

Validierung von Telraam-Sensoren zur Verkehrszählung und Geschwindigkeitsmessung

Aufgabenstellung für eine Bachelorarbeit im Fach Verkehrsplanung



Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	10
1.1	Ausgangslage und Problemstellung	10
1.2	Zielsetzung und Forschungsfragen	10
1.3	Aufbau der Arbeit	11
2	Literaturrecherche (AP1)	12
2.1	Überblick der Methoden zur Verkehrszählung und Geschwindigkeitsmessung	12
2.1.1	Methodische Herausforderungen automatischer Zählsysteme	12
2.1.2	Einflussfaktoren auf das Aufkommen	13
2.2	Manuelle Zählungen	13
2.3	Seitenradar	14
2.3.1	Eingesetztes Gerät: Sierzega SR7	14
2.4	Videobasierte Erhebung	15
2.4.1	Miovision Scout Plus	15
2.5	Videobasierte Erhebung mit Telraam	16
2.5.1	Funktionsweise und Citizen-Science-Modell	16
2.5.2	Wie die Klassifikation funktioniert	17
2.5.3	Einsatzbereiche	18
2.5.4	Herstellereigene Validierungsstudien	18
2.5.5	Dokumentierte Fehlerquellen beim S2-Sensor	19
2.5.6	Unabhängige wissenschaftliche Untersuchung	19
2.5.7	Praxisberichte von Gemeinden und Ingenieurbüros	20
2.5.8	Erkenntnisse aus Expertengesprächen mit früherem Anwender: innen	22
2.6	Weitere Erhebungsmethoden	23
2.7	Forschungslücken und Ableitung des Untersuchungsbedarfs	24
3	Standortevaluation und Versuchsdesign	25
3.1	Technische Standortkriterien je Messsysteme	25
3.2	Auswahl der drei Teststandorte in der Stadt Basel	27
3.3	Nutzwertanalyse	29
3.4	Versuchsdesign: räumliche und zeitliche Messplanung	31
3.5	Technische Vorbereitung, Kalibrierung und Testmessung	33

3.6	Validierungsparameter	37
3.6.1	Deskriptive Statistik	38
3.6.2	Vergleich mit den Referenzsystemen	38
3.6.3	Einflussfaktoren	39
3.6.4	Klassifikationsgenauigkeit	40
4	Datenerhebung/Feldbericht (AP4)	41
4.1	Feldbericht	41
4.2	Feldbergstrasse	45
4.3	St. Alban Vorstadt	49
4.4	Fazit zu den Feldmessungen	52
5	Datenauswertung und Validierung (AP5)	54
5.1	Datenauswertung und Validierung – Weiherweg	54
5.1.1	Datenaufbereitung	54
5.1.2	Deskriptive Statistik	55
5.1.3	Vergleich der Verkehrsmengen	55
5.1.4	GEH-Wert	58
5.1.5	SQV (Scalable Quality Value)	59
5.1.6	Klassifikationsgenauigkeit	60
5.1.7	Geschwindigkeitsanalyse	63
5.1.8	Einflussfaktoren	64
5.1.9	Richtungsabhängigkeit	67
5.1.10	Zusätzliche Validierungen	68
5.1.11	Zusammenfassung und Einschränkungen	72
5.2	Datenauswertung und Validierung – Feldbergstrasse	73
5.2.1	Datenaufbereitung	73
5.2.2	Deskriptive Statistik	73
5.2.3	Vergleich der Verkehrsmengen	74
5.2.4	GEH-Wert	77
5.2.5	SQV (Scalable Quality Value)	78
5.2.6	Klassifikationsgenauigkeit	79
5.2.7	Geschwindigkeitsanalyse	81

5.2.8	Einflussfaktoren	82
5.2.9	Richtungsabhängigkeit	84
5.2.10	Zusätzliche Validierungen	85
5.2.11	Zusammenfassung und Einschränkungen	88
5.3	Datenauswertung und Validierung – St. Alban Vorstadt	89
5.3.1	Datenaufbereitung	89
5.3.2	Deskriptive Statistik	89
5.3.3	Vergleich der Verkehrsmengen	90
5.3.4	GEH-Wert	93
5.3.5	SQV (Scalable Quality Value)	95
5.3.6	Klassifikationsgenauigkeit	96
5.3.7	Geschwindigkeitsanalyse	97
5.3.8	Einflussfaktoren	98
5.3.9	Richtungsabhängigkeit	100
5.3.10	Zusätzliche Validierungen	101
5.3.11	Zusammenfassung und Einschränkungen	104
5.4	Standortübergreifender Vergleich	105
5.4.1	Kennzahlenvergleich je Standort und Referenzsystem	105
5.4.2	Generelle Muster über alle Standorte hinweg	106
6	Synthese	111
6.1	Gesamteinordnung der Ergebnisse	111
6.2	Wieso werden Velo- und Fussverkehr schlechter gemessen?	112
6.3	Welche Faktoren bestimmen die Datenqualität?	112
6.3.1	Standort & Sensortechnik	112
6.3.2	Verkehr	113
6.3.3	Umfeld	113
6.3.4	Organisation	113
6.3.5	Fragestellung	114
6.4	Wo liegen die Grenzen von Telraam?	114
6.4.1	Technische Grenzen	114
6.4.2	Methodische Grenzen	114

6.4.3	Praktische Grenzen	115
6.5	Handlungsempfehlungen	115
6.6	Kosten-Nutzen-Betrachtung	116
6.7	Für welche Anwendungen eignet sich Telraam?	117
6.8	Was ist der eigentliche Mehrwert von Telraam?	117
6.9	Fazit	118
7	Dank	119
8	Literatur	120
9	Anhänge	123
A.1	Weiherweg: Deskriptive Statistik (Volltabelle)	123
A.2	Weiherweg: MAPE/MAE/RMSE, Telraam vs. Sierzega	123
A.3	Weiherweg: MAPE/MAE/RMSE, Telraam vs. Miovision	124
A.4	Weiherweg: MAPE/MAE/RMSE, Telraam vs. Manuell	124
A.5	Weiherweg: Zusammenhang der Messungen und Bland-Altman-Analyse	124
A.6	Weiherweg: Richtungsabhängigkeit (Teststatistik-Details)	129
A.7	Weiherweg: Vier-Wege-Vergleich nach Kategorie (Volltabelle)	130
A.8	Weiherweg: Vier-Wege-Vergleich Multimodal Total (Volltabelle)	131
A.9	Feldbergstrasse: Deskriptive Statistik (Volltabelle)	131
A.10	Feldbergstrasse: MAPE/MAE/RMSE, Telraam vs. Sierzega	132
A.11	Feldbergstrasse: MAPE/MAE/RMSE, Telraam vs. Manuell	132
A.12	Feldbergstrasse: MAPE/MAE/RMSE, Telraam vs. Miovision	133
A.13	Feldbergstrasse: Zusammenhang der Messungen und Bland-Altman-Analyse	133
A.14	Feldbergstrasse: Witterung und Dämmerungszeiten (Detailtabelle)	140
A.15	Feldbergstrasse: Richtungsabhängigkeit (Teststatistik-Details)	140
A.16	Feldbergstrasse: Vier-Wege-Vergleich (Volltabelle)	141
A.17	St. Alban Vorstadt: Deskriptive Statistik (Volltabelle)	142
A.18	St. Alban Vorstadt: MAPE/MAE/RMSE, Telraam vs. Sierzega	142
A.19	St. Alban Vorstadt: MAPE/MAE/RMSE, Telraam vs. Manuell	142
A.20	St. Alban Vorstadt: MAPE/MAE/RMSE, Telraam vs. Miovision	143
A.21	St. Alban Vorstadt: Zusammenhang der Messungen und Bland-Altman-Analyse	143
A.22	St. Alban Vorstadt: Witterung und Dämmerungszeiten (Detailtabelle)	148

A.23 St. Alban Vorstadt: Richtungsabhängigkeit (Teststatistik-Details)	149
A.24 St. Alban Vorstadt: Vier-Wege-Vergleich (Volltabelle)	150
A.25 Standortübergreifend: GEH/SQV von Telraam, Sierzega und Miovision gegenüber Manuell (Volltabelle)	150
A.26 Kennzahlenvergleich: Telraam vs. Sierzega, alle drei Standorte (Tabelle S1)	151
A.27 Kennzahlenvergleich: Telraam vs. Manuell, alle drei Standorte (Tabelle S2)	153
A.28 Kennzahlenvergleich: Telraam vs. Miovision, alle drei Standorte (Tabelle S3)	154
A.29 Geschwindigkeit V85 vs. Sierzega, alle drei Standorte (Tabelle S4)	155
A.30 Kompensation der Kategorienfehler, mit und ohne Velo (Tabelle S5)	156

Bachelorarbeit Studiengang Bauingenieurwesen

Validierung von Telraam-Sensoren zur Verkehrszählung und Geschwindigkeiten

Student
Claudio Rieder

Examinator
Prof. Dr. Alexander Erath
FHNW
Hofackerstrasse 30
4132 Muttenz

Betreuer
Tim Cotti
FHNW
Externe Betreuer
Daniel Sauter
Urban Mobility

claudio.rieder@students.fhnw.ch

Telefon: +41 61 228 54 26
alexander.erath@fhnw.ch

August 2026

Kurzfassung

Der Telraam S2 ist ein kostengünstiger, KI-basierter Verkehrssensor, der zunehmend in Pilotprojekten eingesetzt wird. Eine unabhängige, methodisch kontrollierte Validierung unter Schweizer Rahmenbedingungen fehlte für Velo- und Fussverkehr bislang jedoch. Diese Arbeit prüft, wie genau der Sensor unterschiedliche Verkehrsarten unter realen Strassenverhältnissen erfasst, welche systematischen Abweichungen auftreten und für welche Einsatzbereiche er sich eignet. Dazu wurde Telraam an drei strukturell unterschiedlichen Basler Standorten. Einer Verbindungsstrasse, einer Hauptverkehrsachse und einer Begegnungszone, gegen drei unabhängige Vergleichssysteme geprüft: den Seitenradar Sierzega SR7, das videobasierte System Miovision Scout sowie eine manuelle Kontrollzählung. Bei Personenwagen und Geschwindigkeit zeigt sich über alle Standorte eine hohe Übereinstimmung mit allen drei Vergleichssystemen. Bei Fussgängern fällt dagegen eine konsistente, deutliche Unterschätzung auf. Beim Veloverkehr zeigt sich ein differenzierteres Bild: Ein Teil der scheinbaren Telraam-Schwäche geht tatsächlich auf systematische Fehler des Referenzsystems Sierzega selbst zurück, wie der Vergleich mit den beiden anderen, unabhängigen Referenzsystemen zeigt. Die Arbeit zeigt, dass sich Telraam für Langzeitbeobachtungen des motorisierten Verkehrs bereits heute als verlässliches, kostengünstiges Werkzeug eignet, für Velo- und insbesondere Fussverkehrszählungen jedoch nicht ohne unabhängige Zusatzvalidierung eingesetzt werden sollte.

Schlagworte

Telraam; Verkehrszählung; Geschwindigkeitsmessung; Sensorvalidierung; Fussverkehr; Veloverkehr; Verkehrsplanung

Zitierungsvorschlag

Rieder, Claudio (2026) Validierung von Telraam-Sensoren zur Verkehrszählung und Geschwindigkeitsmessung, Bachelorarbeit, Studiengang Bauingenieurwesen, FHNW, MuttENZ.

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage und Problemstellung

Das Forschungs-Spin-off Telraam bietet ein kostengünstigen, videobasierten Sensor an, der verschiedene Verkehrsteilnehmende, Zufussgehende, Velos, Personenwagen und Schwerverkehr, automatisch mittels KI zählt und Geschwindigkeiten von Personenwagen misst.

Die Indoor-Geräte werden an Fenster im ersten Obergeschoss montiert und liefern fortlaufend Zählraten über eine offene Plattform.

Zusätzlich gibt es auch ein Outdoor-Gerät, das an Kandelaber angebracht werden kann, auf welches jedoch in der vorliegenden Arbeit nicht weiter eingegangen wird, da ausschliesslich der Indoor-Varianten eingesetzt wird.

Diese Technologie hilft somit sowohl Gemeinden und Städte als auch Bürgerinitiativen (Citizen Science) flexibler und preiswerter Fakten der multimodalen Verkehrsdaten zu erheben, als die klassische Zählsysteme wie Induktionsschleifen oder Seitenradar bisher möglich war.

Trotz dieses Potenzials liegen bislang nur wenige verlässliche, unabhängig erhobene Daten zur Zuverlässigkeit und Messgenauigkeit der Telraam-Sensoren vor. Die verfügbaren Genauigkeitsangaben stammen überwiegend vom Hersteller selbst und basieren auf einem herstellereigenen Testset. Die einzige bislang publizierte unabhängige Studie (Janež et al. 2022) prüft den Sensor ausschliesslich für den motorisierten Verkehr im Vergleich zu Induktionsschleifen. Für die Erfassung des Fuss- und Veloverkehrs, also für jene Verkehrsarten, bei denen Telraam seinen grössten Mehrwert verspricht und gleichzeitig laut Hersteller die schwächsten Genauigkeitswerte aufweist, existiert dagegen keine standardisierte Qualitätskontrolle unter realen Bedingungen.

1.2 Zielsetzung und Forschungsfragen

Hauptziel dieser Arbeit ist die wissenschaftliche Validierung der Telraam-Sensoren, um deren Eignung für die Verkehrsplanung zu prüfen. Konkret soll der aktuelle Wissensstand durch Literatur und Gesprächen mit Experten sowie Erfahrungen durch heutige Nutzer aufgearbeitet werden.

Der Hauptteil der Arbeit besteht darin, an drei verschiedenen Standorten in der Stadt Basel eigene empirische Messungen durchzuführen die Daten von Telraam mit zwei Referenzsystem, dem Seitenradar Sierzega SR7 und dem kamerabasierten System MioVision Scout Plus sowie mit manuellen Kontrollzählungen vergleichen. Diese erhobenen Daten werden danach statistisch verglichen und mittels verschiedener Gütemasse, darunter der Scalable Quality Value (SQV), analysiert.

Daraus ergeben sich folgende forschungsleitende Ziele:

- Wie hoch ist die Messgenauigkeit des Sensors bei der Zählung verschiedener Verkehrsarten (Fussgänger, Velo, Personenwagen, Schwerverkehr) und Geschwindigkeitsmessungen von Personenwagen?
- Welche systematischen Abweichungen treten auf und welchen Einfluss haben externe Faktoren wie Witterung, Lichtverhältnisse oder das Verkehrsaufkommen auf die Datenqualität?
- Für welche Netzhierarchien, Verkehrsarten und Einsatzzwecke der Verkehrsplanung lassen sich aus den Ergebnissen fundierte Handlungsempfehlungen ableiten?
- Inwiefern lassen sich international berichtete Genauigkeitswerte auf Schweizer Strassen- und Erhebungsbedingungen übertragen?

1.3 Aufbau der Arbeit

Die Arbeit ist methodisch in sechs aufeinanderfolgende Arbeitspakete (AP) gegliedert:

- **Theoretische Grundlage (AP1):** Aufarbeitung des Wissensstandes durch Literaturanalyse und Gespräche mit Fachleuten.
- **Technische Vorbereitung (AP2):** Einarbeitung in die Hardware, Konfiguration der Geräte und Durchführung von Testmessungen.
- **Versuchsdesign (AP3):** Auswahl geeigneter Teststandorte in der Region Basel (Hauptverkehrs-, Verbindungs- und Erschliessungsstrassen) sowie Erstellung eines detaillierten Messplans.
- **Datenerhebung (AP4):** Operative Durchführung der multimodalen Messungen im Feld unter Berücksichtigung verschiedener Umweltbedingungen.
- **Validierung (AP5):** Statistischer Vergleich der erhobenen Daten mit den Referenzwerten und Analyse der Fehlerursachen mittels R oder Python.
- **Abschluss (AP6):** Ableitung von Praxisempfehlungen, kritische Reflexion der Methodik und Aufzeigen von weiterem Forschungsbedarf.

2 Literaturrecherche (AP1)

2.1 Überblick der Methoden zur Verkehrszählung und Geschwindigkeitsmessung

Die Erfassung von Verkehrsmengen und -geschwindigkeiten stützt sich auf eine Reihe unterschiedlicher Methoden, die sich in Erfassungsprinzip, Genauigkeit und Einsatzbereich deutlich unterscheiden. **Induktionsschleifen**, im Asphalt eingelassene Spulen, die ein Magnetfeld erzeugen, gelten als etablierter Standard für die dauerhafte Erfassung des motorisierten Verkehrs und dienen in dieser Arbeit als Vergleichsmassstab. Für die Erfassung von Fussverkehr sind sie dagegen grundsätzlich ungeeignet, da Personen die notwendige Veränderung des Magnetfelds nicht auslösen (Mobilservice o. J.). **Radar- bzw. Mikrowellensensoren** werden seitlich der Fahrbahn montiert und primär für den motorisierten Verkehr eingesetzt. Das in dieser Arbeit verwendete Gerät, der Sierzega SR7, wird in Abschnitt 2.2 im Detail beschrieben. Daneben haben sich **kamerabasierte Systeme** mit KI-gestützter Objekterkennung etabliert, die sich gegenüber Radar und Induktionsschleifen dadurch auszeichnen, dass sie grundsätzlich auch Fuss- und Veloverkehr erfassen können; zwei kommerzielle bzw. Citizen-science-basierte Vertreter dieser Kategorie, Miovision und Telraam, werden in den Abschnitten 2.3 und 2.4 ausführlich vorgestellt. Ergänzend bleibt die **manuelle Zählung**, etwa mittels Strichlisten oder elektronischer Handzählgeräte, ein zentrales Instrument, insbesondere für Kurzzeitmessungen sowie zur Erfassung qualitativer Merkmale (z. B. Alter, Geschlecht oder Begleitumstände wie Kinderwagen), die automatischen Systeme bislang kaum zuverlässig erheben können. Sie dient in der vorliegenden Arbeit als Referenz zu den automatischen Messsystemen (vgl. Kapitel 3).

2.1.1 Methodische Herausforderungen automatischer Zählsysteme

Unabhängig von der eingesetzten Technologie treten bei der automatischen Zählung von Fussgängerinnen, Fussgängern und Velofahrenden mehrere wiederkehrende methodische Probleme auf, die für alle drei in dieser Arbeit verglichenen Systeme relevant sind (Pestalozzi, Bucheli *et al.* 2022).

Der **Überdeckungseffekt** (engl. occlusion) gehört zu den grössten Herausforderungen: Gehen oder fahren mehrere Personen nebeneinander oder dicht hintereinander, werden sie von vielen Sensortypen häufig nur als eine einzelne Person registriert, da sich ihre Silhouetten aus der jeweiligen Erfassungsperspektive überlagern. Dieser Effekt fällt bei Fussgängerinnen und Fussgängern im Freizeitverkehr, in dem Personen häufiger in Gruppen unterwegs sind, deutlich stärker ins Gewicht als im Pendlerverkehr, der überwiegend von Einzelpersonen geprägt ist.

Die **Kalibrierung** automatischer Systeme ist ein weiterer zentraler Aspekt: Da automatische Zählverfahren systematische Fehler aufweisen, sind regelmässige manuelle Kontrollzählungen unerlässlich, um daraus

Korrekturfaktoren abzuleiten, mit denen die automatisch erhobenen Rohdaten auf einen realistischeren Wert hochgerechnet werden können (Pestalozzi, Bucheli *et al.* 2022). Dieses Prinzip bildet die methodische Grundlage des in Kapitel 3 beschriebenen eigenen Validierungsansatzes.

Schliesslich stellt **Mischverkehr** eine besondere methodische Anforderung dar: An Standorten, an denen sich Fuss- und Veloverkehr denselben Verkehrsraum teilen, muss die eingesetzte Technologie in der Lage sein, die unterschiedlichen Geschwindigkeits- und Bewegungsprofile der beiden Verkehrsmittel zuverlässig zu trennen, was angesichts der teilweise überlappenden Geschwindigkeitsbereiche eine besondere Schwierigkeit darstellt (Pestalozzi, Bucheli *et al.* 2022).

2.1.2 Einflussfaktoren auf das Aufkommen

Das tatsächliche Verkehrsaufkommen von Fussgängerinnen, Fussgängern und Velofahrenden wird von externen Faktoren in unterschiedlichem Ausmass beeinflusst, was bei der Interpretation von Zähldaten stets mitzuberücksichtigen ist.

Wetter und Jahreszeit wirken sich bei den beiden Verkehrsmitteln deutlich unterschiedlich aus. Der Veloverkehr reagiert ausgesprochen sensibel auf Witterungsbedingungen und Kälte, während sich der Fussverkehr insgesamt deutlich wetterresistenter zeigt, da ein grosser Teil der Fusswege auch bei ungünstiger Witterung zurückgelegt werden müssen (Zweibrücken, Sauter *et al.* 2005). Eine Ausnahme bilden reine Freizeitwege oder Aufenthaltsnutzungen im öffentlichen Raum, die bei schlechtem Wetter ebenfalls deutlich zurückgehen.

Der **Wegzweck** prägt zudem den typischen Tagesverlauf des Fussverkehrs massgeblich. Es lassen sich sechs charakteristische Tagesganglinien unterscheiden, darunter insbesondere der Freizeit- und Naherholungsverkehr, der Einkaufsverkehr, der Pendlerverkehr zu Arbeits- und Ausbildungsstätten sowie der Verkehr in Quartierzentren (Zweibrücken, Sauter *et al.* 2005). Jede dieser Kategorien weist ein eigenes charakteristisches zeitliches Muster auf und bietet für die eigene Datenauswertung (vgl. Kapitel 5) eine wertvolle Vergleichsgrundlage.

2.2 Manuelle Zählungen

Trotz der fortschreitenden technologischen Automatisierung bleiben manuelle Erhebungsmethoden, etwa Strichlisten oder elektronische Handzählgeräte, in zentrales Instrument der Verkehrserhebung (Zweibrücken, Sauter *et al.* 2005). Für Kurzzeitmessungen sind sie oft kosteneffizienter als die Installation, Wartung und der spätere Rückbau eines automatischen Zählgeräts. Darüber hinaus ermöglichen manuelle Zählungen die gleichzeitige Erfassung qualitativer Merkmale, die automatische Systeme bislang kaum

zuverlässig erheben können, etwa das geschätzte Alter oder Geschlecht der gezählten Personen, oder ob diese einen Hund oder einen Kinderwagen mitführen (Zweibrücken, Sauter *et al.* 2005). Genau diese Funktion übernehmen die manuellen Kontrollzählungen, die im Rahmen der vorliegenden Arbeit als Referenz zu den automatischen Messsystemen erhoben werden (vgl. Kapitel 3).

2.3 Seitenradar

Radar- bzw. Mikrowellensensoren (Seitenradargeräte) werden seitlich der Fahrbahn montiert und erfassen Verkehrsteilnehmende mittels elektromagnetischer Wellen. Sie liefern präzise Informationen zur Anzahl, Geschwindigkeit, Fahrtrichtung sowie, je nach System, zur Fahrzeugklassifikation (wavetec Radar Solutions 2026). Standard-Seitenradare sind primär für den motorisierten Verkehr ausgelegt. Moderne, speziell für den Radverkehr entwickelte Radarsysteme ermöglichen jedoch auch eine zuverlässige Erfassung des Veloverkehrs. Die Erfassung von Fussverkehr ist mit Standard-Seitenradargeräten dagegen meist nicht möglich (OpenTrafficCam 2026).

Die Fahrzeugklassierung anhand der gemessenen Fahrzeuglänge weist in der Praxis zudem bekannte Schwächen auf: So sind Motorräder schwierig von Kleinfahrzeugen zu unterscheiden, Personenwagen mit Anhänger können nicht eindeutig klassiert werden, und auch die Unterscheidung von Lieferwagen bleibt grundsätzlich schwierig. Auch Umwelteinflüsse wie Starkniederschläge können die Erfassung zudem signifikant beeinflussen (Eisler 2012). Nach einer grossen US-amerikanischen Validierungsstudie schwankt zudem die Genauigkeit der mit Radar erfassten motorisierten Verkehrsmengen je nach Standort erheblich, wobei Radarsensoren mit steigendem Verkehrsaufkommen zur Untererfassung neigen (Texas A&M Transportation Institute 2026). Bei freiem Verkehrsfluss werden für berührungslose Sensoren wie Radar Zählgenauigkeiten von rund 95 % erreicht. Bei stockendem Verkehr sinkt diese jedoch auf 70–90 % (Schweizer Fachstelle Verkehrstechnik 2026). Amtlich zugelassen ist Seitenradar in der Schweiz zudem nur für die Erhebung von Geschwindigkeit und Gesamtverkehrsmenge, nicht jedoch für die verlässliche Bestimmung des Schwerverkehrsanteils, wofür weiterhin Induktionsschleifen vorausgesetzt werden (Schweizer Fachstelle Verkehrstechnik 2026).

2.3.1 Eingesetztes Gerät: Sierzega SR7

Als Referenzsystem für die vorliegende Arbeit kommt das mobile Seitenradargerät Sierzega SR7 des österreichischen Herstellers Sierzega Elektronik GmbH zum Einsatz, das speziell für eine einfache Handhabung und eine genaue Fahrzeugklassifizierung entwickelt wurde (Sierzega Elektronik GmbH 2026a).

Das System basiert auf einem MIMO-Radar im K-Band (ab 24 GHz) mit vier Antennen, die den Verkehr kontinuierlich und in beide Richtungen scannen (Sierzega Elektronik GmbH 2026a). Erfasst werden für jedes Fahrzeug Datum, Zeit, Fahrzeuglänge, Geschwindigkeit, Fahrtrichtung und Abstand; der Geschwindigkeits-Messbereich liegt zwischen 3 und 199 km/h bei einer angegebenen Messgenauigkeit von ± 3 %. Über eine Achsendetektion ermöglicht das Gerät zudem eine Einteilung in bis zu 8+1 Fahrzeugklassen. Ein zentrales Merkmal ist die automatische Kalibrierung bei jeder Durchfahrt: Eine grobe Ausrichtung parallel zur Fahrbahn genügt, da das Radar den exakten Montagewinkel selbstständig ermittelt und korrigiert, sodass keine baulichen Massnahmen erforderlich sind (Sierzega Elektronik GmbH 2026a).

Aufgrund des geringen Stromverbrauchs von unter 0,5 W im Betrieb kann das SR7 über eine 12-V-Stromversorgung autark betrieben werden; für den mobilen Einsatz stehen optional Batterie- oder Solarlösungen zur Verfügung (Sierzega Elektronik GmbH 2026a). Das Gehäuse ist mit rund 3 kg Gewicht leicht, wetterfest nach Schutzart IP68 und für Betriebstemperaturen von -25 °C bis 60 °C ausgelegt. Das Gerät verfügt über ein LTE-Modem zur stündlichen, cloudbasierten Datenübertragung sowie GPS zur Standorterfassung. Eine Bluetooth-Verbindung ermöglicht über die Smartphone-App «STerminal» die Live-Mitverfolgung der Datenaufzeichnung sowie die Konfiguration vor Ort. Die inhaltliche Datenauswertung erfolgt browserbasiert über die Plattform SRA Web (Sierzega Elektronik GmbH 2026b).

2.4 Videobasierte Erhebung

Kamerabasierte Systeme nutzen optische Sensoren in Kombination mit KI-gestützter Bildverarbeitung, um Verkehrsteilnehmende automatisch zu erkennen, zu klassifizieren und zu zählen. Im Gegensatz zu Induktionsschleifen und Radarsensoren sind sie grundsätzlich in der Lage, neben dem motorisierten Verkehr auch Fuss- und Veloverkehr zu erfassen, da die Klassifikation nicht auf metallischer Masse oder Fahrzeuggrösse, sondern auf visuellen Merkmalen beruht. Die Erkennungsgenauigkeit hängt dabei jedoch stark von Faktoren wie Lichtverhältnissen, Kamerawinkel und Verdeckungseffekten bei dichtem Verkehr ab (Pestalozzi, Bucheli *et al.* 2022). Im Rahmen dieser Arbeit werden zwei kamerabasierte Systeme eingesetzt: Miovision Scout Plus, ein kommerzielles System mit teil- bzw. vollautomatisierter Auswertung, sowie Telraam, ein Citizen-science-basiertes System (vgl. Abschnitt 2.5).

2.4.1 Miovision Scout Plus

Miovision Scout Plus ist ein portables, kamerabasiertes Zählsystem des kanadischen Unternehmens Miovision. Anders als bei rein automatischen Systemen erfolgt die Klassifikation der Verkehrsteilnehmenden beim klassischen Scout-Modell nicht vollautomatisch auf dem Gerät selbst, sondern in einem teilautomatisierten Verfahren: Die aufgezeichneten Videodaten werden nach der Erhebung über das Online-Portal

«Traffic Data Online» (TDO) an Miovision übermittelt, dort durch eine KI-gestützte Auswertung vorklassifiziert und anschliessend durch geschultes Personal manuell auf Genauigkeit und Auffälligkeiten kontrolliert (Miovision 2026a). Dieses Vorgehen ermöglicht laut Hersteller Genauigkeitswerte von über 95 % und eignet sich vorrangig für temporäre, projektbezogene Erhebungen statt für den Dauerbetrieb.

Die im Rahmen dieser Arbeit verwendete, neueste Gerätegeneration (Scout Plus) verfügt demgegenüber über eine sogenannte OnBoard-Verarbeitung: Die Videoauswertung erfolgt bei dieser Gerätegeneration direkt auf dem Gerät selbst, mit einem eingebauten, leistungsfähigen Mini-Computer. Die fertigen Zähl-daten werden anschliessend automatisch an die Cloud übertragen, ohne dass das Videomaterial dafür manuell hochgeladen werden muss (Miovision 2026b). Ein für die vorliegende Arbeit zentraler Befund betrifft dabei die Datenqualität: Miovision weist in der eigenen Dokumentation explizit darauf hin, dass die sonst übliche Genauigkeitszertifizierung sowie die Erkennung von Bildstörungen bei OnBoard-Studien nicht möglich sind, da das Videomaterial in diesem Modus nicht an das Data-Services-Team übermittelt wird (Miovision 2026c). Die üblicherweise beworbene Genauigkeit von über 95 % beruht damit auf dem klassischen, manuell kontrollierten Workflow und lässt sich nicht ohne Weiteres auf die in dieser Arbeit eingesetzte OnBoard-Variante übertragen. Die Miovision-Referenzdaten sind folglich nicht automatisch als geprüfte Referenz zu betrachten, sondern selbst Teil der zu validierenden Systeme.

