kosten in Höhe von 329.29 Mio. CHF ein Nettobarwert der Nutzen von 186.25 Mio. CHF gegenüber. Folgende Abbildung verdeutlicht den steigenden Nutzen im Zeitverlauf.



Abbildung 2 Entwicklung des volkswirtschaftlichen Nettonutzens über die Zeit



### 3 Erläuterungen zum Ergebnis der KNA

Die vorliegende KNA berechnet das Ergebnis einer rein monetären Bewertung der Zusatznutzen und Zusatzkosten des Ausbaues der N04/06. Der Nutzen/Kosten-Faktor liegt unter dem Wert 1. Die Massnahme erscheint zunächst volkswirtschaftlich unrentabel zu sein. Dieser Wert lässt sich jedoch folgendermassen erklären:

- Die entscheidenden monetarisierbaren Nutzen beim Neubau von Verkehrswegen liegen im Wesentlichen in den Reisezeitersparnissen der Verkehrsteilnehmer. Da im vorliegenden Fall keine neue Verbindung gebaut wird, sind diese erwartungsgemäss eher gering.
- Die Verkehrsprognosen wurden dem kantonalen Verkehrsmodell entnommen. Dieses gibt die Verkehrsprognose bis 2030 voraussichtlich sehr gut wieder. Die KNA berücksichtigt Kosten und Nutzen jedoch bis 2070. Falls in diesem zukünftigen Zeitraum ein stärkeres Verkehrswachstum stattfinden wird als im NISTRA-Tool angesetzt ist (was für einen entwicklungsfähigen Raum durchaus anzunehmen ist), wird sich der Nutzen erhöhen.
- Die jährlichen Kosten (Annuitäten) hängen entscheidend von den Baukosten ab. Im Fall der N04/06 ist es schlichtweg nicht möglich, die Baukosten wesentlich zu reduzieren, da nichts anderes als eine Tunnellösung möglich ist.

Bereits in der Zweckmässigkeitsbeurteilung (ZMB), Synthesebericht vom 12.12.2008, wurden sehr tiefe Nutzen/Kosten-Faktoren erreicht (je nach Variante zwischen 0.2 und 0.3). Aus diesem Grund wurden weitere, nicht monetarisierbare Nutzen ermittelt, die für den Ausbau der N04/06 sprechen, und die in der neuerlichen KNA nicht aufgenommen werden konnten. Diese sind vor allem:

- Direkte Nutzen für Verkehrsteilnehmer erhöhen
  - Verlässlichkeit MIV + ÖV steigern: Veränderung der Stausituationen im MIV und im strassengebundenen ÖV (Busverkehr).
  - Attraktivität Langsamverkehr steigern: Verkehrsentlastung auf Hauptstrassen; Möglichkeiten für Verbesserungen des LV-Netzes und der Querung von Strassen.
- Verminderung der Umweltbelastungen
  - Beeinträchtigung der Landschaft reduzieren: Erhalt der Vielfalt, Geschlossenheit und Naturnähe.
  - Zerschneidung von Lebensräumen reduzieren: Erhalt der Standortvielfalt, der Überlebensfähigkeit von Biotopen, sowie mögliches Aufwertungspotenzial.
  - Verbrauch nicht erneuerbarer Energien reduzieren: Minimierung der notwendigen Transportenergie (Treibstoffe).
- Aufwertung der Siedlungsgebiete
  - Förderung Siedlungsentwicklung nach innen: Möglichkeit von Verdichtung der Nutzungen innerhalb von Siedlungsgebieten.
  - Städtebauliche Aufwertung und verbesserte Lebensqualität: Potenzial zur innerstädtischen Aufwertung, siedlungsverträgliche Strassenraumgestaltung etc. durch Verkehrsverlagerung auf die N04.
  - Reduktion der Trennwirkung von Verkehrsinfrastrukturen: Integrationsmöglichkeit entlasteter Strassenabschnitte und Minimierung oberirdischer Streckenabschnitte.

Ein wesentliches Argument für den Ausbau besteht jedoch in der Tatsache, dass der bestehende Tunnel Fäsenstaub bereits mit der vorhandenen und erst recht mit der prognostizierten Belastung im Jahr 2030 die Sicherheitsanforderungen an Tunnel im Nationalstrassennetz (ASTRA-Weisung 74001) nicht mehr erfüllt und allein aus diesem Grund einen Ausbau auf vier Fahrstreifen mit richtungstrennten Tunnelröhren benötigt.

Aus diesen Gründen wurde dem ASTRA, Filiale Winterthur, der Auftrag für die Ausarbeitung des Generellen Projektes erteilt.



## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Modellgebiet (oben) [vgl. 1] und Projektperimeter (unten) [vgl. Googlemaps] .....	5
Abbildung 2	Entwicklung des volkswirtschaftlichen Nettonutzens über die Zeit .....	14

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Diskontierung von Kosten und Nutzen auf einen Betrachtungszeitpunkt (Quelle: IVT-ETH: Vorlesung Bewertungsverfahren, Juni 2005) .....	7
Tabelle 2	Investitionskosten .....	9
Tabelle 3	Indikator G211 - Unfälle .....	9
Tabelle 4	Indikator W111 - Baukosten .....	9
Tabelle 5	Indikator W112 - Ersatzinvestitionen .....	10
Tabelle 6	Gruppierung Bauelemente nach Lebensdauer .....	10
Tabelle 7	Indikator W113 - Landkosten .....	10
Tabelle 8	Indikator W114 - Betriebs- und Unterhaltskosten Strasse .....	11
Tabelle 9	Indikator W121 - Reisezeiten .....	11
Tabelle 10	Variantenvergleich beim Indikator W123 - Betriebskosten Fahrzeuge .....	11
Tabelle 11	Indikator U111 - Luftbelastung .....	12
Tabelle 12	Indikator U131 - Bodenversiegelung .....	12
Tabelle 13	Indikator U211 - Klimaeffekt .....	13
Tabelle 14	Indikator U311 - Externe Kosten Energie Infrastrukturbetrieb .....	13
Tabelle 15	Indikator U311 - Externe Kosten Energie Infrastrukturbetrieb .....	14



## A Zusammenfassung der KNA-Indikatoren

Zusammenfassung KNA-Indikatoren		Export Word
Vergleichsjahr KNA: 2013		Erstinvestition*: 387.9 Mio. CHF
		*inkl. Landkosten, ohne Abdiskontierung

### 1) Annahmen

Diskontsatz (Vorgabe KNA: Basis)	2.0%	Sensitivität Baukosten	Basis
Reallohnwachstum (Vorgabe KNA: Basis)	0.8%	Sensitivität Zeitwert	Basis
Verkehrswachstum (Manuell)	2%	Wahl Bewertungssätze KNA	NISTRABASIC

### 2) KNA-Indikatoren

Indikator	Mengeneffekt im Jahr 2040	Annuität (Mio. CHF)		Nettobarwert (Mio. CHF)	
		Kosten	Nutzen	Kosten	Nutzen
<b>Gesellschaft</b>					
G211 Unfälle			2.62		52.29
			2.62		52.29
<b>Wirtschaft</b>		16.52	7.88	329.29	157.01
W111 Baukosten	---	13.78		274.68	
W112 Ersatzinvestitionen	---	0.60		11.87	
W113 Landkosten	---	0.47		9.32	
W114 Betriebs- und Unterhaltskosten Strasse	---	1.68		33.42	
W115 Auswirkungen auf den ÖV	---	-		-	
W121 Reisezeitveränderungen Stammverkehr	0.2 Mio. h		8.79		175.19
W122 Veränderung der Zuverlässigkeit	---		-		-
W123 Betriebskosten Fahrzeuge Stammverkehr	8 Mio. Fzkm		-0.91		-18.18
W124 Nettonutzen Mehrverkehr	---		-		-
W125 Veränderung MwSt-Einnahmen ÖV	---		-		-
W127 Einnahmen Steuer und Maut Mehrverkehr	---		-		-
<b>Umwelt</b>			-1.16		-23.06
U111 Luftbelastung	0.5 t PM10		-0.88		-17.60
U121 Lärmbelastete Personen	---		-		-
U131 Bodenversiegelung	4 ha		-0.02		-0.42
U142 Landschafts- und Ortsbild	0 Pkt.		-		-
U211 Klimaeffekt	1211 t CO2		-0.19		-3.88
U311 Externe Kosten Energie Infrastrukturbetrieb	780 MWh/a		-0.06		-1.17
<b>Total</b>		16.52	9.35	329.29	186.25

### 3) Ökonomische Kennziffern

<b>Nettobarwert Kosten</b>	329.29	<b>Nutzen-Kosten-Verhältnis (NKV)</b>	0.57
<b>Nettobarwert Nutzen</b>	186.25	<b>Infrastrukturbudgeteffizienz</b>	-0.50
<b>Nettobarwert Saldo</b>	-143.05		

### 4) Entwicklung des volkswirtschaftlichen Nettonutzens über die Zeit



Aus Sicht der KNA ist die Inbetriebnahme im Jahr 2053 optimal (geplante Inbetriebnahme: 2030).