Auch bei der OnBoard-Verarbeitung fällt gemäss Hersteller weiterhin eine Gebühr pro Studie an, da Kosten für Cloud-Verarbeitung und Datenspeicherung entstehen. Diese Gebühr entfällt lediglich bei einem entsprechenden Unlimited-Abonnement (Miovision 2026c).

Die Scout-Einheit wird über einen ausfahrbaren Teleskopmast auf eine Höhe von mindestens sechs Metern positioniert, idealerweise an einem freistehenden Lichtmast ohne störende Anbauten (Miovision 2026d). Die effektive Erkennungsweite der Kamera beträgt rund 53 Meter für den motorisierten Verkehr; für Fuss- und Veloverkehr gilt eine engere Grenze von 38 Metern, innerhalb derer sämtliche relevanten Bewegungen liegen müssen (Miovision 2026d). Das Gerät wird batteriebetrieben, wodurch es sich genau gleich wie der Sierzega SR7 besonders für kurzfristige, flexible Messeinsätze eignet.

2.5 Videobasierte Erhebung mit Telraam

2.5.1 Funktionsweise und Citizen-Science-Modell

Telraam ist ein KI-gestütztes Verkehrszählssystem, das auf dem Prinzip des Citizen Science basiert. Entwickelt wurde es von der verkehrstechnischen Beratungsfirma Transport & Mobility Leuven (TML)

gemeinsam mit der Mobilitäts-NGO Mobiel21. TML selbst ist ein 2002 gegründetes Spin-off der belgischen Universität KU Leuven (Transport & Mobility Leuven 2026). Ein kompaktes Gerät mit integrierter Digitalkamera und KI-Chip (bei der aktuellen S2-Generation der K210-Chip) wird mittels Klebepads an der Innenseite eines Fensters angebracht, sodass eine freie Sicht auf die darunterliegende Strasse besteht (Telraam 2026a). Es klassifiziert Verkehrsteilnehmende in Echtzeit nach zehn feineren Modi, gruppiert in die vier Hauptkategorien Fussgänger, Zweiräder, Personenwagen und Schwerfahrzeuge, sowie deren Fahrtrichtung (Telraam 2026b). Aus Datenschutzgründen werden dabei keine Videobilder gespeichert oder übertragen, sondern ausschliesslich aggregierte Zählwerte in 15-Minuten-Intervallen. Zusätzlich schätzt das System die Geschwindigkeit motorisierter Fahrzeuge indirekt: Da eine direkte Messung wie bei einer Radarpistole nicht möglich ist, wird die Zeit gemessen, die ein Fahrzeug benötigt, um seine eigene, angenommene Standardlänge zu durchqueren (Telraam 2026c).

Das eigentliche Novum von Telraam liegt weniger in der Sensortechnik selbst als im Betriebsmodell: Die Geräte werden nicht primär durch Behörden oder Unternehmen beschafft und installiert, sondern können auch von Privatpersonen erworben und eigenständig betrieben werden, wobei sämtliche Daten über ein offenes Dashboard sowie einer offenen Datenschnittstelle (API) öffentlich einsehbar oder automatisiert abrufbar sind (Telraam 2026c). Mit Anschaffungskosten ab rund 200 Euro pro Gerät positioniert sich Telraam damit deutlich unterhalb der Kostenstruktur klassischer Zählsysteme, die in der Anschaffung rund 3'000 bis 5'000 CHF kosten. Zu berücksichtigen sind dabei jedoch auch die laufenden Betriebskosten: Für die volle Datenauflösung verlangt der Hersteller ein Abonnement von 15 Euro pro Gerät und Monat, das bei grösseren, zentral verwalteten Zählnetzen sogar auf 25 Euro pro Gerät und Monat ansteigt (Telraam 2026d). Der anfängliche Kostenvorteil gegenüber klassischen Systemen relativiert sich damit bei grösseren Zählnetzen durch kontinuierliche, mit der Netzgrösse skalierende Betriebskosten spürbar.

2.5.2 Wie die Klassifikation funktioniert

Für die Vorgängergeneration Telraam V1 ist die Klassifikationslogik gut dokumentiert: Das System unterschied Objekte nicht durch ein „Verstehen“ des Bildes wie ein Mensch, sondern über zwei geometrische Kennzahlen, das Seitenverhältnis (Höhe geteilt durch Breite) und den Füllgrad (wie stark die Objektfläche das umschreibende Rechteck ausfüllt) (Pápics 2019). Autos waren lang gestreckt und füllten ihr Rechteck gut aus, Velos waren ungefähr gleich breit wie hoch und füllten ihr Rechteck nur mittelmässig aus, und Fussgänger waren deutlich höher als breit. Dieses regelbasierte Vorgehen war einfach und auf kostengünstiger Hardware schnell berechenbar, erklärte aber auch, warum Verwechslungen entstanden, sobald die Form eines Objekts von den typischen Werten abwich, etwa bei einem Lastenvelo oder einer grösseren Personengruppe (Pápics 2019).

Mit der aktuellen S2-Generation hat Telraam dieses regelbasierte Verfahren durch ein trainiertes neuronales Netz ersetzt, das mit einer grossen Menge von Menschen kategorisierter Bilder trainiert wurde und Objekterkennung sowie Klassifikation gleichzeitig direkt auf dem Gerät durchführt (Telraam 2026e). Ob und in welchem Umfang die S2-Generation dabei weiterhin auf geometrische Merkmale wie Seitenverhältnis oder Füllgrad zurückgreift, nun gelernt statt regelbasiert, oder ein grundlegend anderes Merkmalsset nutzt, legt der Hersteller nicht offen (Telraam 2026b). Diese fehlende Transparenz über die interne Entscheidungslogik erschwert eine theoriegeleitete Einordnung beobachteter Fehlklassifikationen und unterstreicht zusätzlich den Bedarf an einer unabhängigen, empirischen Validierung (vgl. Abschnitt 2.8).

2.5.3 Einsatzbereiche

Telraam wird in der Praxis in unterschiedlichen Kontexten eingesetzt, die sich grob in drei Kategorien einteilen lassen. Erstens nutzen Bürgerinitiativen und Privatpersonen das System im ursprünglichen Citizen-Science-Sinn, um eigenständig Daten zu ihrem Wohnumfeld zu erheben. Zweitens setzen Gemeinden und Verwaltungen Telraam ergänzend zu klassischen Erhebungsmethoden ein, meist als kostengünstige Indikator-Messung. Drittens existieren koordinierte Forschungs- und Pilotprojekte, die Telraam systematisch in grösserem Massstab einsetzen, das bekannteste Beispiel ist das EU-Projekt WeCount. Die konkreten Praxisbeispiele dieser drei Kategorien werden ausführlich in Abschnitt 2.6 diskutiert.

2.5.4 Herstellereigene Validierungsstudien

Telraam veröffentlicht in unregelmässigen Abständen eigene Validierungsdaten zur Leistungsfähigkeit der verschiedenen Firmware-Versionen (Telraam-S2 (GitHub) 2026a). Grundlage ist ein Testprogramm, das die Firmware-Performance anhand von zwölf kurzen Testvideos (2–6 Minuten) aus Leuven, Brüssel und London überprüft. Die Videos decken Strassentypen von reinen Fuss- und Velobereichen bis zu sechsspurigen Schnellstrassen sowie unterschiedliche Witterungsbedingungen ab, wobei eine manuelle Handzählung als Referenzwert dient (Telraam-S2 (GitHub) 2026a).

Für die K210-Firmware-Version 327940, evaluiert am 31. Januar 2023, weist Telraam eine Gesamtgenauigkeit von 96 % bezogen auf die absolute Objektzahl sowie einen über die einzelnen Streckensegmente gewichteten Durchschnitt von 91 % aus. Nach Verkehrsart aufgeschlüsselt zeigt sich ein differenziertes Bild: Während Personenwagen und Zweiräder Genauigkeitswerte von rund 92–96 % erreichen, fällt die Zählgenauigkeit bei Fussgängerinnen und Fussgängern deutlich stärker auseinander. Sie beträgt 96 % im Vergleich über die gesamte Stichprobe, sinkt jedoch im Segmentweisen gewichteten Durchschnitt auf 58 %. Ein Unterschied, der sich dadurch erklärt, dass sich Über- und Untererfassungen an verschiedenen Standorten in der Gesamtsumme teilweise zufällig ausgleichen, während die segmentweise Betrachtung die tatsächliche Schwankungsbreite offenlegt. Telraam führt diese schwächere Performance unter

anderem darauf zurück, dass die verwendeten Testvideos überdurchschnittlich schwierige Situationen für Fussgängerinnen und Fussgänger enthalten, etwa Gruppen oder kreuzende Bewegungsbahnen, und erwartet auf typischeren Strassenabschnitten eine bessere Erfassungsleistung (Telraam-S2 (GitHub) 2026a).

Eine ergänzende Validierung des Herstellers betrifft nicht die Genauigkeit (accuracy), sondern die Reproduzierbarkeit der Messung (precision): In einem Konsistenztest wurden acht Telraam-S2-Geräte gleichzeitig am selben Standort installiert und gegen eine GoPro-Referenzaufnahme verglichen, wobei sich erneut das schwächste Ergebnis bei der Fussgängererkennung zeigte (Telraam-S2 (GitHub) 2026b, S. 2). Die Unterscheidung zwischen accuracy und precision wird in der vorliegenden Arbeit methodisch konsequent verwendet.

2.5.5 Dokumentierte Fehlerquellen beim S2-Sensor

Eine vom Hersteller gepflegte FAQ-Seite benennt vier Kategorien möglicher Ungenauigkeiten: erstens extreme Lichtverhältnisse (Blendung durch tiefstehende Sonne im Sichtfeld), zweitens verdeckte Sicht durch Jalousien, verschmutzte Fensterscheiben oder, besonders relevant für die vorliegende Arbeit, parkierte Fahrzeuge, die eine Velospur verdecken, drittens ein falsch eingestellter Erfassungsbereich, viertens untypischer oder sehr dichter Verkehr, bei dem eine Untererfassung zu erwarten ist (Telraam 2026f). Bemerkenswert ist zudem die Herstellerangabe, dass Velofahrende beim S2-Sensor, anders als noch bei V1, nicht mehr als Autos fehlklassifiziert werden (Telraam 2026f).

Telraam räumt zudem ein, dass die Erfassung in stark belebten Bereichen zu einer Untererfassung von Fussgängerinnen und Fussgängern von bis zu 40 bis 50 % führen kann, wobei sich der Hersteller dabei auf anekdotisches Nutzer-Feedback stützt und selbst einräumt, dass eine systematische Überprüfung dieser Rückmeldungen schwierig ist (Telraam 2026g). Eine eigene, nicht abschliessend belegte Vermutung betrifft zudem den Einfluss atypischer Silhouetten, etwa durch Regenschirme, Lastenvelos oder Kinderwagen, auf die konturbasierte Klassifikation, hierzu liegt für Telraam selbst keine Quelle vor, weshalb dieser Aspekt im Rahmen der eigenen Feldbeobachtung gezielt untersucht wird (vgl. Kapitel 3). Ergänzend weist der Hersteller darauf hin, dass auch Grenzfälle wie kleine Mopeds, grosse E-Bikes oder Objekte ausserhalb der zehn definierten Kategorien (z. B. E-Scooter) zu unscharfen Klassifikationsentscheidungen führen können, die teils selbst für einen Menschen schwer eindeutig zu treffen wären (Telraam 2026f, S. 2).

2.5.6 Unabhängige wissenschaftliche Untersuchung

Im Gegensatz zur Fülle herstellereigener Angaben ist die Zahl unabhängiger, peer-reviewter Studien zu Telraam bislang sehr begrenzt. Die umfassendste verfügbare Arbeit ist die Studie von Janež et al. (2022), veröffentlicht in der Zeitschrift *Sustainability* (Janež, Verovšek et al. 2022).

Die Autorinnen und Autoren sammelten zwischen August 2020 und April 2021 Daten an vier Standorten in Slowenien und verglichen die Zählwerte von Induktionsschleifen mit denen von Telraam-Sensoren am gleichen Ort. Das Ergebnis: Die beiden Datenquellen stimmen gut genug überein, dass sich Induktionsschleifen an manchen Standorten grundsätzlich durch Telraam-Sensoren ersetzen oder ergänzen liessen. Telraam selbst gibt dabei laut der Studie eine Genauigkeit von mindestens 85 % an, sofern das Gerät richtig platziert wurde (Janež, Verovšek *et al.* 2022). Die Daten wiesen zudem eine mit dem Verkehrsaufkommen zunehmende Streuung auf (Heteroskedastizität). Bei einzelnen, später als unzuverlässig eingestuften Telraam-Zählern zeigten sich zudem extreme Abweichungen, bei denen kaum Fahrzeuge registriert wurden, obwohl die Induktionsschleife am selben Ort ein deutlich höheres Aufkommen mass.

Für die vorliegende Arbeit ist eine wesentliche Einschränkung zu beachten: Die Studie bezieht sich ausschliesslich auf motorisierten Verkehr, Velos und Fussgänger wurden zwar von Telraam mitgezählt, aber nicht in die Auswertung einbezogen. Die Autorinnen und Autoren räumen sogar selbst ein, dass die Unterscheidung zwischen Velo und Fussgänger zu den bekannten Schwächen von Telraam gehört. Eine unabhängige, wissenschaftlich geprüfte Aussage zur Genauigkeit von Telraam bei Fuss- und Veloverkehr existiert nach aktuellem Kenntnisstand also nicht. Dieselbe Lücke, die bereits bei den Herstellerangaben in Abschnitt 2.4.3 sichtbar wurde.

2.5.7 Praxisberichte von Gemeinden und Ingenieurbüros

Dokumentierte Praxiserfahrungen mit Telraam sind bislang vor allem aus dem nahen europäischen Ausland verfügbar, während aus der Schweiz noch kaum vergleichbare Berichte vorliegen. Die international umfassendste Praxisanwendung liefert das von 2019 bis 2022 durchgeführte EU-Horizon-2020-Projekt WeCount, in dessen Rahmen 200 bis 250 Telraam-Geräte in fünf europäischen Pilotstädten, Leuven, Madrid und Barcelona, Cardiff, Dublin sowie Ljubljana, im Citizen-Science-Modell betrieben wurden. In Ljubljana wurden die erhobenen Telraam-Daten beispielsweise konkret zur Begründung der neuen Velo-Infrastruktur am Grubar-Damm herangezogen und beeinflussten damit reale Verkehrsplanungs-Entscheidungen (WeCount 2019).

In Deutschland betreibt die zivilgesellschaftliche Initiative VCD Elbe-Heide gemeinsam mit dem ADFC seit Spätsommer 2024 in Lüneburg ein Netz von Telraam-Geräten zur Verkehrszählung, unter anderem zur Erfassung überhöhter Geschwindigkeiten in Wohnstrassen (Telraam 2026b). Eine vergleichbare, jedoch noch jüngere Initiative existiert in Oldenburg; im Vergleich zu Belgien und den Niederlanden ist die Verbreitung in Deutschland insgesamt aber weiterhin gering (NWZ Online 2026).

Im Rahmen der Recherche liessen sich keine Schweizer Ingenieurbüros finden, die Telraam bereits eingesetzt oder geprüft haben. Das ist selbst ein wichtiges Ergebnis: Es zeigt, dass Telraam bisher vor allem von Bürgerinitiativen und Gemeinden genutzt wird, kaum aber von professionellen Ingenieurbüros. Dieser Befund hat auch die Auswahl der Gesprächspartnerinnen und -partner für die folgenden Expertengespräche beeinflusst.

Festzuhalten ist allerdings, dass es in der Schweiz mehrere Fach- und Ingenieurbüros gibt, die methodisch in der Erhebung und Auswertung von Fuss- und Veloverkehrsdaten erfahren sind, wenn auch nicht spezifisch für Telraam. So führt SWISSTRAFFIC AG Fussgängerzählungen, multimodale Verkehrszählungen sowie Ziel-/Quellverkehrserhebungen inklusive Radfahrer und Fussgänger durch; öffentliche Praxisbeispiele zeigen unter anderem Erhebungen in der Gemeinde Steinhausen, bei denen Fahrzeuge, Velofahrende und Fussgänger mittels Kameras erfasst und durch SWISSTRAFFIC ausgewertet wurden (SWISSTRAFFIC AG 2026a), sowie komplexe Verkehrserhebungen der Stadt Zürich auf künftigen Velovorzugsrouten mit Videoerfassung, Seitenradar und KI-basierter Auswertung (Stadt Zürich 2026). Methodisch besonders nahe an der vorliegenden Arbeit liegt zudem analyGIS, das mobile Velo-, Fussgänger- und Verkehrszählungen mit KI-Kamerasystemen durchführt und in einem Praxisvergleich verschiedener Velozähltechnologien Genauigkeiten von häufig über 90 % sowie einen deutlichen Einfluss des Verkehrsmixes auf Fehlklassifikationen beschreibt: Je heterogener der Verkehr, desto höher die Fehlerquote (analygis.ch 2026).

Auch Erfahrungen Schweizer Kommunen mit etablierten Zähltechnologien liefern eine methodische Grundlage für die vorliegende Untersuchung. Besonders relevant ist das Beispiel der Stadt Zürich: Sie betreibt automatische Fuss- und Veloverkehrszählstellen, veröffentlicht die Daten als Open Data und weist zählstellenspezifische Korrekturfaktoren aus, die auf manuellen Kontrollzählungen beruhen. [35] Damit wird genau jenes Prinzip angewendet, das auch dieser Arbeit zugrunde liegt. Ergänzend zeigen die kommunalen Beispiele aus Bern und St. Gallen, dass Zählstellennetze, Plausibilitätskontrollen, Handzählungen und die Berücksichtigung von Wettereffekten zentrale Bestandteile eines belastbaren Fuss- und Veloverkehrsmonitorings sind (Litscher, Rechsteiner *et al.* 2026, Stadt Bern 2026).

Diese Schweizer Praxisbeispiele liefern zwar keine Telraam-spezifischen Validierungsdaten, zeigen aber, dass die Kombination automatischer Erhebungssysteme, manueller bzw. qualitätssichernder Auswertung und standortspezifischer Interpretation eine etablierte methodische Grundlage für die Validierung von Fuss- und Veloverkehrszählungen darstellt.

2.5.8 Erkenntnisse aus Expertengesprächen mit früherem Anwender: innen

Um die Literaturlage um eine praktische Perspektive zu ergänzen, wurden verschiedene Institutionen und Privatpersonen mit Telraam-Erfahrung kontaktiert – darunter «Traffic Tracker» (the-nt. space), der ADFC Lüneburg, die Stadt Zürich, analyGIS sowie die Stadt Basel. Die Rückmeldungen fielen grösstenteils knapp aus, lieferten aber dennoch einige aufschlussreiche Einzelpunkte.

Diana Celi, Stadt Zürich (Tiefbauamt, Verkehr + Stadtraum), bestätigte in einer persönlichen Mitteilung (E-Mail vom 2. Juli 2026), dass die Stadt Telraam im Rahmen des Pilotprojekts «Quartierblöcke» einsetzt. Die Auswertung erfolgt durch eine externe Firma und liegt noch nicht vor; eine Einschätzung zur Datenqualität konnte die Stadt daher noch nicht abgeben.

Daniel Rüttimann von analyGIS teilte in einer persönlichen Mitteilung (E-Mail vom 30. Juni 2026) mit, dass sein Unternehmen bislang keine Telraam-Sensoren, aber vergleichbare kamerabasierte KI-Systeme einsetzt. Dies bestätigt den bereits in Abschnitt 2.6 dokumentierten Befund, dass Schweizer Ingenieurbüros zwar Erfahrung mit ähnlichen Technologien haben, aber nicht spezifisch mit Telraam. Das Unternehmen zeigte zudem Interesse an den Resultaten der vorliegenden Arbeit.

Ulrike Seiffert von «Traffic Tracker» (the-nt. space) lieferte in einer persönlichen Mitteilung (E-Mail vom 8. Juli 2026) die ausführlichste Rückmeldung. Sie betreibt seit einigen Monaten mehrere Telraam-Geräte im Raum Nürtingen/Wendlingen und berichtete von zwei konkreten Beobachtungen: An der Hechingenstrasse in Nürtingen (einer Fahrradstrasse) erklärte sich eine zunächst unerklärliche, hohe Lastwagenzahl durch eine baustellenbedingte Busumleitung. An der Galerie Weberstrasse in Wendlingen (ebenfalls eine Fahrradstrasse) bestätigte sich eine bei einer manuellen Parkraumerhebung am 19. Mai beobachtete Schülergruppe in den zeitgleichen Telraam-Daten. Sie betonte gleichzeitig, dass es sich dabei um persönliche Beobachtungen handelt, die nicht mit anerkannten Methoden überprüft wurden. Ulrike Seiffert verwies zudem auf einen Zeitungsartikel zur Diskussion um die Zukunft der Fahrradstrasse in Wendlingen (Sandrock 2026), der die Datennutzung durch die Stadtverwaltung jedoch nicht im Detail thematisiert.

Fazit: Die Rückmeldungen zeigen unabhängig voneinander dasselbe Bild: Weder bei einer grossen städtischen Anwendung noch bei einem privaten Einzelgerät liegt bislang eine unabhängige Validierung der Telraam-Daten vor. Ein Befund, der die zentrale Forschungslücke dieser Arbeit zusätzlich stützt.

2.6 Weitere Erhebungsmethoden

Neben den drei in dieser Arbeit im Zentrum stehenden Systemen existiert eine Reihe weiterer Technologien zur Erfassung von Fussgänger- und Veloverkehr, deren Eignung stark von der konkreten Fragestellung und der geplanten Erhebungsdauer abhängt (Pestalozzi, Bucheli *et al.* 2022).

Passiv-Infrarot-Sensoren (PIR) zählen zu den am weitesten verbreiteten Technologien zur Erfassung von Fussgängern, können Fussgänger und Velofahrende über die Wärmesignatur allein jedoch nicht sicher unterscheiden und werden deshalb oft mit Induktionsschleifen kombiniert. Auch die technischen Grenzen horizontal installierter Infrarotsensoren schränken ihre Zuverlässigkeit zusätzlich ein (Zweibrücken, Sauter *et al.* 2005, Sauter 2011).

3D- und stereooptische Kameras sowie Laserscanner erfassen den Verkehrsraum räumlich bzw. mittels präziser Konturabtastung und erreichen dadurch eine höhere Zählgenauigkeit, auch bei sich überdeckenden Personengruppen oder komplexen Mischverkehrssituationen, was jedoch mit höheren Anschaffungs- und Installationskosten einhergeht (Pestalozzi, Bucheli *et al.* 2022).

Bluetooth- und WLAN-Tracking erfasst Funksignale mobiler Endgeräte und eignet sich primär zur Analyse von Wegbeziehungen und Aufenthaltsdauern, nicht jedoch zur exakten Gesamtzählung, da nicht jede oder jeder Verkehrsteilnehmende ein aktiviertes, auffindbares Gerät mitführt (Pestalozzi, Bucheli *et al.* 2022).

Mobilfunksignal-Tracking nutzt anonymisierte Bewegungsdaten der Mobilfunknetzbetreiber, wie sie beispielsweise Swisscom mit «Mobility Insights» kommerziell anbietet (Swisscom 2026). Im Gegensatz zum lokalen Bluetooth-/WLAN-Tracking basiert diese Methode auf netzweiten Signalisierungsdaten und ermöglicht dadurch grossräumige Analysen von Mobilitätsmustern, etwa Pendlerströme oder saisonale Bewegungen. Für die vorliegende Fragestellung ist die Methode jedoch ungeeignet, da ohne zusätzliche Datenveredelung die maximale räumliche Auflösung der gesamten Mobilfunkzelle entspricht und damit deutlich unter der für Strassenabschnitte benötigten Genauigkeit liegt; zudem lassen sich einzelne Verkehrsmittel (Fussgänger, Velo, Personenwagen) nicht unterscheiden (Schmidt und Männel 2017).

Drohnenbasierte Systeme erfassen den Verkehr aus der Vogelperspektive mittels kamerabestückter Fluggeräte und ermöglichen dadurch die Extraktion vollständiger Bewegungspfade statt reiner Zählwerte, was sie besonders für verhaltensbezogene Forschungsfragen interessant macht, etwa zur Untersuchung von Vortrittsverhalten zwischen Velofahrenden und Fussgängern (Nassereddine 2025, Wierbos und Knoop 2026). Aufgrund begrenzter Akkulaufzeit, luftrechtlicher Einschränkungen und Wetterabhängigkeit

eignen sich Drohnen jedoch primär für kurze, punktuelle Erhebungen und nicht für die mehrtägige Dauererfassung, wie sie in der vorliegenden Arbeit angestrebt wird.

LiDAR-basierte Systeme erzeugen mittels Laserscanner dreidimensionale Punktwolken, wodurch sich Verkehrsteilnehmende unabhängig von der Bewegungsrichtung sowohl zählen als auch klassifizieren lassen.[40] Im Unterschied zu den videobasierten Systemen Telraam und Miovision arbeitet LiDAR vollständig witterungs- und lichtunabhängig, wodurch auch nächtliche oder verregnete Erhebungsphasen ohne Genauigkeitseinbussen abgedeckt werden können. In der Schweiz setzt beispielsweise der Kanton Thurgau das LiDAR-Produkt «swissLASER» der Firma SWISSTRAFFIC AG (vgl. Abschnitt 2.6) an einer Zählstelle in Bottighofen zur richtungsgetrennten Erfassung von Velo- und Fussverkehr ein (SWISSTRAFFIC AG 2026b).

2.7 Forschungslücken und Ableitung des Untersuchungsbedarfs

Wie in den Abschnitten 2.2 bis 2.5 gezeigt, liegt für den Fuss- und Veloverkehr bislang keine unabhängige, insbesondere für den Schweizer Kontext gültige Überprüfung der Telraam-S2-Genauigkeit vor. Daraus ergibt sich der zentrale Untersuchungsbedarf dieser Arbeit: Erstens fehlt eine unabhängige, methodisch kontrollierte Validierung der Telraam-S2-Genauigkeit bei multimodalem Verkehr unter realen Schweizer Strassenverhältnissen. Zweitens fehlen dokumentierte Erfahrungswerte aus dem professionellen, ingenieurtechnischen Anwendungskontext, die über die bisher verfügbaren zivilgesellschaftlichen und kommunalen Praxisberichte hinausgehen. Die in den Arbeitspaketen 2 bis 6 beschriebene eigene Feldvalidierung sowie die ergänzenden Expertengespräche setzen genau an diesen beiden Lücken an.

3 Standortevaluation und Versuchsdesign

3.1 Technische Standortkriterien je Messsysteme

Für die Validierung des Telraam S2 Gerät werden, wie bereits erwähnt zwei weitere Messsysteme massgebend. Dabei handelt es sich um den Seitenradar Sierzega SR7 und den MioVision Scout Plus. Die beiden Messsystem unterscheiden sich grundlegend in ihrem Erfassungsprinzip: Während Sierzega SR7 den Verkehr direkt per Radar misst, erfasst MioVision ihn optisch mittels Kamera und teilautomatisierter sowie manuell kontrollierter Auswertung. Im Kapitel 2 wurden die verschiedenen Systeme bereits ausgiebig behandelt. Um eine gemeinsame Schnittstelle zu finden, werden nachfolgend die Anforderungen der drei Systeme kurz erläutert.

Anforderungen an Telraam-Standorte

Telraam definiert acht zentrale Kriterien für ein geeignetes Fenster bzw. einen geeigneten Standort (Telraam 2026a).

- **Geschosshöhe:** Das Fenster muss mindestens im ersten oder zweiten Obergeschoss liegen, mit einer Mindesthöhe von drei Metern.
- **Abstand zur Strasse:** Sollte einerseits nicht mehr als rund 15 Meter betragen, andererseits aber auch nicht zu gering ausfallen: Grössere Fahrzeuge wie Lieferwagen müssen vollständig im Sichtfeld der Kamera liegen können, was auf sehr schmalen Strassen unter fünf Metern Breite, insbesondere bei Einbahnstrassen ohne Trottoir, schwierig werden kann.
- **Sicht aus dem Fenster:** Muss vollständig frei sein, Bäume, Hecken, Fahnen, Fliegengitter oder hoch parkierte Fahrzeuge im Sichtfeld beeinträchtigen die Fahrzeugerkennung.
- **Kreuzungen oder Weggabelungen:** Es dürfen keine Kreuzungen und Weggabelungen erfasst werden, da dies für den Erkennungsalgorithmus zu komplex ist.
- **Ausrichtung Fenster:** Sollte senkrecht, im 90-Grad-Winkel zur Strasse ausgerichtet sein, sodass sich Objekte gleichmässig von links nach rechts (oder umgekehrt) durch das Bild bewegen; störende Nebenbewegungen, etwa durch einen einsehbaren Parkplatz oder Spielplatz, sind zu vermeiden.
- **Stromanschluss:** Eine Steckdose in Fensternähe sowie, beim S2-Modell, das über eine SIM-Karte funkt, eine ausreichende Mobilfunknetzabdeckung sind erforderlich.

Anforderungen an Sierzega-SR7-Standorte

Die Standortanforderungen für das Sierzega SR7 sind darauf ausgelegt, eine schnelle Montage am Strassenrand ohne bauliche Massnahmen oder Verkehrsunterbrechungen zu ermöglichen. Die spezifischen Kriterien für eine optimale Datenerfassung lassen sich in fünf Bereiche gliedern.

- **Seitlicher Abstand:** Das Gerät wird am Strassenrand in einer Entfernung von 1 bis 4 Metern zum Fahrbahnrand montiert (Sierzega Elektronik GmbH 2026c).
- **Montagehöhe:** Für eine zuverlässige Erkennung der Fahrzeugachsen muss die Oberkante der Geräte-Box in einer Höhe zwischen 0,8 und 1,2 Metern montiert werden (Sierzega Elektronik GmbH 2026c).
- **Ausrichtung:** Das Heck des SR7 muss im 90-Grad-Winkel zur Strasse ausgerichtet sein. Dank der MIMO-Radartechnologie, deren mehrere Antennen Fahrzeuge gleichzeitig aus unterschiedlichen Winkeln erfassen, ermittelt das Gerät den tatsächlichen Montagewinkel jedoch selbstständig, so dass nur eine grobe Ausrichtung erforderlich ist (Sierzega Elektronik GmbH 2026c).
- **Sichtfeld:** Wie bei allen Radarsystemen muss der Standort so gewählt werden, dass das Blickfeld nicht durch temporäre Hindernisse wie parkende Fahrzeuge, haltende Busse oder anliefernde Lastwagen eingeschränkt wird.
- **Befestigungspunkte:** Die Montage erfolgt üblicherweise an vorhandenen Masten oder Rohren mittels des im Lieferumfang enthaltenen Klemmenblocks (Sierzega Elektronik GmbH 2026c).

Anforderungen an Miovision-Standorte

Miovision strukturiert seine Standortvorgaben («Scout Deployment Guidelines») entlang mehrerer technischer Parameter (Miovision 2026d)

- **Montagedistanz:** Sollte rund 4 Meter vom Fahrbahnrand bzw. von einer Kreuzung betragen. Als Befestigungspunkt eignet sich am besten ein blanker Lichtmast ohne weitere Anbauten; Objekte, die die Sicht behindern könnten (Schilder, Kabel), sind zu vermeiden, ebenso eine Montagehöhe unter 6 Metern.
- **Position:** Die Erkennungsweite der Kamera liegt bei rund 53 Metern. Innerhalb dieser Distanz lassen sich bei einer Querschnittserhebung bis zu vier Fahrspuren (bei fahrbahngenauer Auswertung) bzw. bis zu sechs Fahrspuren (bei reiner Richtungsauswertung) erfassen. Für die in dieser Arbeit besonders relevanten Fussgänger- und Velo-Erhebungen gilt eine engere Grenze: Sämtliche Bewegungen und Anfahrten müssen innerhalb von 38 Metern von der Kameraeinheit liegen.

- **Ausrichtung:** Der Teleskopmast ist stets vollständig auszufahren, und der Kamerawinkel ist vor Messbeginn anhand einer Live-Vorschau zu kontrollieren. Hinsichtlich möglicher Blendung empfiehlt der Hersteller, die Kamera morgens und abends nicht direkt gegen den Himmel zu richten, stattdessen eine Ausrichtung entlang einer Nord-Süd-Achse zu wählen, und eine Positionierung gegenüber von Strassenlampen zu vermeiden.

Einordnung

Zusammengefasst ergibt sich aus den drei Anforderungsprofilen ein konkretes Anforderungsbild für die Standortwahl: Gesucht wird eine gerade Strasse ohne Kreuzung im relevanten Bereich, ohne Sichtbehinderungen durch Bäume, Sträucher oder parkierte Fahrzeuge. Zusätzlich braucht es ein Gebäude mit einem geeigneten Fenster im ersten oder zweiten Obergeschoss für Telraam sowie einen Lichtmast, Kandelaber oder eine vergleichbare Struktur in Strassennähe für die Montage von Sierzega SR7 und Miovision. Da alle drei Geräte den gleichen Streckenabschnitt erfassen sollen, müssen diese Voraussetzungen an ein und demselben Ort gleichzeitig erfüllt sein. Das schränkt die Zahl realistisch geeigneter Standorte deutlich ein und ist bei der Standortbegehung entsprechend gezielt zu prüfen.

3.2 Auswahl der drei Teststandorte in der Stadt Basel

Um einen möglichst aussagekräftigen Durchschnitt zu erhalten, werden Strassen mit unterschiedlichem Verkehrsfluss, unterschiedlicher Geschwindigkeit sowie unterschiedlicher Zusammensetzung des Verkehrs getestet. Gemessen werden je eine Hauptverkehrsstrasse (Tempo 50), eine Verbindungsstrasse sowie eine Erschliessungsstrasse bzw. Begegnungszone, jeweils mit starkem, multimodalem Verkehrsaufkommen.

Als zusätzliche Vorgabe wurde, festgelegt, dass am Standort der Hauptverkehrsstrasse eine bestehende öffentliche Zählstelle mit misst, um eine zusätzliche, etablierte Referenzbasis zu haben. Konkret eine Induktionsschleife für den motorisierten Verkehr sowie separate Velo- und Fussgängerzählstellen. Der Kanton Basel-Stadt betreibt über das Amt für Mobilität ein entsprechendes Netz von Dauerzählstellen, dessen Standorte und Rohdaten über das kantonale Open-Data-Portal öffentlich zugänglich sind (Kanton Basel-Stadt 2026).

Bereits bei der Suche nach geeigneten Standorten zeigten sich zwei praktische Schwierigkeiten. Einerseits erwies sich die Suche nach einem geeigneten Telraam-Standort als anspruchsvoller als zunächst erwartet, da im persönlichen Bekanntenkreis nur wenige Personen über einen Wohnort verfügten, der den technischen Anforderungen an Fenster, Geschosshöhe und Sichtfeld (vgl. Abschnitt 3.1.1) entsprach.

Andererseits liess sich auch bei den öffentlichen Induktionsschleifen nur ein einziger Standort in Basel identifizieren, an dem sämtliche Verkehrsmittel gemeinsam erfasst werden: der Brückenkopf der Johannerbrücke im Kleinbasel. Für diesen Standort ist gemäss den Basler Open-Data-Beständen zumindest eine Fussgängerzählstelle offiziell dokumentiert (Kanton Basel-Stadt 2026).

Für die drei Kategorien kamen folgende Standorte in Frage:

Hauptverkehrsstrasse (Tempo 50):

- Feldbergstrasse
- Nauenstrasse → Induktionsschleife vorhanden, jedoch nur motorisierter Verkehr und sehr wenige Fussgänger

Verbindungsstrasse:

- Hardstrasse – entfällt aufgrund der dort verkehrenden Tramlinie
- Weiherweg

Erschliessungsstrasse:

- Muespacherstrasse
- St. Alban-Vorstadt

Während der Standortevaluation ist zudem die Idee einer zusätzlichen Erhebung einer reinen Velostrasse oder Velo-Fussgänger-Strasse aufgekommen. Aufgrund der in der Literaturrecherche bereits ausgiebig dokumentierten schwächeren Telraam-Genauigkeit bei Fussgängerinnen, Fussgängern und Velofahrenden (vgl. Abschnitt 2.4.3) wäre es spannend herauszufinden, ob die Komplexität des Mischverkehrs einen Einfluss auf die niedrigen Genauigkeiten hat, etwa aufgrund von Verdeckungen durch den motorisierten Verkehr oder durch die Fehlklassifikation von Velogruppen als Autos. Andererseits könnte die geringere Genauigkeit auch unabhängig vom Mischverkehr bestehen, wenn Fussgänger und Velos aufgrund ihrer wechselnden Körperhaltung und Bewegungsmuster grundsätzlich schwieriger zu erfassen sind als motorisierte Fahrzeuge. Eine Messung an einem Standort ohne motorisierten Verkehr würde es erlauben, diese beiden möglichen Ursachen zumindest ansatzweise zu trennen: Zeigt sich dort eine deutlich höhere Genauigkeit als an den drei Hauptstandorten, spräche dies für den Mischverkehr als Hauptursache; bleibt die Genauigkeit dagegen ähnlich tief, wäre dies ein Hinweis auf eine grundsätzlichere Erkennungsschwäche bei aktiven Verkehrsteilnehmenden.

Interessante Velostrassen sind dabei:

- Peter-Merian-Gebäude - entfällt, da die Decke der dortigen Unterführung für die Montage von Miovision zu niedrig ist
- Grosse Allee bei Schwimmbad St. Jakob
- Rheinweg bei Novartis (Höhe Passo) - entfällt aufgrund ungeeigneter Bedingungen für die Telraam-Installation
- Weg entlang dem Rhein beim Solitude-Park

3.3 Nutzwertanalyse

Für jeden Kandidatenstandort wurden neben der verkehrlichen Eignung auch die technische Machbarkeit für alle drei Messsysteme sowie die organisatorische Verfügbarkeit einer Kontaktperson für die Telraam-Installation geprüft. Im Folgenden werden die Erkenntnisse je Kandidat zusammengefasst.

Hauptverkehrsstrasse

Die **Feldbergstrasse** stellt sich als besonders geeigneter Standort heraus: In der Nähe der Johanniterbrücke befindet sich eine behördliche Induktionsschleife, die als zusätzliche, etablierte Referenzgrösse für den motorisierten Verkehr dienen kann (vgl. Abschnitt 3.1.1). Offen ist an diesem Standort noch die organisatorische Frage, ob sich eine Anwohnerin oder ein Anwohner mit einem geeigneten Fensterplatz für die Telraam-Installation finden lässt.

Die **Nauenstrasse** wurde frühzeitig aus der weiteren Bewertung ausgeschlossen, da sie zwar über eine Induktionsschleife verfügt, diese jedoch ausschliesslich den motorisierten Verkehr erfasst. Aufgrund des geringen Fussverkehrs sowie des fehlenden Veloverkehrs erfüllt der Standort die relevanten Anforderungen für die Untersuchung nur beschränkt.

Verbindungsstrasse

Die **Hardstrasse** wird als Kandidatin ausgeschlossen, da dort eine Tramlinie verkehrt. Die Vermutung liegt nahe, dass weder Telraam noch Sierzega SR7 eine Tram korrekt verarbeiten können, da beide Systeme auf eine feste Anzahl vordefinierter Fahrzeugklassen ausgelegt sind, in denen Trams nicht vorgesehen sind. Dies würde voraussichtlich zu Fehlklassifikationen und einer Verzerrung der übrigen Zählwerte führen. Eine unabhängige Quelle, die dies für die konkret eingesetzten Systeme explizit bestätigt, liegt allerdings nicht vor. Die Einschätzung stützt sich auf die bekannte Funktionsweise der Systeme (vgl. Abschnitte

2.2 und 2.4.1) und wird daher als plausible, aber nicht abschliessend belegte Ausschlussbegründung behandelt.

Die **Weierweg** erweist sich demgegenüber als vielversprechender Standort: Hier ist bereits eine Kontaktperson bekannt, die eine Telraam-Installation ermöglichen könnte. In unmittelbarer Nähe des Hauses befindet sich zudem ein Baum, der sich für die Installation des Sierzega SR7 gut eignet.

Erschliessungsstrasse

Bei der **Muespacherstrasse** ist ebenfalls bereits eine Kontaktperson bekannt, und es steht ausreichend Platz für die Telraam-Installation zur Verfügung. Die Montage von Miovision und Sierzega SR7 gestaltet sich an diesem Standort jedoch als schwierig, da weder ein Lichtmast noch ein Kandelaber als Befestigungspunkt vorhanden ist. Eine alternative Montagelösung, etwa an einer Hausfassade oder einem anderen geeigneten Objekt, wäre gegebenenfalls noch zu prüfen.

Die **St. Alban-Vorstadt** bietet einen insgesamt guten Standort, wobei sich in unmittelbarer Nähe des vorgesehenen Montagepfostens für Sierzega SR7 und Miovision eine kleine Kreuzung befindet. Da Telraam grundsätzlich Standorte ohne Kreuzung im Sichtfeld voraussetzt (vgl. Abschnitt 3.1.1) und auch für die beiden anderen Systeme eine ungestörte Streckenführung vorteilhaft ist, könnte diese Nähe zur Kreuzung zu einer erschwerten Auswertung führen.

Velostrasse (optionale vierte Kategorie oder als Ersatz für die Verbindungsstrasse)

Wie in Abschnitt 3.2 begründet, wurde zusätzlich die Erhebung einer reinen Velo- oder Velo-Fussgänger-Strasse diskutiert, um die Frage zu untersuchen, ob die in der Literatur dokumentierte schwächere Telraam-Genauigkeit bei Fussgängerinnen, Fussgängern und Velofahrenden auf den Mischverkehr selbst oder auf eine grundsätzliche Erkennungsschwäche bei diesen Verkehrsmitteln zurückzuführen ist.

Das **Peter-Merian-Gebäude** entfällt, da die Deckenhöhe der dortigen Unterführung für die Montage von Miovision nicht ausreicht.

Die **Grosse Allee** erscheint als besonders spannender Standort, da dort ein hohes Fuss- und Veloverkehrsaufkommen herrscht. Einschränkend ist zu beachten, dass auch hier immer wieder vereinzelt Autoverkehr auftritt, wodurch der Standort den motorisierten Verkehr nicht vollständig ausschliesst.

Der **Rheinweg bei Novartis (Höhe Passo)** entfällt aufgrund ungeeigneter Bedingungen für die Telraam-Installation.

Der **Weg entlang dem Rhein beim Solitude-Park** weist ebenfalls Schwierigkeiten bei der Telraam-Installation auf, gilt jedoch als möglicher Standort, sofern sich eine praktikable Lösung findet.

Bereits im Verlauf der Standortsuche zeigte sich eine methodische Schwierigkeit, die über die rein technischen und verkehrlichen Kriterien hinausgeht: Ein Standort kann auf dem Papier, anhand von Verkehrsmenge, Netzhierarchie und Sichtfeld, ideal erscheinen, scheitert in der Praxis jedoch häufig an der fehlenden Möglichkeit, eine geeignete Kontaktperson für die Telraam-Fensterinstallation zu finden. Ohne bestehende persönliche Beziehung zu Anwohnerinnen oder Anwohnern gestaltet sich die Ansprache fremder Personen zur spontanen Bereitstellung eines Fensters als unerwartet mühsam; entsprechend wurde die organisatorische Verfügbarkeit einer Kontaktperson neben der technischen und verkehrlichen Eignung zu einem eigenständigen, in der Praxis oft ausschlaggebenden Bewertungskriterium.

3.4 Versuchsdesign: räumliche und zeitliche Messplanung

Räumliche Messplanung

Die räumliche Planung konzentriert sich auf die präzise Platzierung der Sensoren an den drei gewählten Teststandorten. Das wichtigste Kriterium ist, dass die Erfassungsbereiche von Telraam S2, Sierzega SR7 und Miovision möglichst denselben Strassenabschnitt abdecken, da nur so eine möglichst genaue Vergleichbarkeit entsteht.

Zeitliche Messplanung

Erhebungsdauer

Mit drei Tagen automatischer Messung pro Standort fällt die Erhebung in die Kategorie der mittleren Erhebungsdauer (ein bis vierzehn Tage), die sich gemäss SVI-Forschungsbericht 1720 für Erfolgskontrollen und als erweiterte Planungsgrundlage eignet (Pestalozzi, Bucheli *et al.* 2022).

Die Erhebungsdauer kann nicht länger sein, da der Miovision eine Batterielaufzeit von knapp 72h hat, deswegen max. 3 Tage.

Dämmerung und Nacht als gezielte Testbedingung

Da Telraam als videobasiertes System auf Tageslicht angewiesen ist, bieten die Dämmerungsstunden sowie die Nacht eine gezielte Gelegenheit, die Robustheit des Systems unter schwierigen Lichtverhältnissen zu prüfen. In den Dämmerungsstunden liefert Telraam weiterhin multimodale Zählraten, deren Genauigkeit unter den schwächeren Lichtbedingungen jedoch möglicherweise abnimmt. Ein Vergleich mit

Sierzega SR7 und Miovision in genau diesen Randstunden erlaubt es, diese Erwartung empirisch zu überprüfen. Für die eigentliche Nachtzeit ist zu beachten, dass Telraam S2 lediglich eine Gesamtzahl motorisierter Fahrzeuge ohne Geschwindigkeit und ohne Unterscheidung von Fussgängerinnen, Fussgängern und Velofahrenden liefert. Ein Systemvergleich ist in dieser Zeit somit nur für den motorisierten Gesamtverkehr möglich, nicht jedoch für die im Zentrum dieser Arbeit stehende multimodale Erfassung.

Erfassung von Umweltvariable

Es wäre grundsätzlich wünschenswert, dass zum Messzeitpunkt möglichst viele unterschiedliche Witterungs- und Lichtbedingungen vorherrschen, etwa Regen, Sonneneinfall oder Dämmerung, da diese die optische Erkennungsrate der Kamerasysteme massgeblich beeinflussen können. Aufgrund des engeren Zeitplans wird jedoch bewusst darauf verzichtet, die Messtage gezielt nach solchen Bedingungen auszuwählen. Die tatsächlich auftretende Witterung wird stattdessen dokumentiert und bei der Auswertung berücksichtigt.

Gezielte Testfälle für spezielle Verkehrsteilnehmende

Um dennoch gezielt zu prüfen, wie Telraam auf besondere, in der Literatur bislang nicht dokumentierte Objektformen reagiert, werden am Ende der Testphase soweit es Zeitlich noch passt, gezielt spezielle Verkehrsteilnehmende beobachtet. Etwa Fussgängerinnen und Fussgänger mit Regenschirm, Personen mit Lastenvelo oder mit Kinderwagen. Diese gezielte Beobachtung knüpft an eine offene Frage aus der Literaturrecherche an (vgl. Abschnitt 2.4.3): Da für Telraams konturbasierte Klassifikation bislang keine Quelle vorliegt, die den Einfluss solcher atypischen Silhouetten explizit untersucht, soll die eigene Feldbeobachtung hierzu erste, wenn auch nicht repräsentative, Anhaltspunkte liefern.

Parallelbetrieb

Alle drei Messsysteme werden zwingend gleichzeitig betrieben, um einen direkten Vergleich der Zählwerte für denselben Zeitraum zu ermöglichen.

Manuelle Kontrollmessung

Die manuelle Kontrollzählung dient als weitere Kontrolle, um die automatische Klassifizierung der drei Systeme, vor allem aber die des Telraam, stichprobenartig zu überprüfen und zu kalibrieren. Pro Standort werden drei einstündige Zeitfenster erhoben: eine Stunde in der Spitzenverkehrszeit (Morgen oder Abendspitze), eine Stunde im mittleren Tagesverkehr sowie eine Stunde am späten Abend (rund 21 Uhr), um auch Werte bei geringem Verkehrsaufkommen abzudecken.

Da eine durchgehende physische Anwesenheit für drei Zeitfenster pro Standort einen erheblichen personellen Aufwand bedeuten würde, werden die zusätzlichen Zeitfenster (Spitzenstunden, mittlerer Verkehr und später Abend) anhand der von Miovision aufgezeichneten Videodaten im Nachhinein manuell ausgezählt. Dieses Vorgehen verbindet den Vorteil einer breiteren zeitlichen Abdeckung mit einem vertretbaren Erhebungsaufwand.

Validierungsintervalle

Für den späteren Datenabgleich werden durchgehend 15-Minuten-Intervalle als Vergleichseinheit festgelegt. Diese feine zeitliche Auflösung erlaubt es zudem, bei einer fehlerhaften oder unplausiblen Einzelzählung nur das betroffene 15-Minuten-Intervall zu wiederholen oder auszuschliessen, statt eine ganze Erhebungsstunde neu erfassen zu müssen.

Besonderheiten für Fuss- und Veloverkehr

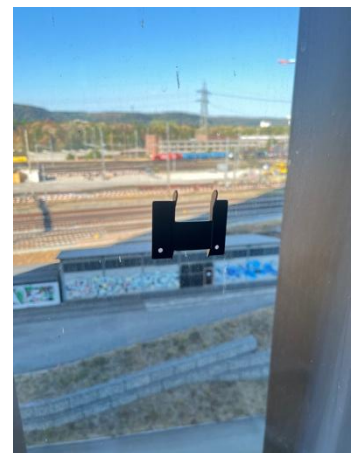
Für den motorisierten Verkehr ist gemäss den in Kapitel 2 diskutierten Validierungsdaten mit einer hohen Telraam-Genauigkeit (rund 96 %) zu rechnen, während bei Fussgängerinnen und Fussgängern deutlich niedrigere und stärker streuende Werte zu erwarten sind. Die manuellen Kontrollzählungen sind daher gerade für diese Verkehrsart zentral für die Fehlerkorrektur.

Da der verwendete Seitenradargeräte Sierzega SR7 nicht für die Erfassung von Fussverkehr konzipiert ist (vgl. Abschnitt 2.2), wird sich die multimodale Validierung von Telraam bei Fussgängerinnen und Fussgängern primär auf den Vergleich mit Miovision sowie den manuellen Kontrollzählungen stützen müssen.

3.5 Technische Vorbereitung, Kalibrierung und Testmessung

Telraam

Die Installation des Telraam-S2-Geräts erwies sich im Test als sehr einfach. Zunächst wird das Gerät mittels der mitgelieferten Klebepads an der Innenseite des Fensters angebracht und anschliessend über das Stromkabel mit einer Steckdose verbunden. Alternativ funktioniert die Stromversorgung im Test auch problemlos über eine gewöhnliche Powerbank, was insbesondere bei Standorten ohne unmittelbar zugängliche Steckdose eine praktikable Lösung darstellt.



Nach dem anschliessen wird ein auf dem Gerätebildschirm angezeigter QR-Code mit dem Smartphone gescannt, was direkten Zugang zum Telraam-Webportal verschafft. Die Registrierung selbst erfolgt in wenigen Schritten: Das Scannen des QR-Codes füllt automatisch die Seriennummer des Geräts aus und verknüpft es mit dem eigenen Konto. Anschliessend wird die Adresse des Standorts eingegeben. Abschliessend wird der exakte Standort auf einer Karte durch Anklicken des richtigen Strassenabschnitts festgelegt, bevor über ein Kamerasymbol die Blickrichtung des Geräts bestimmt wird, was für die korrekte Zuordnung der Fahrtrichtung in den späteren Daten entscheidend ist. Danach wird es nach ein paar Minuten live auf der Karte und es beginnt mit Datenerfassung.



Im Webportal selbst zeigt sich ein deutlich umfangreicheres Angebot an Auswertungsmöglichkeiten. Neben der Gesamtzählmenge je Verkehrsmittel für Fussgänger, Zweiräder, Personenwagen und Schwerverkehr, inklusive der separat ausgewiesenen Nachtzählung des motorisierten Gesamtverkehrs. Stehen eine Tagesübersicht, eine Detailansicht auf 15-Minuten-Basis sowie ein 24-Stunden-Durchschnitt und die geschätzte Geschwindigkeitsverteilung zur Verfügung.

Vorteile:

- Einfache Installation -> nur Klebepads ans Fenster, ohne Werkzeuge
- Schnelle Inbetriebnahme
- Alles auf einem einzigen Webportal
- Stromzufuhr auch mit Powerbank möglich
- Umfangreiche Auswertungsmöglichkeiten

Nachteile:

- Bei längerer Einsatzzeit zwingend eine externe Stromversorgung nötig
- Es braucht ein passendes Fenster, Montage an einem Mast oder der Fassade sehr schwer
- Laufende Abbonnementskosten bei grösseren Netzwerken

Miovision Scout Plus

Die Montage der Miovision-Einheit gestaltete sich im Test grösstenteils unproblematisch, wies jedoch einige kleinere Tücken auf. Zunächst wird die Schutzabdeckung des Geräts entfernt, bevor die Halterung mittels Spannsset am Kandelaber befestigt wird. Anschliessend wird die eigentliche Gerätebox in die Halterung eingehängt. Danach darf nicht vergessen werden, die Miovision-Box mit dem Kabel mit der Halterung zu verbinden. Erst danach wird die Kamera aufgesetzt und nach oben geschoben. Bei der gesamten Montage ist grundsätzlich darauf zu achten, keine der Verbindungen zu vergessen sowie auch wieder festzumachen und niemals Kraft anzuwenden, da sich die Bauteile bei korrekter Ausrichtung ohne Widerstand bewegen lassen.

Die Konfiguration der Zählintervalle und -zeiten, etwa Start- und Endzeitpunkt der Erhebung sowie das Erhebungsdatum, wird bereits vor der Feldarbeit an der FHNW vorgenommen, um den Aufwand vor Ort zu minimieren. Das Gerät selbst wird demgegenüber erst ganz zum Schluss der Montage eingeschaltet: Nach der Überprüfung des korrekten Kamerawinkels über die Live-Vorschau wird die Messung gestartet, während sämtliche übrigen Einstellungen bereits im Vorfeld festgelegt sein sollten.

Da im Rahmen dieser Arbeit die neueste Miovision-Generation mit OnBoard-Verarbeitung zum Einsatz kommt (vgl. Abschnitt 2.3), erfolgt die Klassifikation der Verkehrsteilnehmenden direkt auf dem Gerät. Die strukturierten Zähldaten werden automatisch und ohne manuellen Videoupload an die Cloud übertragen. Beim Feldtest hat dies noch nicht so gut funktioniert und deswegen wurde das Testvideo über die Website hochgeladen. Was jedoch kein grosser Unterschied macht und auch nur ein kleiner Einfluss auf die Preisstruktur hat. Wie in Abschnitt 2.3 dargelegt, ist dabei zu beachten, dass die sonst übliche Genauigkeitszertifizierung durch das Data-Services-Team bei dieser Betriebsart nicht zur Anwendung kommt, da kein Video an Miovision übermittelt wird. Die Kalibrierung des im Rahmen dieser Arbeit verwendeten Geräts wurde bereits im Vorfeld durch den wissenschaftlichen Mitarbeiter Tim Cotti vorgenommen.

Vorteile:

- Flexible einsetzbar, da batteriebetrieben und ohne festen Standort nutzbar
- OnBoard-Verarbeitung ermöglicht automatische Datenübertragung

Nachteile:

- Grosser Montageaufwand: mehrere Teilschritte (Abdeckung entfernen, Halterung befestigen, Box einhängen, Kabel verbinden, Kamera aufsetzen)
- Zur Weiterverarbeitung der Daten fällt eine Gebühr pro hochgeladenes Video an

Seitenradar Sierzega SR7

Die Montage des Sierzega SR7 erwies sich im Vergleich zum Miovision als deutlich einfacher, wenn auch die Befestigung der Schellen am Mast etwas mühsamer ausfiel. Bei der Installation ist darauf zu achten, dass das Anschlusskabel zuerst nach aussen geführt wird, bevor der Akku eingelegt wird; dieser wird gemäss Herstellerangabe mit den Kontakten nach vorne rechts eingesetzt und anschliessend ins Gehäuse geschoben (Sierzega Elektronik GmbH 2026c). Nach dem Einlegen des Akkus ist das Gehäuse zum Schutz vor unbefugtem Zugriff zu verschliessen.

Sobald der Akku eingesetzt ist, nimmt das Gerät automatisch den Betrieb auf: Stündlich werden Statusdaten zu Batteriestand, aktueller Position, Empfang und Temperatur über das integrierte LTE-Modem an einen Server übermittelt (Sierzega Elektronik GmbH 2026c). Der Status lässt sich über die Website sr7.sierzega.com verfolgen, wobei der Login mit der Seriennummer sowie der PIN des Geräts erfolgt – beide Angaben sind auf der Innenseite des Gehäuses aufgedruckt. Der eigentliche Download der Verkehrsdaten wird über denselben Webaufruf manuell angestossen; das Gerät prüft stündlich, ob eine entsprechende Anfrage vorliegt, und lädt die Daten bei Bedarf auf den Server hoch, wo sie bis zur manuellen Löschung gespeichert bleiben, während sie auf dem Gerät selbst nach erfolgreichem Upload automatisch entfernt werden (Sierzega Elektronik GmbH 2026c).

Die inhaltliche Auswertung der Verkehrsdaten erfolgt über die separate Plattform SRA Web.[8] Auch bei diesem Gerät wurde die Kalibrierung im Vorfeld bereits durch den wissenschaftlichen Mitarbeiter Tim Cotti ausgeführt.

Vorteile:

- Schnelle Montage
- Automatische Winkelkalibrierung bei jeder Durchfahrt, eine grobe Ausrichtung genügt, keine exakte Justierung nötig
- Keine baulichen Massnahmen erforderlich
- Batteriebetrieb über mehrere Wochen möglich

Nachteile:

- Mechanische Befestigung mittels Schellen am Mast etwas mühsam
- Auswertung auf zwei getrennte Plattformen verteilt (Status-/Login-Seite und separate Auswertesoftware SRA Web)
- Datendownload muss manuell angestossen werden, keine automatische Übertragung

Zusammenfassende Einordnung je System

Telraam S2 überzeugt im praktischen Einsatz vor allem durch die Einfachheit der Installation und ein einziges, gut integriertes Webportal, das sowohl Registrierung als auch Auswertung abdeckt. Der grösste Nachteil zeigt sich nicht bei der Installation, sondern erst im späteren Betrieb: die laufenden Abonnementkosten, die sich bei grösseren Zählnetzen deutlich stärker bemerkbar machen als der niedrige Anschaffungspreis zunächst vermuten lässt sowie bei längerem Betrieb, dass es dauerhaft am Strom sein muss.

Sierzega SR7 liess sich im Test ebenfalls zügig montieren, wenn auch die mechanische Befestigung mittels Schellen etwas mühsamer ausfiel als bei Telraam. Unpraktisch ist die Aufteilung der Auswertung auf zwei getrennte Plattformen (Status-/Login-Seite und separate Auswertesoftware SRA Web), was im Vergleich zu Telraam ein Arbeitsschritt mehr ist.

Miovision Scout erforderte im Test den grössten Montageaufwand unter den drei Systemen, mit mehreren einzelnen Schritten (Halterung, Kabelverbindung, Kamera aufsetzen), bei denen laut eigener Erfahrung leicht ein Teilschritt vergessen werden kann. Ein negativer Punkt zeigt sich bei der Auswertung, welche man erst erhält, wenn man einen Aufpreis bezahlt, damit das hochgeladene Video erst bearbeitet und analysiert wird.

Fazit

Aus rein praktischer Sicht der Installation und Handhabung schneidet Telraam am einfachsten ab, gefolgt von Sierzega SR7; MioVision verursacht den grössten Montage- und Auswertungsaufwand. Diese Rangfolge sagt jedoch nichts über die tatsächliche Messgenauigkeit der Systeme aus.

3.6 Validierungsparameter

Die Validierung der Telraam-S2-Daten erfolgt auf Basis von 15-Minuten-Intervallen, getrennt nach modaler Verkehrsmenge und Fahrzeuggeschwindigkeit. Als Referenz dienen für die Verkehrsmengen und die Verkehrsklassifikation je nach Standort die manuelle Kontrollzählung sowie die Messungen des Seitenradars Sierzega SR7 und, wo verfügbar, des Miovision Scout. Für die Geschwindigkeit ist ausschliesslich Sierzega SR7 massgebend, da weder die genutzte Auswertung von Miovision noch die manuelle Kontrollzählung Geschwindigkeitswerte liefern. Die Auswertung gliedert sich in vier methodische Schritte: eine deskriptive Beschreibung der Telraam-Rohdaten, eine vertiefte Analyse der Übereinstimmung mit den Referenzsystemen, eine Untersuchung möglicher Einflussfaktoren auf die Fehlergrösse sowie eine Prüfung der Klassifikationsgenauigkeit.

3.6.1 Deskriptive Statistik

Zur ersten Beschreibung der Telraam-Rohdaten selbst unabhängig von einem Referenzsystem – werden je Fahrzeugkategorie folgende Kennwerte berechnet:

- **Mittelwert:** der durchschnittliche Messwert je 15-Minuten-Intervall.
- **Median:** der mittlere Wert der Verteilung; robuster gegenüber Ausreissern als der Mittelwert. Eine grosse Differenz zwischen Mittelwert und Median deutet auf eine schiefe Verteilung hin.
- **Standardabweichung (SD):** zeigt, wie stark die Werte um den Mittelwert streuen.
- **Minimum/Maximum:** die Extremwerte der Verteilung.

3.6.2 Vergleich mit den Referenzsystemen

Für den eigentlichen Systemvergleich (Telraam-Messwert **M** gegen Referenzwert **C** je Intervall) werden folgende Kennzahlen verwendet:

- **Bias:** mittlere Differenz **M – C**. Positiv = Telraam überschätzt im Mittel, negativ = Telraam unterschätzt im Mittel.
- **Relative Abweichung:** Mittelwert der intervallweisen prozentualen Differenz $\frac{(M - C)}{C} \times 100$
- **MAPE (Mean Absolute Percentage Error):** Mittelwert von $\frac{|M - C|}{C} \times 100$ – wie die relative Abweichung, aber ohne Vorzeichen, zeigt daher die durchschnittliche Fehlergrösse unabhängig von Über- oder Unterschätzung.
- **MAE (Mean Absolute Error):** Mittelwert von $|M - C|$ – durchschnittlicher absoluter Fehler unabhängig von der Bezugsgrösse.
- **RMSE (Root Mean Square Error):** Wurzel aus dem Mittelwert von $(M - C)^2$ – gewichtet grosse Einzelabweichungen stärker als MAE.

Für die Übereinstimmung der Verkehrsmengen genügt der Korrelationskoeffizient allein nicht, da dieser nur den statistischen Zusammenhang, nicht aber die tatsächliche Übereinstimmung zweier Grössen misst. Ein System kann hoch mit der Referenz korrelieren und trotzdem systematisch zu hohe oder zu tiefe Werte liefern. Ergänzend werden daher berechnet:

- **Pearson-Korrelation (r) und Bestimmtheitsmass (R²):** r misst den linearen Zusammenhang zwischen Telraam- und Referenzwert; R² = r² gibt den Anteil der durch den Referenzwert erklärten Streuung an.

- **GEH-Statistik** und **SQV-Wert (Scalable Quality Value)** als etablierte, im Verkehrswesen gebräuchliche Kennwerte, die die Grösse des Verkehrsaufkommens mitberücksichtigen; der SQV normiert das Ergebnis zusätzlich auf eine Skala von 0 bis 1, wodurch Standorte unterschiedlicher Verkehrsstärke vergleichbar werden (Friedrich, Pestel *et al.* 2019).

$$\text{GEH} = \sqrt{\frac{2(M - C)^2}{M + C}}$$

$$\text{SQV} = \frac{1}{1 + \sqrt{(M - C)^2 / (f \cdot C)}}$$

- **Bland-Altman-Analyse:**(Bland und Altman 1986) berechnet für jedes Intervall die Differenz $d_i = M_i - C_i$, daraus den Bias als Mittelwert der Differenzen sowie die **Limits of Agreement**, den Bereich, in dem rund 95 % aller Intervall-Differenzen liegen:

$$\text{Limits of Agreement} = \bar{d} \pm 1,96 \cdot s_d$$

Enge Limits of Agreement bedeuten geringe Streuung der Einzelfehler um den Bias, breite Limits bedeuten grosse Schwankungen von Intervall zu Intervall, selbst wenn der Bias im Mittel klein ist.

3.6.3 Einflussfaktoren

Über die reine Kennzahlenberechnung hinaus wird geprüft, ob und wie stark die Fehlergrösse von externen Faktoren abhängt:

- **Tageszeit:** Vergleich der Übereinstimmung zwischen Tag-, Dämmerungs- und Nachtstunden, wobei nachts die korrigierte Telraam-Gesamtzahl (Night Total) anstelle der Einzelkategorien verwendet wird, da Telraam ab der Dämmerung nicht mehr nach Fahrzeugtyp klassifiziert.
- **Verkehrsmenge:** Einteilung der Intervalle in Terzile (gering/mittel/hoch) nach Referenz-Verkehrsmenge sowie eine lineare Regression des Fehlers gegen die Verkehrsmenge, um zu prüfen, ob Telraam bei höherem Verkehrsaufkommen systematisch schlechter zählt.
- **Fahrtrichtung:** Vergleich der Übereinstimmung getrennt nach Fahrtrichtung. Da eine reine Gegenüberstellung der aggregierten Prozentwerte grosse, aber zufällige Unterschiede vortäuschen kann, wird zusätzlich ein gepaarter statistischer Test eingesetzt – ein t-Test sowie, als robustere,

verteilungsfreie Alternative, ein Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test, der prüft, ob der Fehler in den beiden Richtungen systematisch unterschiedlich ausfällt.

3.6.4 Klassifikationsgenauigkeit

Drittens wird geprüft, ob Telraam die Verkehrsteilnehmenden auch der richtigen Kategorie zuordnet. Ein reiner Vergleich der Gesamtmengen reicht dafür nicht aus, da sich Fehler gegenseitig ausgleichen können. Eine echte Konfusionsmatrix mit Precision, Recall und F1-Score würde jedoch fahrzeugweise gepaarte Klassifikationsdaten erfordern, für jedes einzelne Fahrzeug müsste sowohl die wahre als auch die von Telraam vergebene Klasse bekannt sein. Mit den vorliegenden aggregierten 15-Minuten-Kategorietotalen aus unabhängigen Sensoren lässt sich das nicht berechnen: Ein beobachteter Fehler in der Summe kann ebenso gut eine Verschiebung zwischen Kategorien wie ein reiner Zählfehler sein. Anstelle einer Konfusionsmatrix werden daher folgende Analysen durchgeführt:

- **Mofa-Zuordnung:** Da die manuelle Zählung Mofas als eigene Kategorie führt, Telraam und Sierzega SR7 diese Kategorie jedoch nicht kennen, wird geprüft, ob sich die Übereinstimmung verbessert, wenn Mofas in der Referenz wahlweise der Kategorie Velo oder Personenwagen zugeschlagen werden.
- **Kategorienanteile:** Vergleich, wie stark sich die Anteile der Fahrzeugklassen an der multimodalen Gesamtsumme zwischen Telraam und Referenz verschieben. Kleine Verschiebungen trotz grosser Einzelkategorie-Abweichungen deuten auf sich gegenseitig kompensierende Fehler hin.
- **Qualitative Diskussion bekannter Klassierungs-Eigenheiten:** insbesondere die längenbasierte Klassifikation von Sierzega SR7 (Kategorie «Motorrad») sowie mögliche abweichende Grenzziehungen zwischen Personenwagen und Schwerverkehr bei der manuellen Zählung.

Quellenangaben:

[1] Friedrich, M.; Pestel, E.; Schiller, C.; Simon, R. (2019): Scalable GEH: A Quality Measure for Comparing Observed and Modeled Single Values in a Travel Demand Model Validation. **Transportation Research Record**, 2673(4), S. 722–732. <https://doi.org/10.1177/0361198119838849>

[2] Bland, J. M.; Altman, D. G. (1986): Statistical Methods for Assessing Agreement between Two Methods of Clinical Measurement. **The Lancet**, 327(8476), S. 307–310.

4 Datenerhebung/Feldbericht (AP4)

4.1 Feldbericht

Vorbereitung und Bewilligung

Standort:

Weierweg 78, Basel (Kategorie: Verbindungsstrasse, vgl. Abschnitt 3.2)

Der Standort wurde im Rahmen der Nutzwertanalyse (vgl. Abschnitt 3.3) ausgewählt, da hier bereits eine Kontaktperson für die Telraam-Installation sowie ein geeigneter Standort sowohl für Miovision als auch für Sierzega SR7 bekannt waren.



- Standort Telraam
- Standort Miovision
- Standort Seitenradar

Bewilligung:

Die Bewilligung für die Montage der Geräte im öffentlichen Raum wurde von Kathrin Grotrian, Projektleiterin Mobilitätsstrategie beim Kanton Basel-Stadt, erteilt. Die Geräte mussten entsprechend gekennzeichnet werden (Aufkleber der FHNW), damit bei Rückfragen, etwa von Polizei, IWB oder Anwohnenden, ersichtlich ist, an wen man sich wenden kann. Weitere Auflagen bestanden nicht.

Diebstahl-/Sabotageschutz: Miovision und Sierzega SR7 wurden ausreichend gegen Diebstahl gesichert. Der Miovision wurde mit den vorgesehenen Schlössern, die vom Hersteller vorgesehen sind, geschützt. Beim Seitenradar wurde zusätzlich noch ein Fahrradschloss als Diebstahlschutz benutzt, welches nicht im Lieferumfang erhalten war.

Durchführung der Feldmessung

- Telraam S2: montiert im 2. Obergeschoss eines Wohnhauses am Weiherweg 78, mit freier Sicht auf die Strasse.
- Miovision Scout: gegenüberliegend an einem Kandelaber montiert.
- Sierzega SR7 (Seitenradar): rund 50 Meter entfernt an einem gewöhnlichen Verkehrsschild montiert.

Messzeitraum: 16.07.2026, 09:00 Uhr bis 18.07.2026, 20:00 Uhr (rund 59 Stunden)

Die Auswertung der automatisch erhobenen Verkehrsdaten erfolgt in dem separaten Kapitel 5 .

Manuelle Kontrollzählungen waren gemäss Versuchsdesign (Abschnitt 3.4) für vier Zeitfenster vorgesehen (Morgenspitze oder Abendspitze, mittlerer Verkehr, später Abend)

- Manuelle Zählung: nach Abschluss der Feldmessung mittels den Videodaten des MioVision
 - Messezeitraum: Freitag, den 17.07.2026
 - ➔ Spitzenzeiten: 17:00-18:00
 - ➔ Randzeiten: 20:00-21:00
 - ➔ Mittlerer Verkehr: 12:00-13:00

Monitoring, Datenschutz und Umgang mit Störfaktoren

Sierzega SR7

Datenlücke durch Batterieausfall: Am 16.07.2026 gegen 18:00 Uhr fiel der Akku des Sierzega SR7 aus. Da das Gerät weiterhin ein aktives Signal zeigte, wurde das Problem zunächst nicht als Zählausfall erkannt. Die Batterie wurde am 17.07.2026 um 08:30 Uhr ausgetauscht, woraufhin die Messung wieder normal weiterlief. Dadurch entstand eine Datenlücke von rund 15 Stunden (16.07., 17:56 Uhr bis 17.07., 08:47 Uhr).

Miovision Scout

Ungeklärte Verbindungsfehler: Am 17.07.2026 zeigte das Miovision-Portal keine Heartbeat an. Was darauf schliesst, dass es ein Verbindungsfehler gab. Bei zwei Vor-Ort-Kontrollen (morgens und abends) wurde jedoch kein auffälliger Zustand festgestellt; die Daten scheinen durchgehend aufgezeichnet worden zu sein.

Telraam S

Am 16.07.2026 zwischen 10:00 und 12:00 Uhr registrierte Telraam keine Fahrzeuge, obwohl Sierzega SR7 im selben Zeitraum reguläre Zählwerte (rund 100 motorisierte Fahrzeuge pro Stunde) auswies. Als Ursache liess sich ermitteln, dass die Anwohnerin den Rollladen des Messfensters vorübergehend geschlossen hatte, wodurch die Kamera keine freie Sicht auf die Strasse mehr hatte. Eine weitere interessante Beobachtung war, dass es zwischen 18:00 bis 18:45 Uhr in den Nachtmodus gewechselt hat, um danach wieder zurück in den Tagmodus zurückzukehren und erst ab 21:00 Uhr endgültig in den Nachtmodus wechselte. Dieser kurzzeitige Wechsel ist wohl dem am selben Tag aufgezugene Gewitter geschuldet.

Bemerkenswert ist zudem, dass die Uptime-Anzeige von Telraam für diesen Zeitraum weiterhin "Good uptime" auswies, obwohl faktisch keine gültigen Zähldaten anfielen, die Uptime-Kennzahl erkennt solche Verdeckungen also nicht zuverlässig.

Äusserliche Einflüsse

Tab. 1: Witterung und Dämmerungszeiten – Weiherweg

Datum	Witterung	Temperatur	Morgendämmerung	Abenddämmerung
16.07.2026	Zunächst sonnig, im Tagesverlauf zunehmend Quellwolken; gegen Abend gebietsweise Schauer und Gewitter, schwacher bis mässiger Wind.	19–30 °C	05:11 Uhr (Sonnenaufgang ca. 05:48 Uhr)	Bürgerliche Dämmerung bis 22:00 Uhr; unter Gewitterbewölkung bereits ab ca. 20 Uhr spürbar dunkler.
17.07.2026	Sonne und Wolken im Wechsel; v. a. nachmittags Schauer und einzelne, von Westen heranziehende Gewitter mit zeitweise deutlich reduzierter Helligkeit.	19–26 °C	05:12 Uhr (Sonnenaufgang ca. 05:49 Uhr)	Bürgerliche Dämmerung bis 21:59 Uhr; am Nachmittag stellenweise fast dämmerungsähnliches Licht.

18.07.2026	Insgesamt recht sonnig mit vor al-17–26 °C lem Quellwolken; dazwischen durchziehende Regengüsse und örtlich ein Gewitter.	05:13 Uhr (Sonnenauf-Bürgerliche Dämmerung gang ca. 05:50 Uhr) bis 21:58 Uhr; freund- lichster und hellster der drei Messtage.
------------	--	---

Fazit und Hinweise für die Auswertung

Die Messung ist grösstenteils verwertbar. Bei der Sierzega-SR7-Datenreihe ist die rund 15-stündige Datenlücke am 16./17.07. zu berücksichtigen; sie sollte bei der späteren Ursachenanalyse transparent ausgewiesen werden.

Auffällig ist zudem die im Vergleich hohe Anzahl an Fahrzeugen, die von Sierzega SR7 der Klasse "Motorrad" zugeordnet wurden. Es stellt sich die Frage, ob es sich dabei tatsächlich durchgehend um Motorräder handelt oder ob ein Teil davon fälschlicherweise erfasste Velofahrende sind. Dies wird in der späteren Auswertung anhand eines Abgleichs mit den Telraam-Velozahlen genauer zu prüfen sein (vgl. Abschnitt 1.5).

Bereits bei einer ersten Sichtung der Telraam-Daten fiel zudem auf, dass das Gerät am 16.07. zwischen 17:00 und 18:00 Uhr, also noch während der Abendstunden, eine Zählung auswies, die auf Nachtbetrieb hindeutet. Ein möglicher Zusammenhang mit dem zu dieser Zeit einsetzenden Regen liegt nahe, lässt sich jedoch nicht eindeutig bestätigen, da spätere Regenereignisse während der Messperiode nicht zu einer vergleichbaren Fehlklassifikation geführt haben. Dieser Einzelfall ist bei der späteren Auswertung ebenfalls genauer zu untersuchen.

Empfehlungen für die weiteren Messungen:

- Batteriestatus der Geräte vor Messbeginn und während der laufenden Erhebung engmaschiger kontrollieren und bei Auffälligkeiten rascher reagieren.
- Anwohnende nochmals explizit nochmals darauf hinweisen, dass die Rollläden nicht geschlossen werden dürfen.

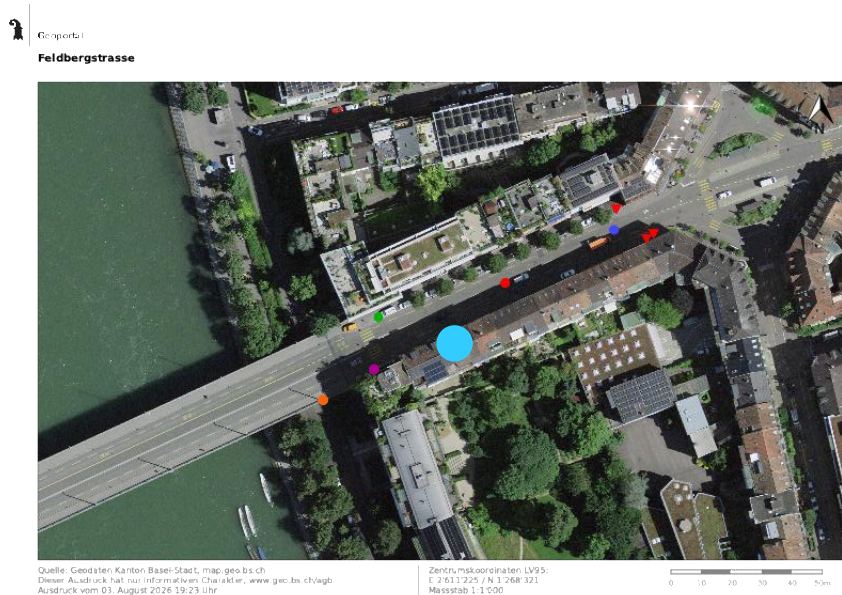
4.2 Feldbergstrasse

Vorbereitung und Bewilligung

Standort:

Feldbergstrasse 6, Basel (Kategorie: Hauptverkehrsstrasse, vgl. Abschnitt 3.2)

Der Standort wurde im Rahmen der Nutzwertanalyse (vgl. Abschnitt 3.3) ausgewählt, da er sich ideal für einen direkten Systemvergleich eignete: Neben Telraam, Miovision und Sierzega SR7 verfügt die Feldbergstrasse bereits über permanent installierte Zählinfrastruktur des Kantons Basel-Stadt, eine Induktionsschleife für den motorisierten Verkehr sowie eine Zählstelle für Velo- und Fussverkehr. Damit lässt sich Telraam an diesem Standort mit vier unabhängigen Referenzsystemen validieren sowie mit der manuellen Zählung vergleichen.



- Standort Telraam
- Standort Miovision
- Standort Seitenradar

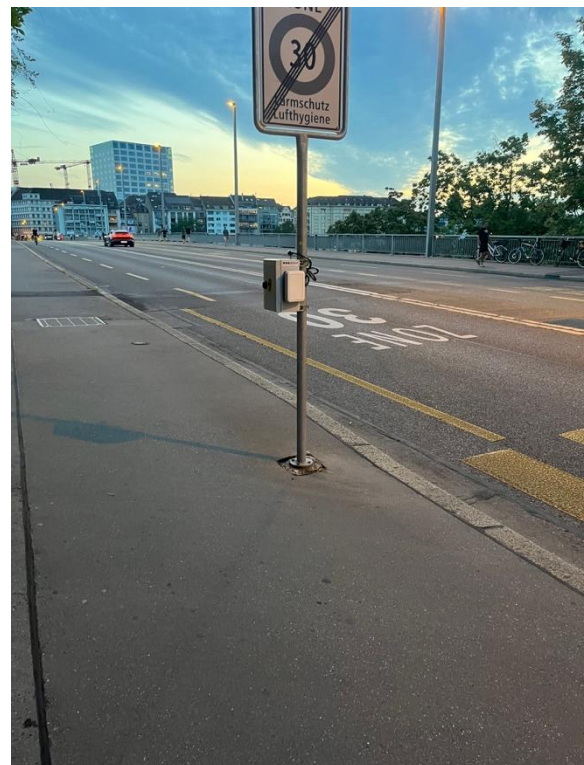
Bewilligung: Die Bewilligung für die Montage der Geräte im öffentlichen Raum wurde von Kathrin Grotrian, Projektleiterin Mobilitätsstrategie beim Kanton Basel-Stadt, erteilt. Die Geräte mussten

entsprechend gekennzeichnet werden (Aufkleber der FHNW), damit bei Rückfragen, etwa von Polizei, IWB oder Anwohnenden, ersichtlich ist, an wen man sich wenden kann. Weitere Auflagen bestanden nicht.

Diebstahl-/Sabotageschutz: Miovision und Sierzega SR7 wurden ausreichend gegen Diebstahl gesichert. Der Miovision wurde mit den vom Hersteller vorgesehenen Schlössern geschützt. Beim Seitenradar wurde zusätzlich ein Fahrradschloss als Diebstahlschutz verwendet, das nicht im Lieferumfang enthalten war.

Durchführung der Feldmessung

- Telraam S2: montiert in einem Ladenlokal eines Wohnhauses an der Feldbergstrasse 6, mit freier Sicht auf die Strasse.
- Miovision Scout: rund 20 m entfernt, am Anfang der Johanniterbrücke an einem Kandelaber montiert.
- Sierzega SR7 (Seitenradar): ebenfalls ca. 20 m entfernt an einem Verkehrsschild montiert.
- Bereits fix installiert: Induktionsschleife (MIV) sowie eine Zählstelle für Velo- und Fussverkehr des Kantons Basel-Stadt.



Messzeitraum: 20.07.2026, 09:00 Uhr bis 22.07.2026, 20:30 Uhr geplant (rund 59,5 Stunden).

Die Auswertung der automatisch erhobenen Verkehrsdaten erfolgt im separaten Kapitel 5.

Manuelle Kontrollzählungen waren gemäss Versuchsdesign (Abschnitt 3.4) für drei Zeitfenster vorgesehen (Morgenspitze, mittlerer Verkehr, späte Randzeiten):

- Manuelle Zählung: nach Abschluss der Feldmessung mittels der Videodaten des Miovision.
 - Spitzenzeit: 22.07.2026, 17:00–18:00 Uhr
 - Mittlerer Verkehr: 22.07.2026, 12:00–13:00 Uhr
 - Randzeiten: 20.07.2026, 19:30–20:30 Uhr

Monitoring, Datenschutz und Umgang mit Störfaktoren

Sierzega SR7: Keine Datenlücken, das Gerät hat durchgehend einwandfrei funktioniert.

Miovision Scout: Während der Messung hat sich die Kamera durch mutwillige Fremdeinwirkung verschoben. Die versuchsdurchführende Person hat dies zu spät bemerkt, wodurch ein Messtag verloren ging. Zeitraum, welcher fehlt: 20.07 20:43 bis 22.07 07:23

Telraam S2: Keine relevanten Vorkommnisse. Die Rohdaten zeigen einen sehr guten Uptime-Wert über fast die gesamte Messperiode (meist "Good uptime – 1"), mit Ausnahme der ersten Messstunde (20.07., 10:00 Uhr: "Poor uptime – 0.58", vermutlich eine Anlaufphase direkt nach der Installation).

Aus den Rohdaten lässt sich zudem der Wechsel zwischen Tag- und Nachtmodus rekonstruieren: Telraam klassifiziert jeweils zwischen ca. 21:00 und 22:00 Uhr auf Nachtbetrieb um (erkennbar am Anstieg der Kategorie "Night Total" und dem gleichzeitigen Rückgang von Bike/Car/Large vehicle) und wechselt morgens zwischen 05:00 und 06:00 Uhr zurück in den Tagbetrieb. Das deckt sich gut mit den tatsächlichen Sonnenuntergangszeiten (20.07.: 21:18 Uhr, 21.07.: 21:17 Uhr, 22.07.: 21:16 Uhr) und Sonnenaufgangszeiten (20.07.: 05:52 Uhr, 21.07.: 05:53 Uhr, 22.07.: 05:55 Uhr) – Telraam schaltet also erst kurz nach echtem Sonnenuntergang in den Nachtmodus und bereits kurz vor dem echten Sonnenaufgang wieder zurück in den Tagbetrieb.

Äusserliche Einwirkungen

Tab. 2: Witterung und Dämmerungszeiten – Feldbergstrasse

Datum	Witterung	Temperatur	Morgendämmerung	Abenddämmerung
20.07.2026	Sonnig bis leicht wolkig, keine Niederschläge; anhaltend trockene,	12–25 °C	05:15 Uhr (Sonnenaufgang 05:52 Uhr)	Sonnenuntergang 21:18 Uhr; bürgerliche Dämmerung bis 21:56 Uhr

	sommerliche Hochdrucklage ohne Gewitteraktivität, schwacher bis mässiger Wind.			
21.07.2026	Überwiegend sonnig, 13–26 °C kaum Bewölkung; Fortsetzung der Trockenperiode, keine Schauer oder Gewitter registriert.	05:16 Uhr (Sonnenaufgang 05:53 Uhr)	Sonnenuntergang 21:17 Uhr; Dämmerung bis 21:55 Uhr	
22.07.2026	Morgens teils wolkig, 12–28 °C im Tagesverlauf Auflockerung und wieder sonnig; mässiger Wind aus Nordwest, weiterhin trocken.	05:18 Uhr (Sonnenaufgang 05:55 Uhr)	Sonnenuntergang 21:16 Uhr; Dämmerung bis 21:54 Uhr	

Fazit und Hinweise für die Auswertung

Die Messung ist grösstenteils sehr gut verwertbar: Sierzega SR7 lieferte lückenlose Daten, und Telraam zeigt über fast die gesamte Periode eine gute Uptime. Im Gegensatz zu Weiherweg gab es an diesem Standort keine Niederschläge während der Messperiode, das macht die Feldbergstrasse zu einem guten Kontrollfall, um den in Weiherweg vermuteten Regen-Effekt auf die Telraam-Klassifikation von einem reinen Tageszeit-/Lichteffect zu trennen: Sollte sich auch hier bei trockenem, durchgehend sonnigem Wetter eine ähnlich starke Tag/Nacht-Differenz zeigen wie in Weiherweg, spricht das für einen generellen Lichtverhältnis-Effekt statt für einen regenspezifischen.

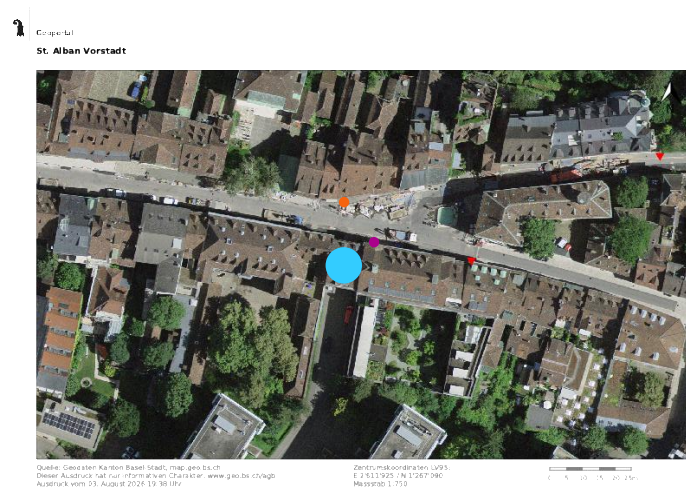
4.3 St. Alban Vorstadt

Vorbereitung und Bewilligung

Standort:

St. Albanvorstadt, Basel (Kategorie: Erschliessungsstrasse, vgl. Abschnitt 3.2)

Der Standort wurde im Rahmen der Nutzwertanalyse (vgl. Abschnitt 3.3) ausgewählt, da die St. Albanvorstadt die Kategorie Erschliessungsstrasse gut repräsentiert. Zusätzlich konnte über einen persönlichen Kontakt in der St. Albanvorstadt eine Installationsmöglichkeit im ersten Stock eines Wohngebäudes organisiert werden, was eine freie Sicht auf die Strasse für den Telraam-Sensor ermöglichte.



- Standort Telraam
- Standort Miovision
- Standort Seitenradar

Bewilligung: Die Bewilligung für die Montage der Geräte im öffentlichen Raum wurde von Kathrin Grottrian, Projektleiterin Mobilitätsstrategie beim Kanton Basel-Stadt, erteilt. Die Geräte mussten entsprechend gekennzeichnet werden (Aufkleber der FHNW), damit bei Rückfragen, etwa von Polizei, IWB oder Anwohnenden, ersichtlich ist, an wen man sich wenden kann. Weitere Auflagen bestanden nicht.

Diebstahl-/Sabotageschutz: Miovision und Sierzega SR7 wurden ausreichend gegen Diebstahl gesichert. Der Miovision wurde mit den vorgesehenen Schlössern, die vom Hersteller vorgesehen sind, geschützt. Beim Seitenradar wurde zusätzlich noch ein Fahrradschloss als Diebstahlschutz benutzt, welches nicht im Lieferumfang erhalten war.

Durchführung der Feldmessung

- Telraam S2: montiert im ersten Stock eines Wohngebäudes
- Miovision Scout: Rund 10 m entfernt an einem Strassenschild
- Sierzega SR7 (Seitenradar): Wurde auf gleicher Höhe auf der anderen Strassenseite aufgebaut



Messzeitraum: geplanter Messezeitraum war 23.07.2026, 10:00 Uhr bis 25.07.2026, 21:00 Uhr

Die Auswertung der automatisch erhobenen Verkehrsdaten erfolgt im separaten Kapitel 5.

Manuelle Kontrollzählungen waren gemäss Versuchsdesign (Abschnitt 3.4) für drei Zeitfenster vorgesehen (Abendspitze, mittlerer Verkehr, später Abend).

- Manuelle Zählung: nach Abschluss der Feldmessung mittels den Videodaten des MioVision
 - Messzeitraum: Freitag, 24.07.2026
 - ➔ Spitzenzeiten: 17:00-18:00
 - ➔ Mittlerer Verkehr: 12:00-13:00
 - ➔ Randzeiten: 20:00-21:00

Monitoring, Datenschutz und Umgang mit Störfaktoren

Sierzega SR7

Keine Datenlücken, hat alles ausreichend funktioniert.

Miovision Scout

Bei der Konfiguration wurde versehentlich ein falsches Startdatum eingestellt: Die Messung sollte ursprünglich bereits am 23.07.2026 beginnen, lief effektiv aber erst ab dem offiziellen Messstart am 24.07.2026 an. Der Fehler wurde vor Beginn des eigentlichen Messfensters bemerkt und korrigiert, sodass innerhalb des in diesem Bericht ausgewerteten Zeitraums (24.07.–25.07.2026) keine Daten verloren gingen.

Telraam S2

Es gab während der Messung Probleme und darum ist der bereinigte gemessene Zeitraum nur von 23.07 10:00 bis 25.07 02:45.

Äusserliche Einflüsse

Tab. 3: Witterung und Dämmerungszeiten – St. Alban Vorstadt

Datum	Witterung	Temperatur	Morgendämmerung	Abenddämmerung
24.07.2026	Sonnig und warm, kaum Bewölkung, keine Niederschläge; ruhige Sommerlage mit leichter Bise, gegen Abend Umstellung auf Südwestwind als Vorbote der ab Ende Woche erwarteten Hitzewelle.	13–30 °C	05:20 Uhr (Sonnen-Sonnenaufgang 05:57 Uhr)	21:14 Uhr; bürgerliche Dämmerung bis ca. 21:52 Uhr
25.07.2026	Zunehmend sonnig und warm, kaum Bewölkung; laut Messstation Basel-Binningen (MeteoSchiweiz) kein messbarer Niederschlag – Fortsetzung der	15–31 °C	05:21 Uhr (Sonnen-Sonnenaufgang 05:58 Uhr)	21:13 Uhr; bürgerliche Dämmerung bis ca. 21:51 Uhr

anhaltenden Trockenperiode im
Vorfeld der ab Ende Woche ein-
setzenden Hitzewelle.

Fazit und Hinweise für die Auswertung

Die Messung an der St. Albanvorstadt ist grösstenteils gut verwertbar: Sierzega SR7 lieferte lückenlose Daten, und die Konfigurationspanne beim Miovision Scout wurde vor dem offiziellen Messstart korrigiert, sodass innerhalb des ausgewerteten Zeitraums (24.07.–25.07.2026) keine Datenlücken entstanden. Witterungsseitig war die gesamte Messperiode durchgehend sonnig und trocken, mit steigenden Temperaturen als Vorbote der ab Ende Woche einsetzenden Hitzewelle. Damit eignet sich dieser Standort, analog zur Feldbergstrasse, als weiterer Kontrollfall ohne Niederschlagseinfluss, um bei der Auswertung der Telraam-Klassifikation reine Tageszeit-/Lichteffekte von witterungsbedingten Effekten zu trennen.

4.4 Fazit zu den Feldmessungen

Die drei Feldmessungen zeigen übereinstimmend, dass der praktische Betrieb dreier gleichzeitig laufender Messsysteme anfälliger für kleine, aber folgenreiche Störungen ist, als es die technischen Spezifikationen der Hersteller vermuten lassen. An allen drei Standorten trat mindestens ein unvorhergesehenes Problem auf: der versehentlich geschlossene Rollladen am Weiherweg, die mutwillige Verschiebung der Miovision-Kamera an der Feldbergstrasse sowie der Konfigurationsfehler beim Miovision-Startdatum an der St. Alban-Vorstadt. Allen drei Vorfällen ist gemeinsam, dass sie nicht sofort erkannt wurden, sondern erst bei einer der periodischen Vor-Ort- bzw. Online-Kontrollen auffielen. Am deutlichsten sichtbar am Weiherweg, wo die Telraam-eigene Uptime-Anzeige selbst während der zweistündigen Verdeckung durchgehend "Good uptime" auswies und damit keinerlei Warnsignal lieferte. Für künftige Erhebungen dieser Art lässt sich daraus die Lehre ziehen, dass eine engmaschigere Kontrolle, insbesondere in den ersten Stunden nach der Installation sowie nach bekannten Schwachstellen wie Akkustand oder Kamera-Fixierung, Datenausfälle deutlich früher erkennbar gemacht hätte, statt sie erst im Nachhinein bei der Datenauswertung zu entdecken.

Der Vorfall an der Feldbergstrasse zeigt zudem, dass die Störanfälligkeit nicht nur von den Geräten selbst, sondern auch von äusseren Einflüssen ausgeht, die sich kaum vollständig ausschliessen lassen: Trotz Diebstahlsicherung liess sich die mutwillige Verstellung der Kamera nicht verhindern, sondern erst nachträglich anhand der fehlenden Daten feststellen. Dies unterstreicht, dass Sabotage- und

Fremdeinwirkungsschutz im öffentlichen Raum ein reales, nicht rein theoretisches Risiko darstellt, dem auch mit sorgfältiger Montage nur begrenzt begegnet werden kann.

Bereits bei der Standortsuche (vgl. Abschnitt 3.3) hatte sich abgezeichnet, dass ein auf dem Papier ideal erscheinender Standort in der Praxis oft an einem einzelnen limitierenden Faktor scheitert; die tatsächliche Durchführung der drei Feldmessungen bestätigt diese Erfahrung. Ein geeigneter Standort muss gleichzeitig ein passendes Fenster für Telraam, einen tauglichen Mast oder Kandelaber für Sierzega SR7 sowie ausreichend freien Raum für das Miovision-Stativ bieten und all dies an ein und demselben Streckenabschnitt. Je konkreter die eigene Vorstellung von einem "idealen" Standort im Vorfeld war, desto schwieriger gestaltete sich in der Praxis die Suche, da sich diese drei Anforderungen selten an genau der gewünschten Stelle gleichzeitig erfüllen liessen. Eine iterative, vor Ort geprüfte Standortsuche erwies sich damit als notwendiger und zeitaufwändiger, als dies eine rein kriteriengeleitete Vorabplanung hätte erwarten lassen.

Trotz dieser Herausforderungen konnten an allen drei Standorten grösstenteils verwertbare Datensätze erhoben werden; die aufgetretenen Störungen sind bekannt, zeitlich klar eingrenzbar und werden bei der Datenauswertung in Kapitel 5 entsprechend transparent ausgewiesen und – wo nötig – aus dem Vergleich ausgeschlossen.

5 Datenauswertung und Validierung (AP5)

5.1 Datenauswertung und Validierung – Weiherweg

Standort Weiherweg (Verbindungsstrasse), Basel

Messperiode 16.–18.07.2026

Referenzsysteme: Sierzega SR7 (Seitenradar), Miovision Scout (Video, 17.07. 11:30–13:15 & 16:30–21:15 Uhr) und eine manuelle Kontrollzählung (aus dem Miovision-Videomaterial ausgezählt, 12 Intervalle, 17.07.).

5.1.1 Datenaufbereitung

Telraam liefert am Standort Weiherweg nur Stundenwerte; für die geforderte 15-Minuten-Auflösung wurden diese aufgeteilt. Es gibt bei Telraam eine Funktion, welche auch eine direkte 15-Minuten-Auflösung gibt, jedoch wurde erst bei der letzten Strasse diese Abo freigeschaltet. Aufgrund dieses Fehlers meinerseits bleibt bei dem anschliessenden Verteilmuster. Für Bike/Car/Large vehicle wurde dabei, wo verfügbar, das tatsächliche 15-Minuten-Muster aus den Sierzega-Rohdaten derselben Stunde verwendet, andernfalls das über alle Stunden gemittelte Verteilungsmuster. Pedestrian Total und Night Total wurden mangels Referenzmuster gleichmässig auf die vier Viertelstunden verteilt.

Vor der eigentlichen Auswertung wurde ein bekannter Geräteausfall bereinigt: Am 16.07. zwischen 10:00 und 11:45 Uhr war der Rollladen des Telraam-Messfensters geschlossen, wodurch das Gerät durchgehend 0 Fahrzeuge zeigte, während Sierzega reguläre Werte verzeichnete. Diese 8 Intervalle wurden als Geräteausfall (kein Zählfehler) aus dem Sierzega-Vergleich ausgeschlossen (n=173 statt 181 Intervalle).

Klassierungslogik der Referenzsysteme

Für die Interpretation der Kategorien-Ergebnisse (5.3, 5.8) sind drei Fakten zur Datengrundlage wichtig, die unabhängig von den Messergebnissen selbst gelten:

- Sierzega klassifiziert ausschliesslich nach Fahrzeuglänge (Kat. 1 < 2 m, Kat. 2 = 2-6 m usw., siehe Geräte-Einstellungen). In der Sierzega-eigenen Auswertungsoberfläche heisst Kategorie 1 "Motorrad", nicht "Velo". In dieser Arbeit wird sie dennoch mit Telraams "Bike Total" verglichen, da sie der Fahrzeuglänge nach am ehesten dieser Kategorie entspricht. Diese Zuordnung ist eine Näherung, keine exakte Übereinstimmung der Definition.
- Die manuelle Kontrollzählung führt Mofa als eigene, sechste Kategorie neben Velo, PKW, Lastwagen, Bus und Fussgänger/Trottinette. Weder Telraam noch Sierzega kennen diese Kategorie

separat. Für Vergleiche muss Mofa daher händisch entweder Velo oder PKW zugeschlagen werden (vgl. 5.8).

- Die Grenze zwischen "Personenwagen" und "Schwerverkehr" wurde bei der manuellen Zählung nach eigenem Ermessen vor Ort gezogen, während Telraam und Sierzega beide eine feste, aber jeweils eigene Längenschwelle verwenden. Es ist nicht sichergestellt, dass alle drei Zählungen exakt dieselbe Grenze (z. B. Lieferwagen vs. Lastwagen) anwenden.

5.1.2 Deskriptive Statistik

Mittelwert und Median beschreiben die zentrale Tendenz (Median ist robuster gegenüber Ausreissern), die Standardabweichung (SD) die Streuung um den Mittelwert, Minimum/Maximum die Extremwerte. Eine grosse Differenz zwischen Mittelwert und Median deutet auf eine schiefe Verteilung hin.

Die im Anhang aufgeführte Tabelle A.1 zeigt die deskriptive Statistik der Telraam-Rohdaten über die gesamte Messperiode (n=240 Intervalle; die 8 durch den Rollladen-Ausfall betroffenen Nullintervalle vom 16.07., 10:00–11:45 Uhr, wurden bereits hier ausgeschlossen, vgl. Kapitel 5.1). Sie dient als Übersicht über die Grösse und Streuung der Datenbasis, bevor Vergleichswerte gebildet werden. Relevant daraus: Die Verkehrsmengen unterscheiden sich stark zwischen den Kategorien (Personenwagen deutlich höher als Velo und Schwerverkehr), und bei Velo zeigt sich eine schiefe Verteilung mit einzelnen sehr verkehrsstarken Intervallen (siehe unten).

Die grosse Differenz zwischen Mittelwert und Median bei Velo (9.47 vs. 5.00) und die hohe Standardabweichung deuten auf eine schiefe Verteilung mit einzelnen sehr verkehrsstarken Intervallen hin (Maximum 65 Velos in 15 Minuten) erwartbar bei Pendlerspitzen.

5.1.3 Vergleich der Verkehrsmengen

Telraam wird in diesem Abschnitt konsequent gegen alle drei verfügbaren Referenzsysteme verglichen: Sierzega SR7 (grösste Stichprobe, ganze Messperiode), Miovision Scout (Video, nur 17.07. 11:30–13:15 & 16:30–21:15 Uhr) und die manuelle Kontrollzählung (Video von Hand ausgezählt, 12 Intervalle, bester verfügbarer Goldstandard). Da Telraam nachts nicht mehr nach Fahrzeugtyp klassifiziert (siehe 5.10.1), sind die Sierzega-Werte auf Tagesstunden beschränkt; Miovision und die manuelle Zählung liegen ohnehin nur tagsüber vor.

Verwendete Kennzahlen (M = Telraam-Messwert, C = Referenzwert je Intervall):

- Bias: mittlere Differenz $M - C$: Positiv = Telraam überschätzt im Mittel, negativ = Telraam unterschätzt im Mittel.

- Rel. Abweichung: Mittelwert der intervallweisen prozentualen Differenz $\frac{(M - C)}{C} \times 100$ (auch Mean Percentage Error, MPE genannt). Reagiert empfindlich auf Intervalle mit kleinem Referenzwert und kann daher weiter von 0 abweichen als ein reiner Verhältniswert der Gesamtsummen.
- Weiter wurde auch MAPE/MAE/RMSE-Werte zu den Tabellen 2a-2c ausgerechnet siehe A.2-A.4 im Anhang.

Tabelle 2a: Telraam vs. Sierzega SR7, nur Tagesstunden (n=140)

Grösse	Ø Telraam	Ø Sierzega	Unterschied zu Sierzega	
			Rel.	Abs.
Velo	12.82	12.67	+7.2%	+0.15
Personenwagen	22.67	21.80	+8.2%	+0.87
Schwerverkehr	4.39	4.44	-4.8%	-0.04
Multimodal gesamt	39.89	38.91	+6.4%	+0.98

Tabelle 2b : Telraam vs. Miovision Scout (n=28)

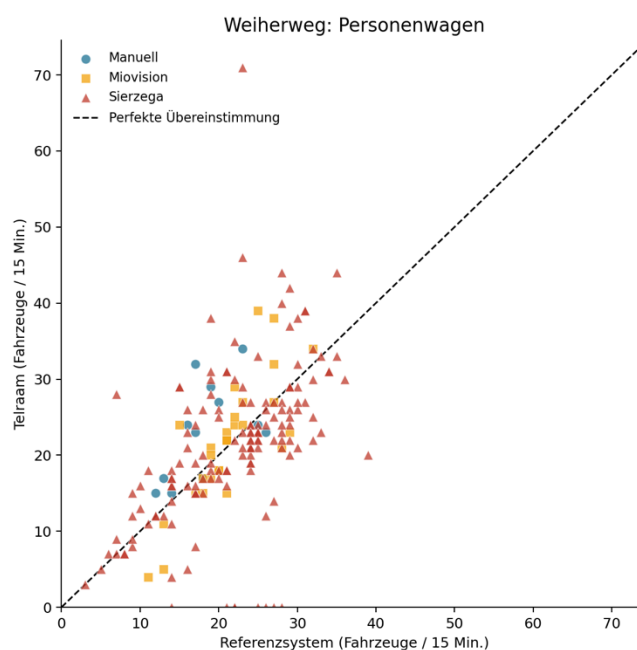
Grösse	Ø Telraam	Ø Miovision	Unterschied zu Miovision		
			Rel.	Abs.	
Velo	14.54	24.32	-40.3%	-9.79	45.4%
Personenwagen	21.79	21.18	+0.5%	+0.61	20.4%
Schwerverkehr	4.43	2.96	+58.6%	+1.46	74.1%
Multimodal gesamt	40.75	48.46	-17.1%	-7.71	19.6%

Tabelle 2c: Telraam vs. manuelle Kontrollzählung (n=12)

Grösse	Ø Telraam	Ø Manuell	Unterschied zu manuell	
			Rel.	Abs.
Velo	11.83	22.83	-44.0%	-11.00
Personenwagen	23.33	18.33	+29.2%	+5.00
Schwerverkehr	4.58	3.58	+27.9%	+1.00
Multimodal ge-samt	39.75	44.75	-8.4%	-5.00

Das Bild ist über die drei Referenzsysteme hinweg nicht einheitlich: gegenüber Sierzega liegt Telraam bei allen Kategorien nahe an der Referenz, gegenüber Miovision und der manuellen Zählung fällt dagegen eine deutliche Unterschätzung bei Velo (-40 % bzw. -44 %) auf sowie bei Schwerverkehr überschätzt Telraam gegenüber Miovision deutlich (+59 %), gegenüber der manuellen Zählung dagegen nur noch moderat (+28 %). MAPE liegt durchgehend über der mittleren relativen Abweichung, da einzelne Intervalle mit kleinen Referenzwerten überproportional grosse prozentuale Fehler erzeugen.

Die folgende Grafik veranschaulicht dies für Personenwagen (Scatterplot):

**Abbildung A: Personenwagen, Telraam vs. alle drei Referenzsysteme, Weiherweg.**

Der folgende Boxplot fasst die Streuung der relativen Abweichung je Kategorie zusammen (Box = mittlere 50% der Werte, Strich in der Box = Median, Antennen = Wertebereich ohne Ausreisser, einzelne Punkte = Ausreisser, blaue Raute = Mittelwert). Er ergänzt Tabelle 2a um die Information, wie breit die Fehler innerhalb jeder Kategorie streuen, nicht nur wie gross sie im Mittel sind.

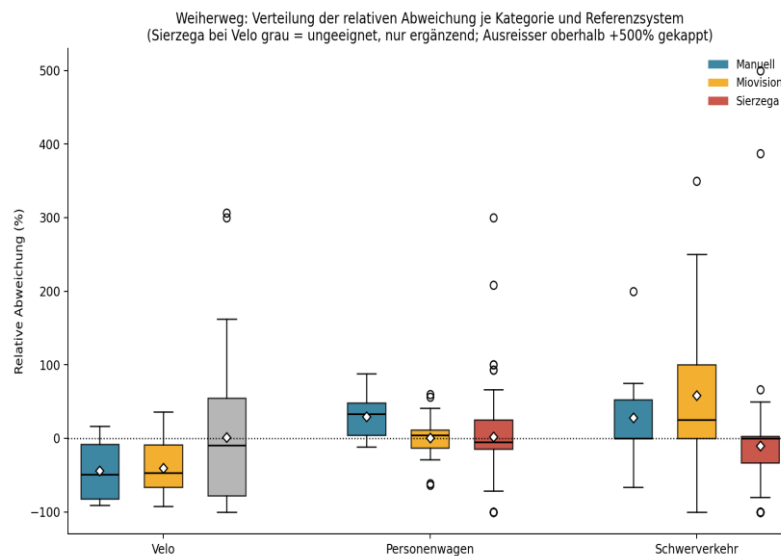


Abbildung 1: Verteilung der relativen Abweichung je Kategorie und Referenzsystem, Weiherweg.

Über alle drei Referenzsysteme hinweg zeigt sich ein konsistentes Muster: Gegenüber Manuell und Miovision streuen alle Kategorien vergleichsweise eng um die Nulllinie. Gegenüber Sierzega fällt vor allem Velo aus diesem Muster heraus (grau markiert, da Sierzega hierfür ungeeignet ist) - bei Personenwagen und Schwerverkehr bleibt Sierzega dagegen eine brauchbare Vergleichsgrösse.

Detaillierte Zusammenhangs- und Bland-Altman-Analysen für Weiherweg siehe A.5 im Anhang.

5.1.4 GEH-Wert

Der GEH-Wert gewichtet die Differenz zwischen Telraam- und Referenzwert im Verhältnis zur Grösse des Verkehrsaufkommens:

$$\text{GEH} = \sqrt{\frac{2(M - C)^2}{M + C}}$$

Nach gängiger verkehrstechnischer Praxis gilt $\text{GEH} < 5$ als sehr gute, 5–10 als akzeptable und > 10 als kritische Übereinstimmung.

Tabelle 5: GEH-Werte (Mittelwert), Telraam vs. alle Referenzsysteme

Grösse	GEH (Sierzega)	GEH (Miovision)	GEH (Manuell)
Velo	2.28	2.66	2.93
Personenwagen	1.05	0.91	1.24
Schwerverkehr	0.64	0.95	0.68
Multimodal gesamt	1.33	1.41	1.12

Interessanterweise liegen alle GEH-Werte über alle drei Referenzsysteme hinweg im Bereich "sehr gute Übereinstimmung" ($GEH < 5$) – selbst dort, wo die relative Abweichung und MAPE (5.3) ein deutlich kritischeres Bild zeichnen (z. B. Velo gegenüber Miovision/Manuell mit -40 % bzw. -44 % Abweichung). Das zeigt, dass der GEH-Wert bei den hier vorliegenden, eher kleinen absoluten Verkehrsmengen wenig trennscharf ist und im Bericht nicht isoliert, sondern nur zusammen mit MAE/MAPE/Bland-Altman interpretiert werden sollte.

5.1.5 SQV (Scalable Quality Value)

Der SQV ergänzt GEH um eine Normierung auf eine Skala von 0 bis 1, wodurch Standorte unterschiedlicher Verkehrsstärke vergleichbar werden:

$$SQV = \frac{1}{1 + \sqrt{(M - C)^2 / (f \cdot C)}}$$

Dabei ist f ein Skalierungsfaktor, der nach Friedrich et al. (2019) der Grössenordnung der typischen Werte der jeweiligen Kennzahl entsprechen soll. Für die 15-Minuten-Intervallwerte dieser Arbeit (meist im Bereich 10-50 Fahrzeuge) wird $f=10$ verwendet. Ein SQV nahe 1 zeigt sehr gute, ein Wert nahe 0 schwache Übereinstimmung an. Für diese Arbeit wurde eine eigene, nicht normierte Einteilung verwendet: gut ≥ 0.75 , mittel 0.5–0.75, schwach < 0.5 .

Tabelle 6: SQV-Werte und Einstufung, Telraam vs. alle Referenzsysteme

Grösse	SQV (Sierzega)	SQV (Miovision)	SQV (Manuell)
Velo	0.62 (mittel)	0.64 (mittel)	0.63 (mittel)
Personenwagen	0.76 (gut)	0.80 (gut)	0.73 (mittel)

Grösse	SQV (Sierzega)	SQV (Miovision)	SQV (Manuell)
Schwerverkehr	0.84 (gut)	0.79 (gut)	0.84 (gut)
Multimodal gesamt	0.73 (mittel)	0.74 (mittel)	0.76 (gut)
Fussgänger	-	-	0.51 (mittel)

Gegenüber Manuell und Miovision, den beiden Referenzen ohne bekannte eigene Velo-Schwäche, erreicht Velo durchgehend "mittel" (0.63 bzw. 0.64). Gegenüber Sierzega liegt der Wert mit 0.62 nahezu gleichauf. Anders als bei den anderen beiden Standorten unterscheidet sich die Einstufung am Weiherweg über alle drei Referenzsysteme kaum, ein Hinweis darauf, dass Sierzegas Velo-Schwäche hier weniger stark ausgeprägt ist als an der Feldbergstrasse oder in St. Alban.

5.1.6 Klassifikationsgenauigkeit

Eine echte Konfusionsmatrix (mit Precision, Recall und F1-Score je Fahrzeugklasse) würde fahrzeugweise gepaarte Klassifikationsdaten erfordern. Für jedes einzelne Fahrzeug müsste sowohl die wahre Klasse als auch die von Telraam vergebene Klasse bekannt sein. Mit den vorliegenden aggregierten 15-Minuten-Kategorietotalen aus unabhängigen Sensoren lässt sich das nicht berechnen: ein beobachteter Fehler in der Summe kann ebenso gut eine Verschiebung zwischen Kategorien wie ein reiner Zählfehler sein. Anstelle einer Konfusionsmatrix werden im Folgenden die drei in 5.1.1 genannten Klassierungs-Eigenheiten der Reihe nach durchgespielt, um zu prüfen, wie viel der beobachteten Kategorien-Abweichungen sich dadurch erklären lässt.

Sierzega-Kategorie "Motorrad" vs. Telraam "Bike"

Sierzegas Kat. 1 heisst herstellerseitig "Motorrad", fasst aber technisch bedingt sowohl Velo als auch Mofa/Roller/Motorrad zusammen: Da Sierzega ausschliesslich über die Fahrzeuglänge klassifiziert, kann es ein normales Velo von einem Mofa nicht unterscheiden – beide sind sich physisch zu ähnlich. Der korrekte Vergleichsmassstab für Sierzega ist daher "Velo + Mofa" zusammen, nicht Velo allein. Gegenüber dieser kombinierten Referenz (Tabelle 7, Zeile "Velo, Rel. Abw. (Sierzega)", Spalte "Mofa -> Velo") liegt Sierzega bei -48% - die Vergleichswerte in Tabelle 2a (Velo ohne Mofa) unterschätzen die tatsächliche Übereinstimmung von Sierzega daher tendenziell. Bei Telraam bleibt dagegen offen, ob die Kamera Mofa/Roller/Motorrad eher wie Velo oder wie Auto klassifiziert (vgl. 5.8.2).

Mofa-Zuordnung

Wie in 5.1.8 begründet, ist die Zuordnungsfrage für Sierzega im Grunde bereits geklärt ("Mofa -> Velo" ist der inhaltlich korrekte Vergleich). Offen bleibt sie für Telraam, das Mofa/Roller/Motorrad visuell über die Kamera erfassen müsste, ohne dass bekannt ist, ob es sie eher wie Velo oder wie Auto behandelt. Der folgende Test prüft daher primär Telraams Verhalten, indem die manuelle Referenz probeweise beide Male umgruppiert wird; die Sierzega-Werte sind zum Vergleich mit aufgeführt:

Tabelle 7: Telraam vs. manuelle Zählung, je nach Mofa-Zuordnung (n=12)

Kategorie	Mofa -> Velo		Mofa -> Auto	
	Rel.	Abs.	Rel.	Abs.
Velo (Telraam)	-52.1%	-15.00	-44%	-11.00
Personenwagen (Telraam)	+29.2%	+5.00	+5.7%	+1.00
Velo (Sierzega)	-46.6%	-12.92	-36.8%	-8.92
Personenwagen (Sierzega)	+34.2%	+5.67	+10.1%	+1.67

Die Tabelle bestätigt den erwarteten Unterschied zwischen den Systemen: Sierzegas eigene Messung bleibt in beiden Varianten unverändert (288 Fahrzeuge) - nur die Referenzzahl selbst ändert sich (220 vs. 268, je nachdem wo Mofa hinzugerechnet wird), wodurch sich die Abweichung von +31% auf +7% verschiebt, einfach weil die Vergleichsbasis näher an Sierzegas fixem Messwert liegt. Bei Telraam verändert sich die Personenwagen-Abweichung ähnlich stark (+27% auf +4%), aber aus einem anderen möglichen Grund: hier könnte Telraam Mofas tatsächlich eher, wie Personenwagen klassifizieren. Am Standort Weiherweg passt "Mofa -> Personenwagen" für Telraam insgesamt etwas besser. An den beiden anderen Teststandorten kehrt sich dieses Bild jedoch teilweise um (Feldbergstrasse spricht für "Mofa -> Personenwagen", St. Alban Vorstadt für "Mofa -> Velo") - es gibt also keine über alle Standorte einheitlich beste Zuordnung für Telraam. Das deutet darauf hin, dass Telraam Mofas vermutlich uneinheitlich behandelt, je nach Bauart des einzelnen Fahrzeugs (klassisches Mofa vs. E-Bike mit Lieferrucksack, der den Querschnitt vergrößert und damit möglicherweise sogar, wie ein PKW wirken könnte).

Schwerverkehr-Definition

Nach Korrektur eines Zählfehlers bei der manuellen Referenzzählung (ursprünglich waren im Feld zu wenige Lastwagen/Busse erfasst worden) liegt die Schwerverkehr-Abweichung gegenüber der manuellen Zählung nur noch bei +28 % (Tabelle 2c) und damit in ähnlicher Grössenordnung wie bei Personenwagen. Gegenüber Sierzega bleibt Telraam bei Schwerverkehr ohnehin sehr nahe an der Referenz (-4.8 %, Tabelle 2a). Die verbleibende, deutlich grössere Differenz zu Miovision (+58.6 %, Tabelle 2b) ist damit die eigentlich erklärungsbedürftige Abweichung: Da Telraam und Sierzega beide über eine feste Längenschwelle klassifizieren, während Miovision und die manuelle Zählung auf demselben Videomaterial nach Augenmass entscheiden, könnte eine abweichende Grenzziehung (z. B. grosse Lieferwagen oder Kleinbusse an der Kategoriegrenze) einen Teil dieser verbleibenden Differenz erklären. Eine Neuauszählung des Videomaterials mit einer expliziten, an die Systemschwellen angeglichenen Längengrenze wäre nötig, um diesen Anteil vom tatsächlichen Zählfehler zu trennen - das bleibt als Ansatzpunkt für eine Vertiefung offen.

Kategorienanteile (Sierzega)

Ergänzend wurde geprüft, ob sich die Anteile der Fahrzeugklassen an der multimodalen Summe zwischen Telraam und Sierzega verschieben:

Tabelle 7b: Kategorienanteile an der multimodalen Summe (nur Tagesstunden, vs. Sierzega)

Klasse	Ø Anteil Telraam	Ø Anteil Sierzega	Differenz (Prozentpunkte)
Velo	29.9%	31.5%	-1.7
Personenwagen	57.9%	56.1%	+1.5
Schwerverkehr	12.1%	12.5%	+0.3

Die Verschiebungen gegenüber Sierzega sind mit unter 2 Prozentpunkten klein - deutlich kleiner, als man nach den grossen Einzelkategorie-Abweichungen in Tabelle 2c erwarten würde. Das legt nahe, dass sich Über- und Unterzählungen zwischen den Klassen in der Summe teilweise kompensieren, was die in 5.8.1-5.8.3 diskutierten Definitionsfragen zusätzlich plausibel macht. Für eine abschliessende, fahrzeugweise Klärung wäre weiterhin eine neu konzipierte manuelle Zählung mit Einzelfahrzeug-Zuordnung nötig.

5.1.7 Geschwindigkeitsanalyse

V85 ist die Geschwindigkeit, die von 85% der Fahrzeuge nicht überschritten wird (85. Perzentil der Geschwindigkeitsverteilung) - eine in der Verkehrstechnik gebräuchliche Kenngrösse, robuster gegenüber einzelnen Ausreissern (z. B. sehr langsame oder sehr schnelle Einzelfahrzeuge) als der Mittelwert.

Tabelle 8: Geschwindigkeitsvergleich V85, Telraam vs. Sierzega (n=173)

Grösse	Ø Telraam	Ø Sierzega	Unterschied zu Sierzega		GEH (Ø)	SQV (Ø)
			Rel.	Abs.		
Speed V85 (km/h)	34.18	33.37	+2.3%	+0.39	0.70	0.641

Die Geschwindigkeitsschätzung von Telraam (indirekt über die Durchquerungszeit) stimmt mit +2.3 % deutlich besser mit der Referenz überein als jede der Verkehrsmengen-Kategorien und erreicht mit SQV 0.641 die höchste Einstufung der gesamten Auswertung. Ein Vergleich mit Miovision und der manuellen Zählung war nicht möglich, da beide Datenquellen keine Geschwindigkeitswerte liefern.

Geschwindigkeitsverteilung nach Klassen

Über den V85-Vergleich hinaus lohnt sich ein Blick auf die volle Geschwindigkeitsverteilung (Anteil Fahrzeuge je 10-km/h-Klasse). Sierzega zeigt eine für Verkehrsmessungen typische, einbuckelige Verteilung mit klarem Peak bei 20–30 km/h (53.6 %). Telraam zeigt dagegen eine zweigipflige Verteilung: einen ungewöhnlich hohen Anteil bei 0–10 km/h (24.6 %) und einen zweiten, kleineren Peak bei 20–30 km/h (23.5 %), mit einem Einbruch bei 10–20 km/h dazwischen.

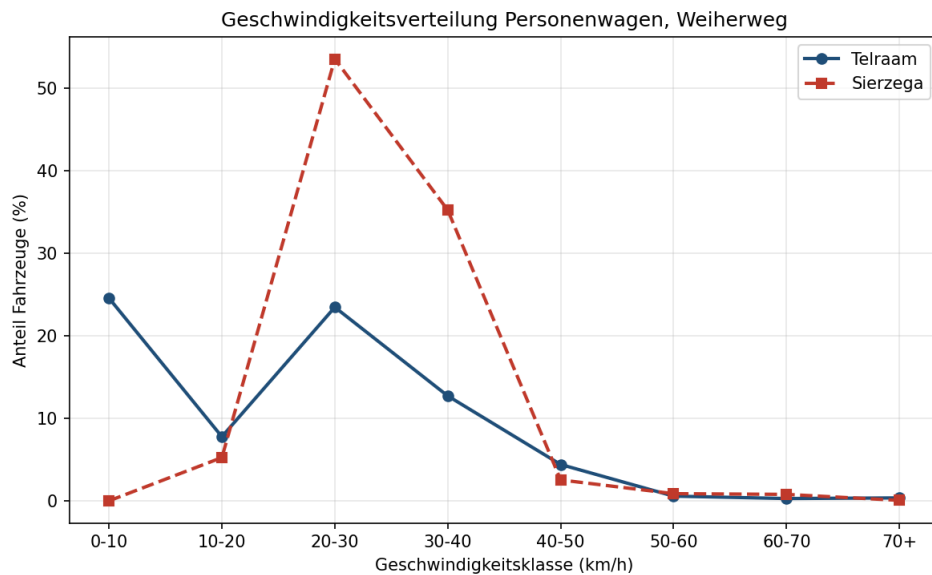


Abbildung 4: Geschwindigkeitsverteilung Personenwagen nach Klassen, Telraam vs. Sierzega.

Eine mögliche Erklärung für den auffälligen 0–10-km/h-Peak bei Telraam ist stehender oder kriechender Kolonnenverkehr (z. B. vor Lichtsignalanlagen), den die kamerabasierte, indirekte Geschwindigkeitsschätzung (über die Durchquerungszeit) systematisch anders erfasst als ein Radar. Dieser Befund bleibt vorerst eine Hypothese und wäre mit zusätzlichen Standortinformationen (Lage von Lichtsignalanlagen, Stauneigung) weiter zu prüfen.

5.1.8 Einflussfaktoren

Tageszeit

Telraam klassifiziert nachts nicht mehr nach Fahrzeugtyp, sondern erfasst alle Objekte in der Sammelkategorie "Night Total". Ein reiner Kategorien-Vergleich würde dadurch nachts ein grosses, aber irreführendes Zählproblem suggerieren. Für den Tageszeit-Vergleich wird daher die korrigierte Telraam-Gesamtzahl (Bike + Car + large vehicle + Night Total) verwendet. Der reine Tag/Nacht-Unterteilung wird zusätzlich um eine Dämmerungsphase verfeinert - sowohl abends als auch morgens -, definiert über die bürgerliche Dämmerung (Quelle: timeanddate.de, Sonnen- und Dämmerungszeiten Basel):

Tabelle 9: Tag / Dämmerung (Abend) / Nacht / Dämmerung (Morgen), Gesamtvolumen inkl. Night Total

Phase	n	Ø Telraam	Ø Sierzega	Unterschied zu Sierzega		MAE
				Rel.	Abs.	
Tag	140	40.04	38.91	+2.9%	+1.14	8.24
Dämmerung (Abend)	2	20.00	18.00	+11.1%	+2.00	2.00
Nacht	29	8.03	9.69	-17.1%	-1.66	3.38
Dämmerung (Morgen)	2	5.00	5.50	-9.1%	-0.50	2.50

Die Dämmerungsbetrachtung gilt für morgens und abends gleichermaßen. Beide Übergangsphasen zeigen ein ähnliches Bild wie die Nacht (leichte Unterschätzung, -9 % bis -17 %), aber deutlich schwächer ausgeprägt als man bei einem abrupten Umschalten erwarten würde. Wichtige Einschränkung: die Dämmerungsfenster umfassen bei 15-Minuten-Auflösung über drei Tage nur n=2 Intervalle je Phase - die Prozentwerte sind erste Anhaltspunkte, nicht statistisch abgesichert, und sollten an den kommenden Standorten mit längeren Messperioden erneut geprüft werden. Insgesamt liegt Telraam in allen vier Phasen innerhalb weniger Fahrzeuge pro Intervall an der Referenz- Es zeigt sich kein nächtliches Erkennungsproblem. Telraam zählt auch nachts und in der Dämmerung weiterhin zuverlässig, kann die erfassten Fahrzeuge ab der Dämmerung aber nicht mehr nach Typ klassifizieren.

Verkehrsmenge

Zwei ergänzende Betrachtungen prüfen, ob Telraam bei wenig oder bei viel Verkehr besser zählt: eine kontinuierliche Regression sowie ein direkter Gruppenvergleich (Terzile: gering / mittel / hoch, je nach Referenz-Verkehrsmenge des Intervalls).

Eine lineare Regression des absoluten Fehlers (korrigierte Gesamtzahl) gegen die Referenz-Verkehrsmenge ergibt einen schwachen, aber statistisch signifikanten Zusammenhang (Steigung = 0.0995, $r^2 = 0.023$, $p = 0.047$). Der Effekt ist mit einem erklärten Varianzanteil von 2.3 % jedoch sehr klein.

Tabelle 9b: Fehler nach Verkehrsmenge-Terzil (Gesamtvolumen inkl. Night Total)

Verkehrs- menge	n	Bereich (Re- ferenz)	Ø Referenz	Unterschied zu Referenz		MAE
				Rel.	Abs.	
gering	61	1-27	14.44	+15.2%	+2.20	5.11
mittel	55	28-42	35.67	+2.8%	+0.98	7.13
hoch	57	43-68	51.44	-2.5%	-1.30	9.75

Der Gruppenvergleich zeigt ein klareres Bild als die Regression allein: MAE steigt mit der Verkehrsmenge (5.1 → 7.1 → 9.8), was bei grösseren absoluten Zahlen zu erwarten ist. Der relative Bias dreht dabei von +15.2 % bei geringem Verkehr auf -2.5 % bei hohem Verkehr – bei wenig Verkehr überschätzt Telraam also tendenziell (relativ betrachtet stärker), bei viel Verkehr schätzt es leicht unter. In absoluten Werten bleibt der Bias jedoch in allen drei Gruppen klein (zwischen -1.3 und +2.2 Fahrzeugen je Intervall) – Telraam zählt damit bei keiner Verkehrsstärke systematisch schlecht, die Unterschiede zwischen den Gruppen sind eher graduell als dramatisch.

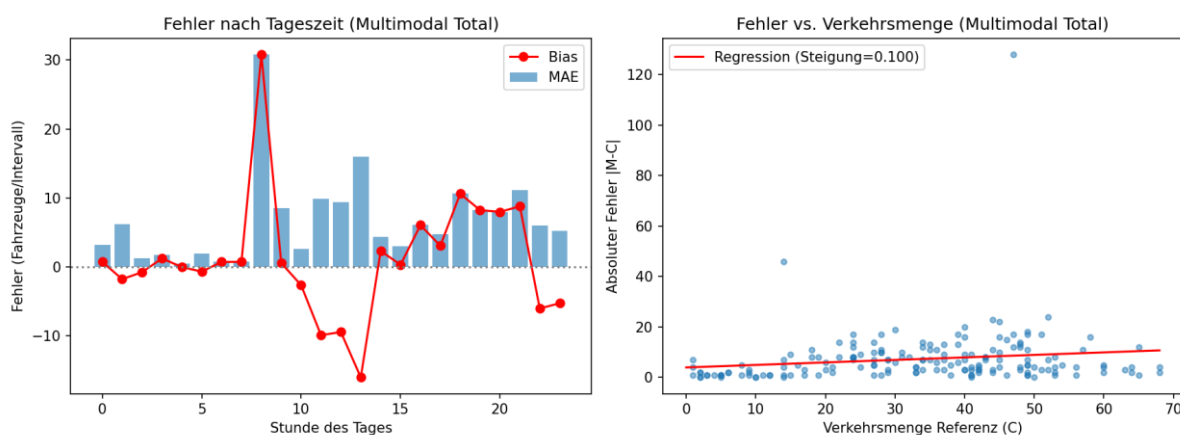


Abbildung 5: Fehler nach Tageszeit (links) und Fehler vs. Verkehrsmenge (rechts), Gesamtvolumen inkl. Night Total.

Witterung

Aus dem Feldprotokoll ist aber bekannt, dass am 16.07. gegen Abend Schauer und Gewitter einsetzten. Zeitlich passend dazu klassifizierte Telraam am 16.07. zwischen ca. 18:00 und 18:45 Uhr Fahrzeuge fälschlicherweise der Kategorie "Night" zu, obwohl noch Tageslicht herrschte. Ein Hinweis auf eine mögliche regenbedingte Fehlklassifikation. Mit einem einzigen beobachteten Fall ist dies jedoch nicht statistisch verallgemeinerbar.

Licht

Die Tag/Nacht-Grenze in 5.10.1 basiert auf den exakten Sonnenauf-/untergangszeiten für Basel am 16.–18.07.2026 (Quelle: timeanddate.de), nicht auf einer groben Stundenschätzung.

Hochrechnung auf das Winterhalbjahr

Telraam schaltet gemäss Herstellerangabe in den Nachtmodus, sobald die Bildhelligkeit für eine sichere Klassifikation nicht mehr ausreicht (vgl. 5.10.1). Ein Abgleich mit den bürgerlichen Dämmerungszeiten (Quelle: timeanddate.de) zeigt, dass dieser Umschaltpunkt an allen drei Messtagen sehr genau mit dem Ende bzw. Beginn der bürgerlichen Dämmerung (der Zeitpunkt, ab wann es zu Eindunkeln beginnt) übereinstimmt (z. B. 17.07.: Dämmerungsende 21:59 Uhr, Telraam vollständig im Nachtmodus ab 22:00 Uhr). Der Effekt ist damit direkt lichtgesteuert und lässt sich über die Dämmerungszeiten auch für andere Jahreszeiten abschätzen.

Während der Julimessung dauerte die bürgerliche Dämmerung von ca. 05:10 bis 22:00 Uhr; der Nachtmodus umfasste damit nur rund 7 Stunden pro Tag, in die gemäss dem gemessenen Sierzega-Verkehrsmuster nur rund 10.9 % des Tagesverkehrs fallen. Am Wintersonnenwende-Tag (21.12.) beginnt die bürgerliche Dämmerung laut timeanddate.de dagegen erst um 07:38 Uhr und endet bereits um 17:16 Uhr – der Nachtmodus würde sich auf rund 14 Stunden 22 Minuten verdoppeln, was bei unverändertem Tagesverkehrsmuster einem Anteil von rund 42.1 % des Tagesverkehrs entspräche.

5.1.9 Richtungsabhängigkeit

Telraam und Sierzega waren gemäss Feldbericht auf gegenüberliegenden Strassenseiten montiert. Laut Telraam-Dokumentation entspricht A→B der Richtung, in der das Segment in der Telraam-Kartenansicht definiert ist (hier: West-Ost); ein Abgleich mit der bekannten Fahrtrichtung vor Ort bestätigt zusätzlich, dass Sierzegas "+" ebenfalls West-Ost bedeutet. Telraam A→B und Sierzega "+" beziehen sich damit auf dieselbe reale Richtung (West-Ost).

Fazit: Die Richtung spielt nachweisbar eine Rolle, aber keine praktisch bedeutsame. Der Effekt ist statistisch klar vorhanden, in der Grössenordnung für die Gesamtbewertung von Telraam an diesem Standort jedoch von untergeordneter Bedeutung. Er wird hier dennoch berichtet, weil sich ein methodisch sauberer Test (korrekte Richtungszuordnung, gepaarter statistischer Test) lohnt, um ihn von den anfangs vermuteten, viel grösseren Effekten (Verdeckung, Fehlkonfiguration) klar abzugrenzen.

Details zur Teststatistik siehe A.6 Weiherweg im Anhang.

5.1.10 Zusätzliche Validierungen

Fussgänger

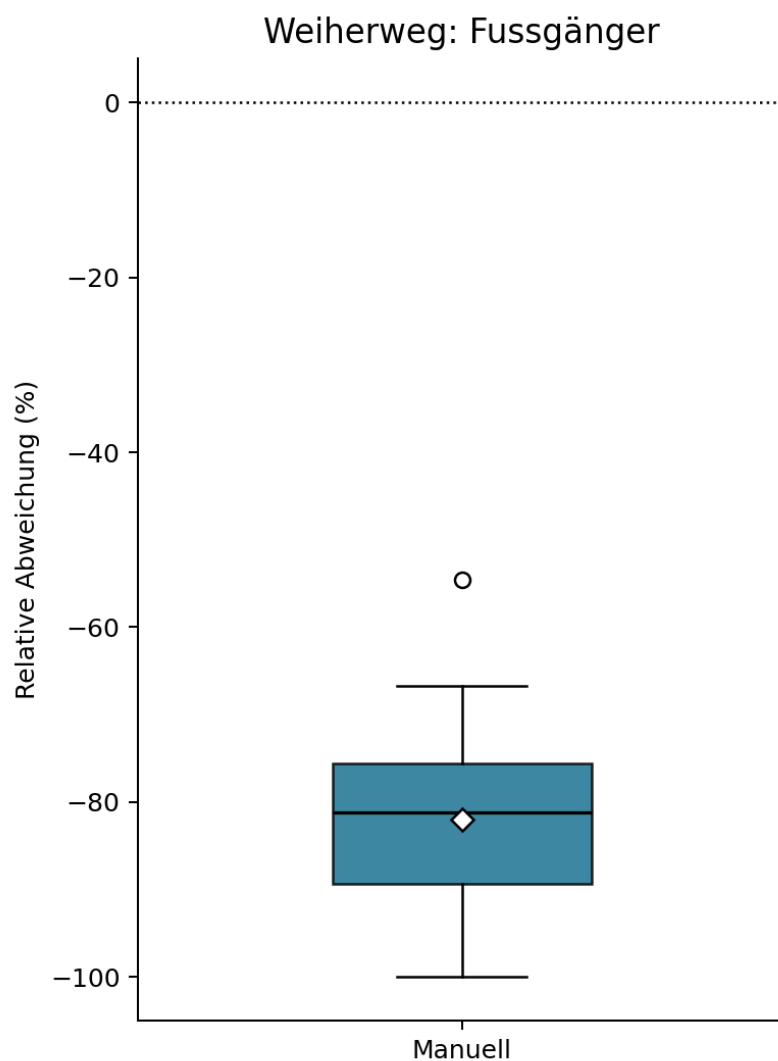


Abbildung C: Fussgänger, relative Abweichung gegenüber Manuell, Weiherweg.

Sierzega erfasst keine Fussgänge und Miovision wurde keine Auswertung angefordert, deswegen ist die einzige Referenz die manuelle Kontrollzählung (n=12, 17.07, drei Zeitfenster à 1 Stunde). Fussgänger werden damit weniger umfassend geprüft als die Fahrzeugkategorien (dort standen bis zu drei Referenzsysteme zur Verfügung), das sollte bei der Gewichtung dieses Befunds mitbedacht werden.

Tabelle 11a: Telraam vs. manuelle Kontrollzählung, Fussgänger (n=12)

Grösse	Ø Telraam	Ø Manuell	Unterschied zu manuell		MAPE	MAE	RMSE	GEH	SQV
			Rel.	Abs.					
Fussgänger	2.50	14.50	-82%	-12.00	82.0%	12.00	12.54	4.11	0.51(mittel)

Telraam erfasst im Mittel nur rund ein Sechstel der tatsächlich gezählten Fussgänger. Der grösste relative Fehler der gesamten Auswertung. Bemerkenswert: der GEH-Wert liegt trotzdem noch knapp unter der Schwelle 5 ("sehr gute Übereinstimmung"), ein weiteres Beispiel dafür, dass GEH bei kleinen absoluten Werten wenig trennscharf ist und hier ein irreführend mildes Bild zeichnet. Auch der SQV (0.51, "mittel") fällt deutlich moderater aus, als es die relative Abweichung (-82.8 %) vermuten liesse. Ein Hinweis darauf, dass sich SQV bei sehr kleinen Referenzwerten (hier Ø 14.50 Fussgänger) allgemein nachsichtiger verhält als prozentuale Kennzahlen.

Die folgende Abbildung zeigt denselben Diagrammtyp (Scatterplot links, Bland-Altman rechts, Lesehinweis siehe oben) für die Fussgänger-Validierung:

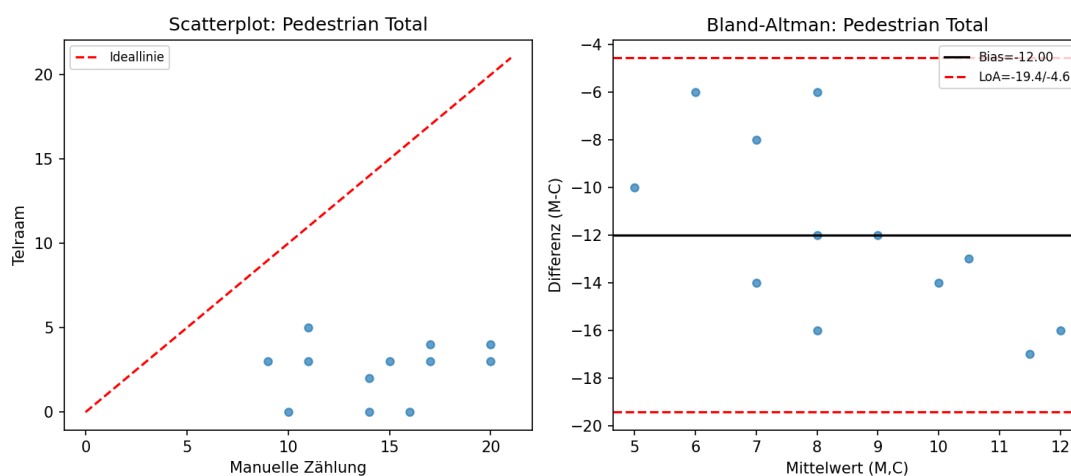


Abbildung 7: Fussgänger – Scatterplot (links) und Bland-Altman-Plot (rechts), Telraam vs. manuelle Kontrollzählung (n=12).

Im Scatterplot liegen praktisch alle Punkte deutlich unterhalb der Diagonale (Telraam misst durchgehend weniger als die manuelle Zählung), im Bland-Altman-Plot entsprechend eine Punktwolke komplett im negativen Bereich, ohne Überschneidung mit der Nulllinie - visuelle Bestätigung, dass es sich um eine durchgehende, nicht nur im Mittel bestehende Unterschätzung handelt (vgl. Tabelle 11a).

Tabelle 11b: Fussgänger nach Zeitfenster

Zeitfenster	Ø Manuell	Ø Telraam	Unterschied zu manuell	
			Rel.	Abs.
Mittlerer Verkehr (12-13 Uhr)	13.5	0.5	-96%	-13.00
Spitzenzeit (17-18 Uhr)	17.25	3.25	-81%	-14.00
Randzeiten (20-21 Uhr)	12.75	3.75	-71%	-9.00

Die Unterschätzung ist in allen drei Fenstern gross, aber nicht konstant: am stärksten um die Mittagszeit (-96 %), etwas schwächer gegen Abend (-71 %). Eine mögliche Erklärung ist der Sonnenstand: um die Mittagszeit steht die Sonne am höchsten, was zu kurzen, hochkontrastigen Schatten und ggf. Überbelichtung führen kann, beides kann die kamerabasierte Personenerkennung erschweren. Diese Erklärung bleibt aber eine Hypothese; mit n=4 Intervallen je Fenster ist die Stichprobe zu klein, um das statistisch zu erhärten.

Zwei methodische Einschränkungen relativieren den Befund zusätzlich: Erstens ist die Stichprobe mit n=12 generell klein. Zweitens ordnet die manuelle Zählung Trottinette der Kategorie "Pedestrian" zu (siehe Hinweise-Blatt der manuellen Zählung); falls Telraam Trottinette stattdessen als Bike klassifiziert oder gar nicht separat erfasst, wäre ein Teil der Abweichung ein Definitions- statt ein reines Zählproblem.

Der Befund ist jedoch nicht auf Weiherweg beschränkt: An Feldbergstrasse liegt die Unterschätzung je nach Zeitfenster zwischen -49 % und -66 %, an St. Alban Vorstadt zwischen -36 % und -74 % (jeweils Telraam vs. manuelle Zählung). Die Konsistenz einer grossen, wenn auch unterschiedlich starken

Unterschätzung über drei unabhängige Standorte hinweg spricht dafür, dass die Fussgängererfassung ein generelles, nicht nur lokaler Schwachpunkt von Telraam ist.

Vier-Wege-Vergleich mit der manuellen Zählung

Für die 12 Intervalle, die zusätzlich von Hand ausgezählt wurden, lässt sich prüfen, wie gut nicht nur Telraam, sondern auch alle drei Referenzsysteme selbst mit einem menschlichen Goldstandard übereinstimmen. Miovisions Videomaterial deckt genau dieselben 12 Zeitpunkte ab, ein direkter Vergleich ist daher ohne Zeitfenster-Anpassung möglich.

Volltabelle siehe A.7 im Anhang.

Auffällig: Miovision trifft die manuelle Zählung bei Velo praktisch exakt (+0%) und liegt bei Personenwagen (+20%) etwas näher an der manuellen Referenz als Telraam (+27%) oder Sierzega (+31%). Bei Schwerverkehr dagegen weichen alle drei Systeme ähnlich stark von der manuellen Zählung ab (Telraam +28%, Sierzega +26%, Miovision -28%). Miovision unterschätzt hier, statt zu überschätzen, liegt betragsmässig, aber nicht näher an der Referenz als die beiden anderen Systeme. Das ist bei Velo/Personenwagen plausibel, da die manuelle Zählung selbst aus Miovisions Videomaterial erstellt wurde (vgl. 5.14.3), die beiden sind also nicht vollständig unabhängig, was die höhere Übereinstimmung dort teils erklärt. Bei Fussgänger erfassen weder Sierzega noch Miovision überhaupt (0), einzig Telraam registriert einen (wenn auch stark untererfassten) Wert.

Volltabelle siehe A.8 im Anhang.

In der Gesamtsumme (Multimodal Total) gleichen sich Über- und Unterschätzungen zwischen den Kategorien bei allen drei Systemen teilweise aus, wodurch alle drei rechnerisch in dieselbe "mittel"-Kategorie fallen - das Kategorien-Detail in Tabelle 12a zeigt aber, dass Miovision den einzelnen Fahrzeugarten tatsächlich am nächsten kommt. Das relativiert insgesamt die Vorstellung, Sierzega und Miovision seien ein unfehlbarer Goldstandard: es handelt sich um drei unterschiedlich fehlerbehaftete Messsysteme, wobei Miovision hier am ehesten der menschlichen Referenz entspricht, am ehesten deshalb, weil die manuelle Zählung selbst darauf basiert.

Miovision-Selbstkontrolle

Da die manuelle Zählung auf demselben Videomaterial wie Miovision beruht, lässt sich Miovisions automatische Klassifikation direkt gegen die menschliche Auszählung prüfen (n=12): Velo stimmt sehr gut überein (Bias 0.00, +1.1 %), Schwerverkehr wird dagegen leicht unterschätzt (Bias -1.00, -27.9 %) und Personenwagen mit Bias +3.58 (+23.1 %) deutlich überschätzt. Miovision selbst ist damit nicht fehlerfrei – ein wichtiger Kontext für die Bewertung der Telraam-Abweichungen gegenüber Miovision in 5.4.

5.1.11 Zusammenfassung und Einschränkungen

Insgesamt zeigt Telraam gegenüber Sierzega eine hohe Übereinstimmung (Rel. Abweichung +6 bis +8 % bei Personenwagen und Schwerverkehr, SQV 0.76-0.84). Gegenüber Miovision und der manuellen Zählung fällt dagegen ein weniger einheitliches Muster auf: Velo wird systematisch unterschätzt (-40 % bzw. -44 %). Schwerverkehr gegenüber Miovision deutlich überschätzt (+59 %) und gegenüber der manuellen Zählung dagegen nur noch moderat (+28 %). Die Ursachenanalyse deutet darauf hin, dass dafür in erster Linie Fahrzeugklassifikation (5.8: Sierzegas längenbasierte "Motorrad"-Kategorie, uneinheitliche Mofa-Behandlung, abweichende Schwerverkehr-Definition gegenüber Miovision) sowie, in geringerem Masse, Lichtbedingungen verantwortlich sind. Tageszeit (nach Korrektur um die Night-Total-Kategorie) und Richtung erwiesen sich dagegen als Einflussfaktoren von untergeordneter Bedeutung. Fussgänger werden an allen drei Standorten deutlich unterschätzt (-71 bis -96 %) und stellen den grössten durchgängigen Schwachpunkt der gesamten Auswertung dar. Mögliche Gründe für die durchgängige Fussgängerunterschätzung ist in erster Linie sicher der Standort des Telraamgerätes, bei welcher ein Teil des nähergelegenen Trottoir wohl weniger gut aufgezeichnet wurde und der Gehsteig auf der anderen Seite ist hinter parkierten Autos, was wiederum zu einer Verdeckung der Fussgänger führen könnte. Weiter sind auch die bereits im Literaturteil angesprochenen Fehler Gründe für die Unterschätzung, wie kleiner Objekte werden schlechter erfasst, Gruppen könnten anders erfasst werden und so weiter.

Die wichtigste methodische Einschränkung betrifft die Sierzega-Vergleiche auf 15-Minuten-Basis: Da Telraam nativ nur Stundenwerte liefert, wurde die Verteilung innerhalb jeder Stunde (wo verfügbar) anhand des tatsächlichen Sierzega-Musters derselben Stunde rekonstruiert (vgl. 5.1). Dadurch sind Pearson-Korrelation, GEH, SQV und Bland-Altman gegenüber Sierzega auf 15-Minuten-Basis nicht vollständig unabhängig: ein Teil ihrer zeitlichen Übereinstimmung ist technisch vorgegeben, nicht eigenständig gemessen. Die entsprechenden Kennwerte (Tabellen 2a, 3, 4a, 5, 6) sind daher mit Vorsicht zu interpretieren und dürften die tatsächliche Übereinstimmung mit Sierzega eher überschätzen. Die Vergleiche gegenüber Miovision und der manuellen Zählung sind von dieser Einschränkung nicht betroffen, da beide unabhängig von Sierzegas Muster erhoben wurden - weshalb ihnen bei widersprüchlichen Befunden (z. B. Velo, Schwerverkehr) im Zweifel mehr Gewicht zukommen sollte als den Sierzega-Werten.

5.2 Datenauswertung und Validierung – Feldbergstrasse

Standort Feldbergstrasse (Hauptverkehrsstrasse), Basel

Messperiode 20.–22.07.2026. Referenzsysteme: Sierzega SR7 (Seitenradar), eine manuelle Kontrollzählung (12 Intervalle) und Miovision Scout (Video, 24 Intervalle)

Eine städtische Induktionsschleifen-Zählstelle in der Nähe wird ebenfalls ausgewertet und als Referenz gebraucht.

5.2.1 Datenaufbereitung

Wie bei Weiherweg liefert Telraam nur Stundenwerte, die 15-Minuten-Werte wurden anhand des tatsächlichen Sierzega-Musters derselben Stunde rekonstruiert (59 von 70 Stunden mit echtem Muster, Rest mit Durchschnittsmuster).

Sierzega "+" bedeutet an diesem Standort West-Ost (bestätigt, konsistent mit Weiherweg). A>B in den Sensor-Format-Dateien entspricht daher überall West-Ost.

Klassierungslogik der Referenzsysteme

Für die Interpretation der Ergebnisse (5.2.3, 5.2.8) sind drei Fakten zur Datengrundlage wichtig, die unabhängig von den Messergebnissen selbst gelten: Sierzega klassifiziert ausschliesslich nach Fahrzeuglänge (Kat. 1 < 2 m, Kat. 2 = 2-6 m usw.). In der Sierzega-eigenen Auswertungsoberfläche heisst Kategorie 1 "Motorrad", nicht "Velo". In dieser Arbeit wird sie dennoch mit Telraams "Bike Total" verglichen, da sie der Fahrzeuglänge nach am ehesten dieser Kategorie entspricht (vgl. 5.8.1). Diese Zuordnung ist eine Näherung, keine exakte Übereinstimmung der Definition.

Die manuelle Kontrollzählung führt Mofa als eigene, sechste Kategorie neben Velo, PKW, Lastwagen, Bus und Fussgänger/Trottinette - weder Telraam noch Sierzega noch Miovision kennen diese Kategorie separat. Für Vergleiche muss Mofa daher händisch entweder Velo oder PKW zugeschlagen werden (vgl. 5.8.2).

Die Grenze zwischen "Personenwagen" und "Schwerverkehr" wurde bei der manuellen Zählung nach eigenem Ermessen vor Ort gezogen, während Telraam, Sierzega und Miovision jeweils eigene, feste Klassifikationslogiken verwenden. Es ist nicht sichergestellt, dass alle vier Systeme exakt dieselbe Grenze (z. B. Lieferwagen vs. Lastwagen) anwenden (vgl. 5.8.3).

5.2.2 Deskriptive Statistik

Die deskriptive Statistik (Mittelwert, Median, Standardabweichung, Minimum, Maximum) über die gesamte Messperiode (n=280) ist in Tabelle A.9 im Anhang aufgeführt.

Was man daraus ablesen kann: Es gibt eine deutlich höhere Verkehrsmengen als am Weiherweg (Hauptverkehrsstrasse vs. Verbindungsstrasse), erkennbar an den grösseren Mittelwerten und der weiten Spanne bis 457 Fahrzeuge/15 Min.

5.2.3 Vergleich der Verkehrsmengen

Telraam wird konsequent gegen alle drei verfügbaren Referenzsysteme verglichen: Sierzega SR7 (grössere Stichprobe, ganze Messperiode), die manuelle Kontrollzählung (12 Intervalle), Miovision Scout (24 Intervalle, nur Fahrzeuge) und als letztes die festinstallierte Messstelle der Stadt Basel am Brückenkopf der Johanniterbrücke.

Verwendete Kennzahlen (M = Telraam-Messwert, C = Referenzwert je Intervall):

- Bias: mittlere Differenz $M - C$. Positiv = Telraam überschätzt im Mittel, negativ = unterschätzt.
- Rel. Abweichung: Mittelwert der intervallweisen prozentualen Differenz $(M - C) / C \times 100$.

Tabelle 2a: Telraam vs. Sierzega SR7, nur Tagesstunden (n=169)

Grösse	Ø Telraam	Ø Sierzega	Unterschied zu Sierzega	
			Rel.	Abs.
Velo	78.38	33.30	+135.0%	+45.08
Personenwagen	144.07	156.30	-8.7%	-12.24
Schwerverkehr	38.54	44.25	-13.3%	-5.70
Multimodal ge-samt	260.99	233.85	+10.3%	+27.14

Tabelle 2b: Telraam vs. manuelle Kontrollzählung (n=12)

Grösse	Ø Telraam	Ø Manuell	Unterschied zu manuell	
			Rel.	Abs.
Velo	114.00	107.00	+2.6%	+7.00
Personenwagen	137.25	128.00	+8.4%	+9.25
Schwerverkehr	25.75	10.25	+150.4%	+15.50
Multimodal ge-samt	277.00	245.25	+11.1%	+31.75

Tabelle 2c : Telraam vs. Miovision Scout (n=24)

Grösse	Ø Telraam	Ø Miovision	Unterschied zu Miovision	
			Rel.	Abs.
Velo	99.33	95.58	-0.9%	+3.75
Personenwagen	139.79	131.67	+5.0%	+8.12
Schwerverkehr	29.79	5.79	+387.0%	+24.00
Multimodal ge-samt	268.92	233.04	+12.2%	+35.88

MAPE/MAE/RMSE-Werte zu den Tabellen 2a-2c siehe A.10-A.12 im Anhang.

Auffälligstes Muster: Velo wird gegenüber Sierzega massiv überschätzt (+135%), gegenüber der manuellen Zählung dagegen fast perfekt getroffen (+2.6%) und auch gegenüber Miovision sehr nah (-0.9%). Miovision-Daten liegen für diesen Standort allerdings nur für Fahrzeuge vor, nicht für Fussgänger. Das deutet stark darauf hin, dass hier primär Sierzega ein Problem hat. Einerseits hat Sierzega wohl ein allgemeines Problem mit der Erfassung der Velos sowie dass es diese auf der belebten Hauptstrasse schlechter erfasst,

vermutlich durch Verdeckung. Das deutet darauf hin, dass nicht Telraam das Problem ist. Personenwagen bestätigt Miovision ebenfalls die bereits gegenüber der manuellen Zählung gute Übereinstimmung (+5.0%). Schwerverkehr zeigt dagegen kein einheitliches Bild mehr: während Sierzega und Manuell beide eine Überschätzung zeigen (konsistent mit der bereits am Weiherweg diskutierten Klassifikationsfrage, 5.2.8), unterschätzt Miovision hier deutlich (-45%, Tabelle 12). Alle drei Systeme weichen also erheblich und in unterschiedliche Richtungen voneinander ab.

Die folgende Grafik veranschaulicht dies für Personenwagen (Scatterplot):

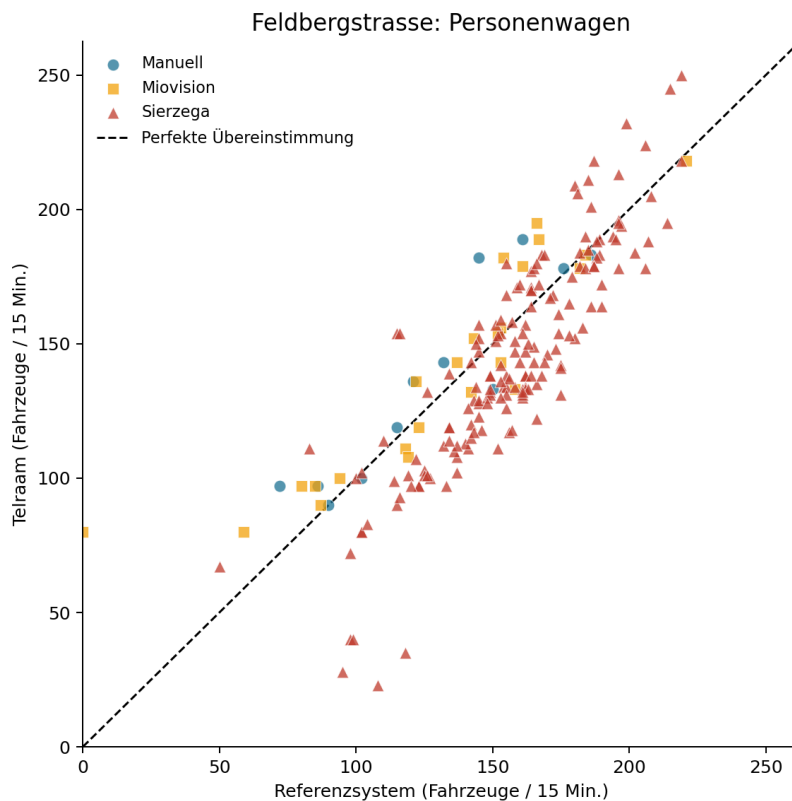


Abbildung A: Personenwagen, Telraam vs. alle drei Referenzsysteme, Feldbergstrasse.

Der folgende Boxplot fasst die Streuung der relativen Abweichung je Kategorie zusammen (Box = mittlere 50% der Werte, Strich = Median, Antennen = Wertebereich ohne Ausreisser, Raute = Mittelwert).

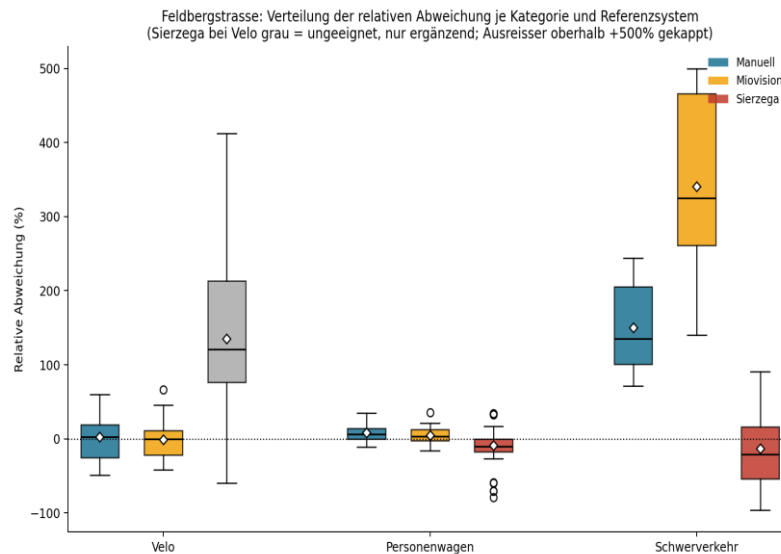


Abbildung 1: Verteilung der relativen Abweichung je Kategorie und Referenzsystem, Feldbergstrasse.

Sehr breite Verteilung bei Velo mit langem oberen Ausreisserbereich (passend zur grossen mittleren Abweichung von +135%), deutlich kompakter und symmetrischer um 0 bei Personenwagen - konsistent mit dessen wesentlich besserem SQV-Wert (5.7). Bei Schwerverkehr liegt der Median deutlich unter dem Mittelwert (Raute) - ein Hinweis darauf, dass einzelne Intervalle mit sehr kleinem Referenzwert den Durchschnitt nach oben ziehen, dasselbe Muster, das bereits die Differenz zwischen MAPE und Rel. Abweichung in Tabelle 2a erklärt.

Detaillierte Zusammenhangs- und Bland-Altman-Analysen für Feldbergstrasse siehe A.13 im Anhang.

5.2.4 GEH-Wert

Der GEH-Wert gewichtet die Differenz zwischen Telraam- und Referenzwert im Verhältnis zur Grösse des Verkehrsaufkommens:

$$\text{GEH} = \sqrt{\frac{2(M - C)^2}{M + C}}$$

Nach gängiger verkehrstechnischer Praxis gilt $\text{GEH} < 5$ als sehr gute, 5-10 als akzeptable und > 10 als kritische Übereinstimmung.

Tabelle 5: GEH-Werte (Mittelwert), Telraam vs. alle Referenzsysteme

Grösse	GEH (Sierzega)	GEH (Miovision)	GEH (Manuell)
Velo	5.65	2.31	2.55
Perso- nenwa- gen	1.69	1.49	1.13
Schwer- verkehr	3.04	5.31	3.50
Multimo- dal ge- samt	2.41	2.85	2.31

Velo gegenüber Sierzega überschreitet als einzige Grösse im ganzen bisherigen Projekt (Weiherweg + Feldbergstrasse) die GEH-Schwelle 5 ("akzeptabel" statt "sehr gut"), ein Hinweis darauf, dass der Fehler hier so gross ist, dass ihn sogar diese wenig trennscharfe Kennzahl anzeigt. Neu und bemerkenswert: Schwerverkehr überschreitet nun auch gegenüber Miovision die Schwelle 5 (5.31), ein drittes Referenzsystem, das bei dieser Kategorie eine grosse Abweichung anzeigt, wenn auch jeweils unterschiedlich stark ausgeprägt.

5.2.5 SQV (Scalable Quality Value)

Der SQV ergänzt GEH um eine Normierung auf eine Skala von 0 bis 1, wodurch Standorte unterschiedlicher Verkehrsstärke vergleichbar werden:

$$SQV = \frac{1}{1 + \sqrt{(M - C)^2 / (f \cdot C)}}$$

Dabei ist f ein Skalierungsfaktor (hier f=10, vgl. 5.1.7). Ein SQV nahe 1 zeigt sehr gute, ein Wert nahe 0 schwache Übereinstimmung an. Eigene Einteilung dieser Arbeit: gut ≥ 0.75 , mittel 0.5-0.75, schwach < 0.5 .

Tabelle 6: SQV-Werte und Einstufung, Telraam vs. alle Referenzsysteme

Grösse	SQV (Sierzega)	SQV (Miovision)	SQV (Manuell)
Velo	0.38 (schwach)	0.68 (mittel)	0.61 (mittel)
Perso- nenwa- gen	0.70 (mittel)	0.78 (gut)	0.77 (gut)
Schwer- verkehr	0.58 (mittel)	0.29 (schwach)	0.43 (schwach)
Multimo- dal ge- samt	0.63 (mittel)	0.63 (mittel)	0.62 (mittel)
Fussgän- ger	-	-	0.44 (schwach)

Insgesamt uneinheitliche SQV-Werte im Vergleich zum Weiherweg. Bei manchen Kategorien schwächer, bei anderen stärker, was zur insgesamt grösseren Verkehrsmenge und den grösseren absoluten Fehlern an dieser Hauptverkehrsstrasse passt. Personenwagen erreicht gegenüber Miovision und der manuellen Zählung "gut" (gegenüber Sierzega "mittel") und bleibt damit die robusteste Kategorie an diesem Standort. Schwerverkehr liegt gegenüber Sierzega bei "mittel", gegenüber Miovision und der manuellen Zählung dagegen bei "schwach", mit dem niedrigsten Wert gegenüber Miovision (0.290).

Ein ähnliches Bild zeigt die Velomessung, bei welcher Sierzega weit abfällt (Falschzählung) und Miovision sowie die Manuelle Zählung im Vergleich zu Telraam eher auch eher nur bei „mittel,, ist.

5.2.6 Klassifikationsgenauigkeit

Wie am Weiherweg (5.1.1, 5.1.8) diskutiert: Sierzega klassifiziert rein längenbasiert (Kat. 1 = "Motorrad"), die manuelle Zählung führt Mofa als eigene Kategorie. Miovision erfasst Mofas/Kleinkrafträder ebenfalls als eigene Klasse ("Krad"), muss für den Vergleich mit Telraam also genauso wie die manuelle Zählung zugeordnet werden

Velo/Motorrad und Sierzega

Die extreme Velo-Abweichung gegenüber Sierzega (+135%) bei gleichzeitig fast perfekter Übereinstimmung mit der manuellen Zählung (+2.6%) ist der klarste Beleg im ganzen Projekt dafür, dass Sierzega auf einer belebten Hauptstrasse Velos systematisch verliert, vermutlich durch Verdeckung im dichteren Verkehr, ergänzend zur Längenklassifikations-Unschärfe (5.8, Weiherweg). Miovision bestätigt dies unabhängig: Velo liegt dort bei -0.9% (Tabelle 2c), ebenfalls nahe an der manuellen Zählung und weit entfernt von Sierzegas +135%.

Mofa-Zuordnung

Tabelle 7: Telraam vs. manuelle Zählung, je nach Mofa-Zuordnung (n=12)

Kategorie	Mofa -> Velo		Mofa -> Auto	
	Rel.	Abs.	Rel.	Abs.
Velo (Telraam)	-19.2%	-20.17	+2.6%	+7.00
Personenwagen (Telraam)	+8.4%	+9.25	-10.9%	-17.92

Wie am Weiherweg gibt es keine über beide Kategorien einheitlich beste Zuordnung: gegenüber der manuellen Zählung passt "Mofa -> Auto" besser (Velo +2.6% statt -19.2%, Personenwagen -10.9% statt +8.4%). Gegenüber Miovision (das Mofas separat als "Krad" erfasst) zeigt sich dagegen das umgekehrte Bild: dort passt "Mofa -> Velo" leicht besser. Die beiden unabhängigen Referenzsysteme widersprechen sich hier, ein weiteres Indiz dafür, dass Telraams Mofa-Klassifikation nicht konsistent ist und vermutlich von der Bauform des einzelnen Fahrzeugs abhängt, nicht von einer allgemeingültigen Regel.

Schwerverkehr-Definition

Wie am Weiherweg dürfte auch hier eine abweichende Grenzziehung zwischen "Personenwagen" und "Schwerverkehr" bei der manuellen Zählung (Augenmass statt fester Längenschwelle) einen Teil der grossen Schwerverkehr-Abweichung (+150%) erklären. Miovision liefert hier ein drittes, abweichendes Bild: es unterschätzt Schwerverkehr deutlich (-44.7% gegenüber Manuell, Tabelle 12), während Telraam und Sierzega beide überschätzen - alle drei Systeme weichen also in unterschiedliche Richtungen voneinander ab, was eine einzelne, gemeinsame Erklärung (z.B. nur Grenzziehung bei der manuellen Zählung) zusätzlich unwahrscheinlich macht.

Kategorienanteile (Sierzega, Tagesstunden)

Tabelle 7b: Kategorienanteile an der multimodalen Summe

Klasse	Ø Anteil Telraam	Ø Anteil Sierzega	Differenz (Prozentpunkte)
Velo	29.2%	14.3%	+15.0
Personenwagen	55.8%	66.8%	-11.1
Schwerverkehr	15.0%	18.9%	-3.9

Anders als am Weiherweg (dort unter 2 Prozentpunkte) sind die Verschiebungen hier deutlich grösser (bis 15 Prozentpunkte bei Velo). Ein weiterer Beleg dafür, dass an diesem Standort tatsächlich eine substantielle Verschiebung zwischen den Kategorien stattfindet, nicht nur zufällige Streuung. Dieser Vergleich beschränkt sich auf Sierzega, da nur hier eine für Anteilsberechnungen ausreichend grosse Stichprobe (n=169 Tagesstunden) vorliegt. Ein ergänzender Vergleich gegenüber Manuell (n=12) und Miovision (n=24) zeigt allerdings ein differenzierteres Bild: Bei Velo ist die Verschiebung gegenüber Sierzega (+15.0pp) deutlich grösser als gegenüber Manuell/Miovision (-4.5 bis -5.0pp, mit umgekehrtem Vorzeichen). Ein weiterer Hinweis darauf, dass die grosse Sierzega-Verschiebung eher an Sierzegas eigener, bereits belegter Velo-Schwäche liegt, als an einer echten Kategorienverschiebung bei Telraam. Bei Schwerverkehr zeigt umgekehrt Miovision die grösste Verschiebung (+8.6pp).

5.2.7 Geschwindigkeitsanalyse

V85 ist die Geschwindigkeit, die von 85% der Fahrzeuge nicht überschritten wird (85. Perzentil der Geschwindigkeitsverteilung) - robuster gegenüber einzelnen Ausreissern als der Mittelwert.

Tabelle 8: Geschwindigkeitsvergleich V85

Grösse	Ø Telraam	Ø Sierzega	Unterschied zu Sierzega	
			Rel.	Abs.
Speed V85 (km/h)	36.44	37.60	-3.1%	-1.16

Wie am Weiherweg die verlässlichste Grösse der Auswertung (kleine Abweichung, -3.1%).

Geschwindigkeitsverteilung nach Klassen

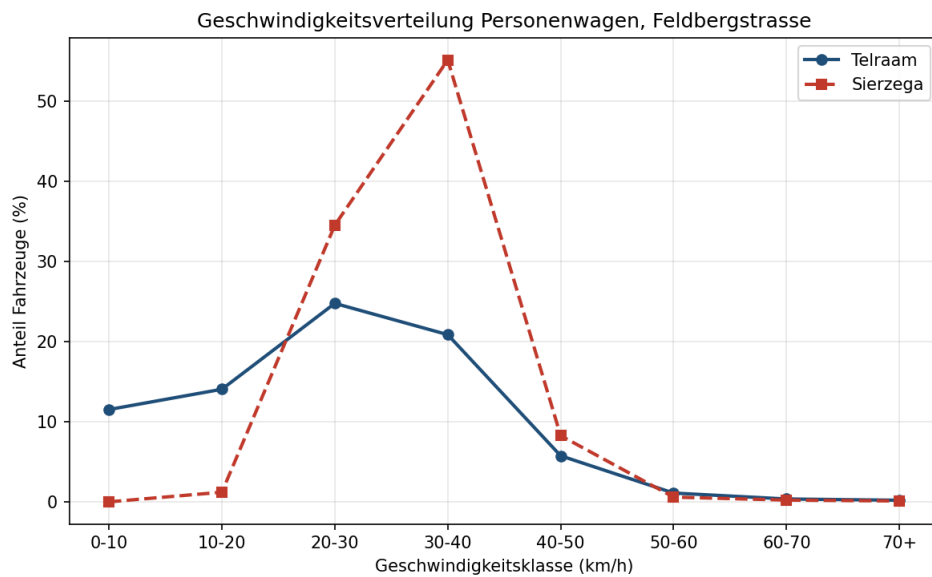


Abbildung 4: Geschwindigkeitsverteilung Personenwagen, Telraam vs. Sierzega.

Ähnliches Muster wie am Weiherweg: Sierzega zeigt eine saubere Verteilung mit Peak bei 30–40 km/h, Telraam hat einen auffälligen Anteil bei 0–20 km/h ($11.5\% + 14.0\% = 25.5\%$), der bei Sierzega praktisch fehlt (1.2%) Erneut ein Hinweis auf möglichen Kolonnenverkehr (ausgelöst durch Fussgängerstreifen), der von Telraams indirekter Geschwindigkeitsschätzung anders erfasst wird als von einem Radar.

5.2.8 Einflussfaktoren

Tageszeit

Tabelle 9: Tag/Nacht, Gesamtvolumen inkl. Night Total

Phase	n	Ø Telraam	Ø Sierzega	Unterschied zu Sierzega		MAE
				Rel.	Abs.	
Tag	169	263.65	233.85	+12.75%	+29.80	35.07
Nacht	68	54.12	52.26	+3.55%	+1.85	8.94

Anders als am Weiherweg ist hier tagsüber der grössere absolute Fehler zu beobachten (Bias +29.80 vs. nur +1.85 nachts) - nachvollziehbar, da der grosse Velo/Schwerverkehr-Fehler nur tagsüber auftritt (nachts sammelt Telraam ohnehin alles in Night Total, wo kein Kategorienfehler entstehen kann).

Verkehrsmenge

Tabelle 9b: Fehler nach Verkehrsmenge-Terzil

Verkehrs- menge	n	Bereich (Re- ferenz)	Ø Referenz	Unterschied zu Referenz		MAE
				Rel.	Abs.	
gering	79	9-162	65.22	+2.1%	+1.38	9.81
mittel	79	164-239	212.16	+8.6%	+18.15	26.05
hoch	79	241-341	267.86	+17.1%	+45.82	46.86

Deutlich stärkerer und statistisch klar signifikanter Zusammenhang als am Weiherweg (Regression: Steigung=0.159, $r^2=0.259$, $p<0.0001$ statt $r^2=0.023$): je mehr Verkehr, desto grösser die Überschätzung durch Telraam. Das spricht dafür, dass Telraams Klassifikationsfehler (Velo/Schwerverkehr) bei hoher Verkehrsdichte zunimmt - plausibel, wenn mehr Fahrzeuge gleichzeitig im Bild zu Verwechslungen führen.

Ergänzend gegenüber Miovision (n=24) geprüft: Der Zusammenhang verschwindet vollständig (Steigung=-0.001, $r^2=0.000$, $p=0.99$). Das relativiert den Befund erheblich: der scheinbar starke, hochsignifikante Verkehrsmengeneffekt gegenüber Sierzega bestätigt sich gegenüber einer unabhängigen Referenz nicht und könnte teilweise an Sierzega selbst liegen (z.B., wenn dessen eigene Genauigkeit bei hohem Verkehrsaufkommen abnimmt), nicht nur an Telraam.

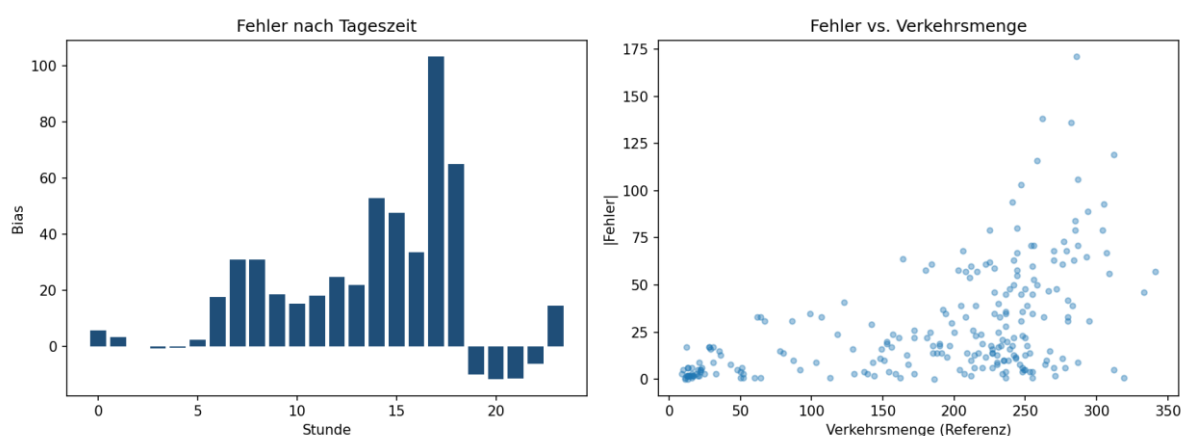


Abbildung 5: Fehler nach Tageszeit (links) und Fehler vs. Verkehrsmenge (rechts).

Witterung/Licht

Detailtabelle zu Witterung/Dämmerung für Feldbergstrasse siehe A.14 im Anhang; die Messperiode verlief durchgehend trocken und überwiegend sonnig, ohne relevante Niederschlagsereignisse.

Hochrechnung auf das Winterhalbjahr

Wie am Weiherweg (5.10.5) beschrieben, schaltet Telraam in den Nachtmodus, sobald die Bildhelligkeit für eine sichere Klassifikation nicht mehr ausreicht - der Umschaltpunkt folgt den bürgerlichen Dämmerungszeiten. Während der Julimessung (20.-22.07.) dauerte die bürgerliche Dämmerung von ca. 05:15 bis 21:57 Uhr; gemäss dem tatsächlichen Sierzega-Verkehrsmuster fallen nur rund 6.0% des Gesamtverkehrs in das damit verbleibende Nachtfenster. Am Wintersonnenwende-Tag (21.12., Basel) beginnt die bürgerliche Dämmerung dagegen erst um 07:38 Uhr und endet bereits um 17:16 Uhr. Bei unverändertem Verkehrsmuster entspräche das Nachtfenster damit rund 37.7% des Tagesverkehrs.

5.2.9 Richtungsabhängigkeit

Wie am Weiherweg bestätigt: Telraam $A > B$ = Sierzega "+" = West-Ost, keine Kreuzpaarung nötig.

Details zur Teststatistik siehe A.15 Feldbergstrasse im Anhang.

Fazit: Anders als am Weiherweg (dort "statistisch signifikant, aber praktisch klein") ist die Richtungsasymmetrie an der Feldbergstrasse gross genug, um praktisch relevant zu sein. Mögliche Erklärung: die West-Ost-Fahrspur liegt vermutlich näher an Telraams Kamera (bzw. weiter von Sierzega entfernt), was Verdeckungs- oder Perspektiveneffekte auf einer belebten Hauptstrasse verstärken könnte - dies bleibt aber eine Hypothese.

5.2.10 Zusätzliche Validierungen

Fussgänger

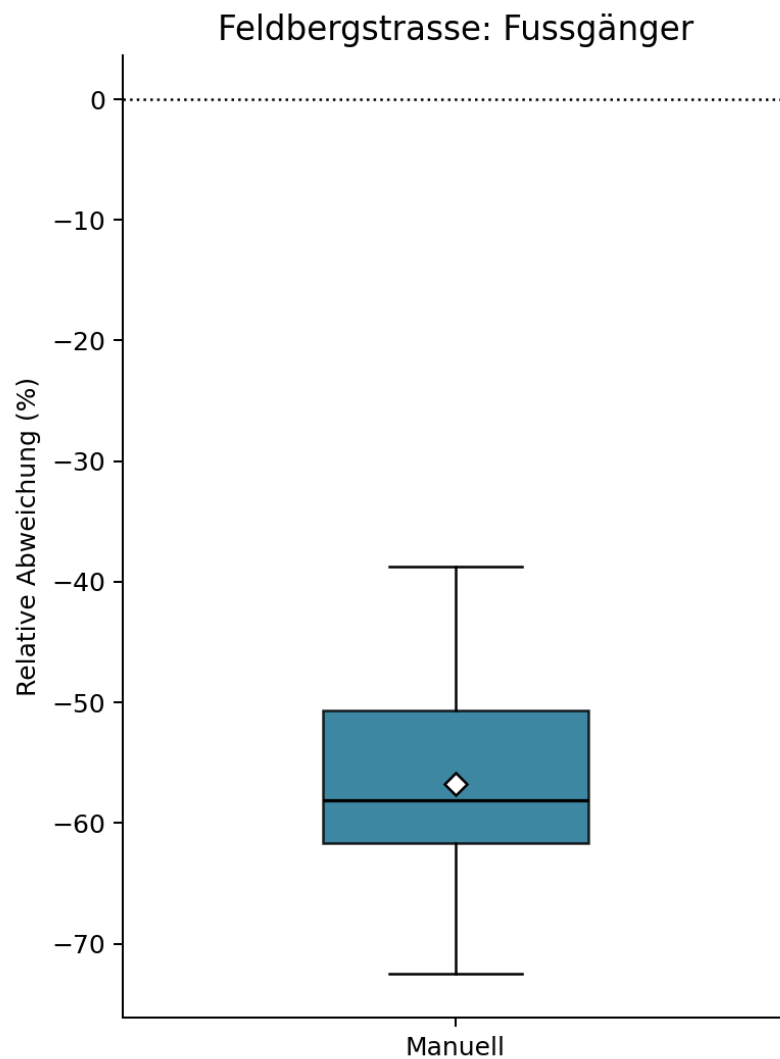


Abbildung C: Fussgänger, relative Abweichung gegenüber Manuell, Feldbergstrasse.

Tabelle 11a: Telraam vs. manuelle Kontrollzählung, Fussgänger (n=12)

Grösse	Ø Telraam	Ø Manuell	Unterschied zu manuell		MAPE	MAE	RMSE	GEH	SQV
			Rel.	Abs.					
Fussgänger	23.08	56.92	-56.4%	-33.83	56.8%	33.83	37.19	5.17	0.201
									(schwach)

Deutliche Unterschätzung (-56.4%), etwas schwächer ausgeprägt als am Weiherweg (-82.8%), aber im gleichen Muster - passt zum standortübergreifenden Befund, dass Fussgängererfassung ein genereller Schwachpunkt von Telraam ist (vgl. Weiherweg 5.1.14).

Die folgende Abbildung zeigt Scatterplot (links) und Bland-Altman-Plot (rechts, Lesehinweis siehe 5.4/5.5) für die Fussgänger-Validierung:

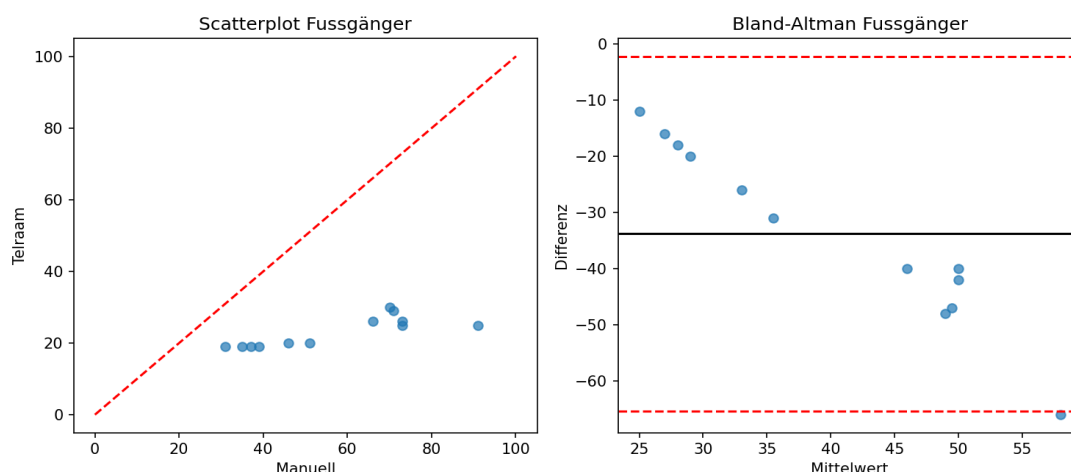


Abbildung 7: Fussgänger – Scatterplot (links) und Bland-Altman-Plot (rechts), Telraam vs. manuelle Kontrollzählung (n=12).

Im Scatterplot liegen die Punkte grösstenteils unterhalb der Diagonale (Unterschätzung durch Telraam), im Bland-Altman-Plot entsprechend überwiegend im negativen Bereich - visuelle Bestätigung der in 5.13.1 berichteten Unterschätzung (-59.4%).

Tabelle 11b: Fussgänger nach Zeitfenster

Zeitfenster	Ø Manuell	Ø Telraam	Unterschied zu manuell	
			Rel.	Abs.
Randzeiten (19-20 Uhr, Tag 1)	70.50	29.50	-58.2%	-41.00
Mittlerer Ver- kehr (12-13 Uhr, Tag 3)	37.75	19.25	-49.0%	-18.50
Spitzenzeit (17-18 Uhr, Tag 3)	75.75	25.50	-66.3%	-50.25

Die Unterschätzung ist in allen drei Fenstern gross (-49% bis -66%), am stärksten während der Spitzenzeit abends. Mit $n=4$ Intervallen je Fenster ist die Stichprobe allerdings zu klein, um mögliche Ursachen (z.B. Lichtverhältnisse, Personendichte) statistisch zu erhärten - vgl. die analoge, ausführlicher diskutierte Tabelle 11b im Weiherweg-Kapitel.

Vier-Wege-Vergleich

Volltabelle siehe A.16 im Anhang.

Für die 12 Intervalle, die zusätzlich von Hand ausgezählt wurden, lässt sich prüfen, wie gut nicht nur Telraam, sondern auch alle drei Referenzsysteme selbst mit der manuellen Zählung übereinstimmen. Bei Velo liegt Miovision am nächsten an der manuellen Zählung. Bei Personenwagen sind sich alle drei Systeme recht ähnlich. Bei Schwerverkehr weichen alle drei markant und in unterschiedliche Richtungen ab - der uneinheitlichste Befund des gesamten Projekts bei dieser Kategorie. Fussgänger fehlt in diesem Vergleich, da Miovision an diesem Standort keine Fussgänger-Daten liefert.

5.2.11 Zusammenfassung und Einschränkungen

Feldbergstrasse zeigt ein anderes Fehlerbild als Weiherweg: Personenwagen stimmt bei allen drei Referenzsystemen gut überein (Rel. Abweichung -9% bis +8% gegenüber Sierzega/Manuell, +5.0% gegenüber Miovision), Velo dagegen dreht sich komplett um Sierzega (Sierzega massiv zu niedrig, vermutlich Verdeckung auf der belebten Hauptstrasse), während sowohl die manuelle Zählung als auch Miovision von Telraam fast exakt getroffen werden (+2.6% bzw. -0.9%). Der Vier-Wege-Vergleich (Tabelle 12) bestätigt dies eindrücklich: Sierzega weicht bei Velo mit -70.0% gegenüber der manuellen Zählung mit Abstand am stärksten ab. Schwerverkehr zeigt dagegen ein neues, uneinheitliches Bild: Telraam überschätzt gegenüber allen drei Referenzen (Sierzega, Manuell, Miovision), aber in völlig unterschiedlichem Ausmass (-13% bis +387%), konsistent mit der bereits am Weiherweg diskutierten Klassifikationsfrage (5.8), aber hier zusätzlich verstärkt durch die grosse Bandbreite der Referenzwerte selbst (Miovision zählt im Schnitt nur 5.79 Lastwagen, Sierzega 40.25). Neu und auffällig gegenüber Weiherweg: die Verkehrsmenge hat hier einen klar signifikanten Einfluss auf die Fehlergrösse (mehr Verkehr = grösserer Fehler), und die Richtungsasymmetrie ist praktisch relevant, nicht nur statistisch nachweisbar.

Die wichtigste methodische Einschränkung ist identisch zum Weiherweg: Die Sierzega-Vergleiche auf 15-Minuten-Basis sind nicht vollständig unabhängig, da die zeitliche Verteilung innerhalb jeder Stunde von Sierzegas eigenem Muster abgeleitet wurde. Die Miovision-Daten wurden erst nachträglich beschafft und decken nur Fahrzeuge ab (keine Fussgänger); eine weitere mögliche Referenz (Induktionsschleife, vgl. 5.14.2) fehlt weiterhin, die insbesondere bei Schwerverkehr - wo sich Telraam, Sierzega und Miovision uneinig sind - zusätzliche Klarheit schaffen könnte.

5.3 Datenauswertung und Validierung – St. Alban Vorstadt

Standort St. Alban Vorstadt (Erschliessungsstrasse/Begegnungszone), Basel

Messperiode 23.–25.07.2026. Referenzsysteme: Sierzega SR7 (Seitenradar, umgezogenes Gerät von Feldbergstrasse), eine manuelle Kontrollzählung (12 Intervalle) und Miovision Scout (Video, 12 Intervalle)

5.3.1 Datenaufbereitung

Wie an den anderen Standorten wurden die 15-Minuten-Werte aus Telraams Stundenexport anhand des Sierzega-Musters rekonstruiert (55 von 62 Stunden mit echtem Muster).

Richtungskorrektur: Anders als an Weiherweg und Feldbergstrasse bedeutet Sierzegas "+" an diesem Standort Ost-West statt West-Ost (bestätigt durch Nutzerabgleich mit Montagefotos). Die Richtungsspalten ($A > B / B > A$) wurden in der Sierzega-Datei getauscht, damit $A > B$ auch hier konsistent West-Ost bedeutet.

Klassierungslogik der Referenzsysteme

Für die Interpretation der Ergebnisse (5.3.3, 5.3.8) sind drei Fakten zur Datengrundlage wichtig, die unabhängig von den Messergebnissen selbst gelten: Sierzega klassifiziert ausschliesslich nach Fahrzeuglänge (Kat. 1 < 2 m, Kat. 2 = 2-6 m usw.). In der Sierzega-eigenen Auswertungsoberfläche heisst Kategorie 1 "Motorrad", nicht "Velo". In dieser Arbeit wird sie dennoch mit Telraams "Bike Total" verglichen, da sie der Fahrzeuglänge nach am ehesten dieser Kategorie entspricht. Diese Zuordnung ist eine Näherung, keine exakte Übereinstimmung der Definition.

Die manuelle Kontrollzählung führt Mofa als eigene, sechste Kategorie neben Velo, PKW, Lastwagen, Bus und Fussgänger/Trottinette weder Telraam noch Sierzega noch Miovision kennen diese Kategorie separat. Für Vergleiche muss Mofa daher händisch entweder Velo oder PKW zugeschlagen werden (vgl. 5.8.2).

Die Grenze zwischen "Personenwagen" und "Schwerverkehr" wurde bei der manuellen Zählung nach eigenem Ermessen vor Ort gezogen, während Telraam, Sierzega und Miovision jeweils eigene, feste Klassifikationslogiken verwenden. Es ist nicht sichergestellt, dass alle vier Systeme exakt dieselbe Grenze (z. B. Lieferwagen vs. Lastwagen) anwenden.

5.3.2 Deskriptive Statistik

Da der bekannte Telraam-Geräteausfall ab 25.07. 03:00 Uhr (80 Intervalle mit durchgehend 0, vgl. 5.1) den Median künstlich auf 0 drücken und die Streuung verzerren würde, zeigt die folgende Tabelle bereits die um diesen Ausfall bereinigten Werte ($n=168$) - konsistent mit der Bereinigung, die auch in allen weiteren Abschnitten dieses Kapitels verwendet wird.

Mittelwert und Median liegen jetzt bei Velo, Fussgänger und Multimodal Total nah beieinander - passend zu einer einigermaßen symmetrischen Verteilung zwischen ruhigeren und verkehrsreicheren Intervallen. Schwerverkehr bleibt bei Median 0, da an dieser ruhigen Strasse selbst tagsüber in den meisten Intervallen kein einziger Lastwagen auftaucht (nur der Mittelwert von 1.07 zeigt, dass es gelegentlich doch welche gibt). Deutlich tiefere Geschwindigkeit ($V_{85} \approx 25 \text{ km/h}$) als an den beiden anderen Standorten, passend zur Charakterisierung als ruhige Erschliessungsstrasse/Begegnungszone.

Volltabelle siehe A.17 im Anhang.

5.3.3 Vergleich der Verkehrsmengen

Telraam wird gegen alle drei verfügbaren Referenzsysteme verglichen: Sierzega SR7, die manuelle Kontrollzählung und Miovision Scout (je 12 Intervalle für Manuell/Miovision, deckungsgleiche Zeitfenster).

Verwendete Kennzahlen (M = Telraam-Messwert, C = Referenzwert je Intervall):

- Bias: mittlere Differenz $M - C$. Positiv = Telraam überschätzt im Mittel, negativ = unterschätzt.
- Rel. Abweichung: Mittelwert der intervallweisen prozentualen Differenz $(M - C) / C \times 100$.

Tabelle 2a: Telraam vs. Sierzega SR7, nur Tagesstunden, (n=110)

Grösse	Ø Telraam	Ø Sierzega	Unterschied zu Sierzega	
			Rel.	Abs.
Velo	56.42	14.83	+280.5%	+41.59
Personenwagen	5.90	4.59	+28.5%	+1.31
Schwerverkehr	1.64	0.15	+1025.0%	+1.49
Multimodal ge-samt	63.95	19.56	+226.9%	+44.39

Tabelle 2b: Telraam vs. manuelle Kontrollzählung (n=12)

Grösse	Ø Telraam	Ø Manuell	Unterschied zu manuell	
			Rel.	Abs.
Velo	68.42	57.58	+18.8%	+10.83
Personenwagen	5.75	5.92	-2.8%	-0.17
Schwerverkehr	0.33	0.17	+100.0%	+0.17
Multimodal gesamt	74.50	63.75	+17.0%	+10.83

Tabelle 2c : Telraam vs. Miovision Scout (n=12)

Grösse	Ø Telraam	Ø Miovision	Unterschied zu Miovision	
			Rel.	Abs.
Velo	68.42	57.42	+21.5%	+11.00
Personenwagen	5.75	6.00	-0.2%	-0.25
Schwerverkehr	0.33	0.00	n/a	+0.33
Multimodal gesamt	74.50	63.42	+19.5%	+11.08

MAPE/MAE/RMSE-Werte zu den Tabellen 2a-2c siehe A.18-A.20 im Anhang.

Miovision bestätigt bei Velo und Personenwagen, die bereits gegenüber der manuellen Zählung beobachtete, gute Übereinstimmung (+21.5% bzw. -0.2%). Bei Schwerverkehr zählt Miovision in allen 12 Intervallen 0, während sowohl Telraam (0.33) als auch die manuelle Zählung (0.17) vereinzelt ein Fahrzeug erfassen. Bei so kleinen Zahlen ist das kein Widerspruch, sondern reines Stichprobenrauschen. Die Fussgänger-Ergebnisse gegenüber Miovision werden in 5.3.14 zusammen mit dem Vier-Wege-Vergleich (Tabelle 12) diskutiert.

Der auffälligste Wert des ganzen Projekts: Schwerverkehr wird von Telraam gegenüber Sierzega um den Faktor 11 überschätzt (+1025%, absolut betrachtet aber nur +1.49 Fahrzeuge im Schnitt, bei einer derart ruhigen Strasse verschieben einzelne Lastwagen den Prozentwert massiv). Gegenüber der manuellen Zählung ist die Schwerverkehr-Abweichung dagegen viel kleiner (+33%, absolut nur +0.08). Personenwagen stimmt bei beiden Referenzen gut überein. Velo wird von Telraam bei beiden Referenzen überschätzt, aber deutlich moderater gegenüber der manuellen Zählung (+18.8%) als gegenüber Sierzega (+280.5%), erneut ein Hinweis, dass Sierzega ein Problem mit der Zählung von Velos hat.

Die folgende Grafik veranschaulicht dies für Personenwagen (Scatterplot):

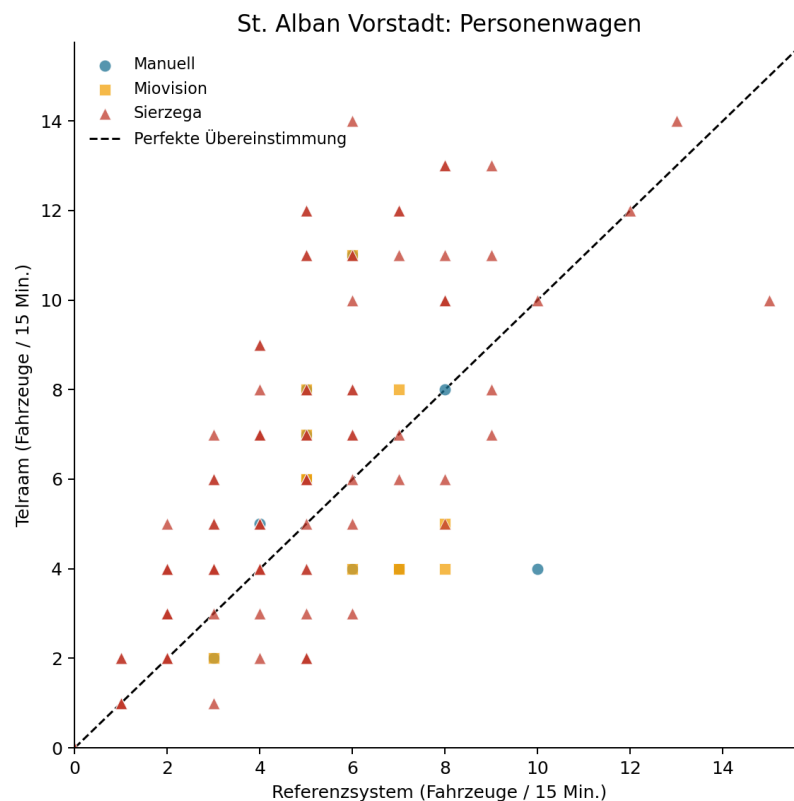


Abbildung A: Personenwagen, Telraam vs. alle drei Referenzsysteme, St. Alban Vorstadt.

Der Boxplot fasst die Streuung der relativen Abweichung je Kategorie zusammen (Box = mittlere 50%, Strich = Median, Antennen = Wertebereich, Raute = Mittelwert).

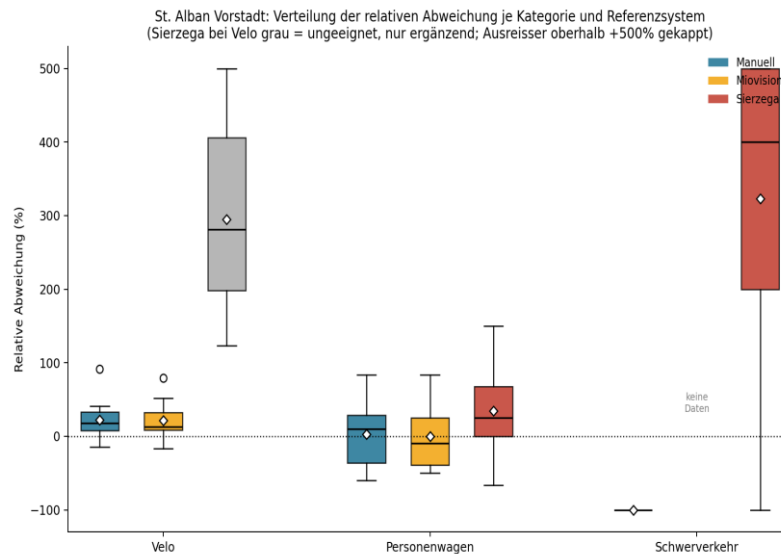


Abbildung 1: Verteilung der relativen Abweichung je Kategorie und Referenzsystem, St. Alban Vorstadt.

Extreme Streuung bei Velo und Schwerverkehr (lange Antennen, viele Ausreisser) - Spiegelbild der sehr grossen Rel.-Abweichungswerte in Tabelle 2a. Personenwagen zeigt eine deutlich kompaktere Verteilung, passend zur "mittel"-Einstufung bei SQV (5.7). Bei allen drei Fahrzeugkategorien liegt der Mittelwert (Raute) über dem Median (Strich) - besonders ausgeprägt bei Personenwagen - derselbe Effekt, der bereits die Differenz zwischen MAPE und Rel. Abweichung in Tabelle 2a erklärt: bei den hier sehr kleinen absoluten Verkehrsmengen ziehen einzelne Intervalle mit kleinem Referenzwert den Durchschnitt überproportional nach oben.

Detaillierte Zusammenhangs- und Bland-Altman-Analysen für St. Alban Vorstadt siehe A.21 im Anhang.

5.3.4 GEH-Wert

$$\text{GEH} = \sqrt{\frac{2(M - C)^2}{M + C}}$$

Gilt in der Verkehrstechnik als Mass, das absolute und relative Abweichung kombiniert: GEH < 5 = sehr gute, 5-10 = akzeptable, > 10 = kritische Übereinstimmung.

Tabelle 5: GEH-Werte (Mittelwert), Telraam vs. alle Referenzsysteme

Grösse	GEH (Sierzega)	GEH (Miovision)	GEH (Manuell)
Velo	6.77	1.63	1.71
Perso- nenwa- gen	0.83	0.99	0.95
Schwer- verkehr	1.99	1.41	1.41
Multimo- dal ge- samt	6.68	1.47	1.59

Velo und Multimodal Total überschreiten nur gegenüber Sierzega die Schwelle 5 ("akzeptabel" statt "sehr gut"), zusammen mit Feldbergstrasse-Velo die einzigen Fälle im ganzen Projekt, wo GEH die grosse Abweichung überhaupt anzeigt. Gegenüber Miovision und Manuell bleiben alle Werte im Bereich "sehr gut", obwohl Tabelle 2b/2c teils grosse relative Abweichungen zeigen und ein weiteres Beispiel dafür, dass GEH bei kleinen absoluten Verkehrsmengen wenig trennscharf ist.

5.3.5 SQV (Scalable Quality Value)

$$SQV = \frac{1}{1 + \sqrt{(M - C)^2 / (f \cdot C)}}$$

hier mit $f=10$. Eigene Einteilung: gut ≥ 0.75 , mittel $0.5-0.75$, schwach < 0.5 .

Tabelle 6: SQV-Werte und Einstufung, Telraam vs. alle Referenzsysteme

Grösse	SQV (Sierzega)	SQV (Miovision)	SQV (Ma- nuell)
Velo	0.25 (schwach)	0.69 (mittel)	0.67 (mit- tel)
Perso- nenwa- gen	0.80 (gut)	0.77 (gut)	0.79 (gut)
Schwer- verkehr	0.48 (schwach)	keine gültigen Daten (n=0)	0.76 (gut)
Multimo- dal ge- samt	0.27 (schwach)	0.73 (mittel)	0.70 (mit- tel)
Fussgän- ger	-	0.44 (schwach)	0.43 (schwach)

SQV=0.248 (Velo gegenüber Sierzega) bleibt der schwächste Einzelwert des gesamten Projekts. Gegenüber Miovision und Manuell erreicht Velo dagegen durchgehend "mittel" (0.693 bzw. 0.673), deutlich besser als gegenüber Sierzega, wenn auch nicht "gut". Personenwagen bleibt bei allen drei Referenzen im oberen Bereich. An diesem ruhigen Standort offenbar die verlässlichste Kategorie, unabhängig vom gewählten Referenzsystem.

5.3.6 Klassifikationsgenauigkeit

Schwerverkehr - Faktor-11-Überschätzung

Die Schwerverkehr-Überschätzung gegenüber Sierzega (Faktor 11, absolut aber nur +1.49 Fahrzeuge im Schnitt) ist mit weitem Abstand der grösste relative Fehler des Projekts. Bei so kleinen absoluten Zahlen (Sierzega zählt im Schnitt nur 0.15 Lastwagen pro 15-Minuten-Intervall) sind einzelne Fehlklassifikationen durch Telraam (z.B. Schattenwurf oder Kameraperspektive auf einer schmalen Strasse) ausreichend, um einen riesigen Prozentfehler zu erzeugen. Gegenüber der manuellen Zählung ist die Abweichung viel moderater (+33%), was nahelegt, dass hier tatsächlich Telraam der Hauptverursacher ist (nicht nur eine Sierzega-spezifische Unterzählung wie bei Velo). Miovision zeigt hier ebenfalls 0 (durchgehend über alle 12 Intervalle) - konsistent mit der manuellen Zählung (0.17) und weit entfernt von Telraams Wert (0.33), aber bei diesen kleinen absoluten Zahlen sind das ohnehin nur 1-2 Fahrzeuge Differenz, kein belastbares Muster.

Mofa-Zuordnung

Tabelle 7: Telraam vs. manuelle Zählung, je nach Mofa-Zuordnung (n=12)

Kategorie	Mofa -> Velo		Mofa -> Auto	
	Rel.	Abs.	Rel.	Abs.
Velo (Telraam)	+12.3%	+7.50	+18.8%	+10.83
Personenwagen (Telraam)	-2.8%	-0.17	-37.8%	-3.50

Hier spricht "Mofa -> Velo" klar für beide Kategorien besser (Velo +12.3% statt +18.8%, Personenwagen - 2.8% statt -37.8%) - anders als an Feldbergstrasse. Über alle drei Standorte hinweg bestätigt sich damit erneut: es gibt keine einheitlich beste Zuordnung. Miovision (das Mofas separat als "Krad" erfasst) bestätigt dieselbe Zuordnung unabhängig: auch dort passt "Mofa -> Velo" leicht besser (Velo +12.6%/Auto - 4.2% vs. +19.2%/-38.4%) - hier stimmen beide unabhängigen Referenzsysteme überein, anders als an der Feldbergstrasse.

Kategorienanteile (Sierzega, Tagesstunden)

Aufgrund der sehr kleinen absoluten Fallzahlen an diesem Standort (oft nur 0-2 Fahrzeuge je Kategorie und Intervall) sind Kategorienanteile hier weniger aussagekräftig als an den beiden anderen Standorten und werden nicht separat tabelliert. Miovision hat mit ebenfalls nur n=12 Intervallen dasselbe Stichprobenproblem und wurde aus demselben Grund nicht zusätzlich ausgewertet.

5.3.7 Geschwindigkeitsanalyse

V85 ist die Geschwindigkeit, die von 85% der Fahrzeuge nicht überschritten wird - robuster gegenüber Ausreissern als der Mittelwert.

Tabelle 8: Geschwindigkeitsvergleich V85

Grösse	Ø Telraam	Ø Sierzega	Unterschied zu Sierzega	
			Rel.	Abs.
Speed V85 (km/h)	24.88	23.45	+6.1%	+1.43

Wie an den anderen Standorten die verlässlichste Grösse, auch wenn die relative Abweichung mit +6.1% hier etwas höher liegt als am Weiherweg/Feldbergstrasse.

Geschwindigkeitsverteilung nach Klassen

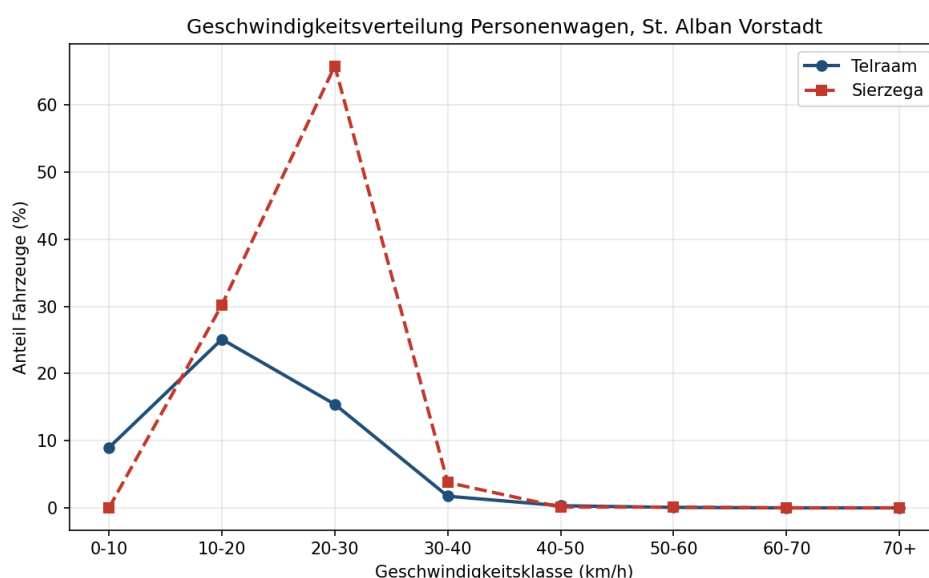


Abbildung 4: Geschwindigkeitsverteilung Personenwagen, Telraam vs. Sierzega.

Sierzega zeigt einen klaren Peak bei 20–30 km/h (65.8%), passend zur Charakterisierung als verkehrsberuhigte Strasse. Telraam zeigt einen deutlich flacheren, nach unten verschobenem Verlauf mit Peak bei 10–20 km/h (25.1%) - anders als an den beiden anderen Standorten hier ohne ausgeprägten Doppelpeak, aber insgesamt tiefer als Sierzega.

5.3.8 Einflussfaktoren

Tageszeit

Tabelle 9: Tag/Nacht, Gesamtvolumen inkl. Night Total

Phase	n	Ø Telraam	Ø Sierzega	Unterschied zu Sierzega		MAE
				Rel.	Abs.	
Tag	110	64.17	19.56	+228.0%	+44.61	44.61
Nacht	48	8.54	5.35	+59.5%	+3.19	8.23

Die grosse Abweichung tritt fast ausschliesslich tagsüber auf - passt zum Befund, dass das Problem primär bei der Kategorienklassifikation liegt (Velo/Schwerverkehr), die nachts ohnehin nicht stattfindet.

Verkehrsmenge

Tabelle 9b: Fehler nach Verkehrsmenge-Terzil

Verkehrsmenge	n	Bereich (Referenz)	Ø Referenz	Unterschied zu Referenz		MAE
				Rel.	Abs.	
gering	53	1-10	5.28	+113.9%	+6.02	10.13
mittel	52	11-18	14.52	+249.3%	+36.19	36.65
hoch	53	19-53	25.92	+208.1%	+53.94	53.94

Auch hier ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen Verkehrsmenge und Fehler ($r^2=0.512$, $p<0.0001$), der stärkste aller drei Standorte. Bei geringen absoluten Verkehrsmengen (dieser Standort)

ist das aber auch teilweise ein rechnerischer Effekt: bei 1-10 Fahrzeugen Referenzwert schlägt jede einzelne Fehlzählung prozentual sofort stark durch.

Ergänzend gegenüber Miovision und Manuell (je $n=12$) geprüft: Beide zeigen keinen Zusammenhang (Miovision: $r^2=0.024$, $p=0.63$; Manuell: $r^2=0.034$, $p=0.56$). Wie an der Feldbergstrasse bestätigt sich der gegenüber Sierzega beobachtete, hier besonders starke Zusammenhang damit nicht unabhängig. Ein Hinweis darauf, dass er zumindest teilweise mit Sierzega selbst zusammenhängen könnte, nicht nur mit Telraam.

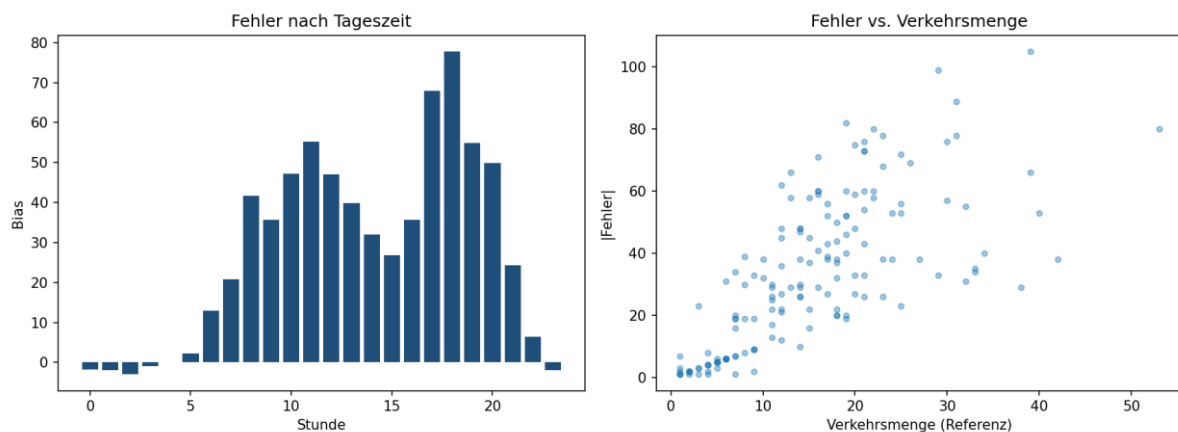


Abbildung 5: Fehler nach Tageszeit (links) und Fehler vs. Verkehrsmenge (rechts).

Witterung/Licht

Detailltabelle zu Witterung/Dämmerung für St. Alban Vorstadt siehe A.22 im Anhang; die Messperiode war durchgehend sonnig und trocken.

Einfluss des motorisierten Verkehrsaufkommens auf Velo/Fussgänger-Erfassung

Naheliegende Hypothese: erfasst Telraam Velo und Fussgänger schlechter, wenn gleichzeitig viel Autoverkehr herrscht? St. Alban Vorstadt hat mit Abstand das geringste Autoaufkommen der drei Standorte und eignet sich daher besonders gut, um diese Hypothese zu prüfen.

Tabelle 9c: Autoaufkommen und Velo-/Fussgänger-Fehler im Standortvergleich (vs. manuelle Zählung, je n=12)

Standort	Ø Autos/Fenster	Velo-Fehler	Fussgänger-Fehler
St. Alban Vorstadt	5.9 (am wenigsten)	26%	56%
Weiherweg	18.3	49% (am schlechtesten)	82% (am schlechtesten)
Feldbergstrasse	128.0 (am meisten)	26%	57%

St. Alban Vorstadt zeigt trotz des mit Abstand geringsten Autoaufkommens keine bessere Velo-/Fussgänger-Erfassung als Feldbergstrasse (viel Autoverkehr) - beide liegen praktisch gleichauf (26% bzw. 56-57%). Weiherweg (mittleres Autoaufkommen) schneidet dagegen bei beiden Kategorien am schlechtesten ab. Das widerspricht der Hypothese, dass wenig Autoverkehr die Velo-/Fussgänger-Erfassung an diesem Standort begünstigt hätte.

Hochrechnung auf das Winterhalbjahr

Wie am Weiherweg (5.1.10) und an der Feldbergstrasse (5.2.10) beschrieben, schaltet Telraam in den Nachtmodus, sobald die Bildhelligkeit für eine sichere Klassifikation nicht mehr ausreicht. Während der Julimessung (23.-25.07.) dauerte die bürgerliche Dämmerung von ca. 05:18 bis 21:53 Uhr; gemäss dem tatsächlichen Sierzega-Verkehrsmuster fallen rund 10.1% des Gesamtverkehrs in das damit verbleibende Nachtfenster, etwas mehr als an den beiden anderen Standorten, passend zum insgesamt geringeren und gleichmässiger über den Tag verteilten Verkehrsaufkommen an dieser ruhigen Strasse. Am Wintersonnenwende-Tag (21.12., Basel) beginnt die bürgerliche Dämmerung dagegen erst um 07:38 Uhr und endet bereits um 17:16 Uhr. Bei unverändertem Verkehrsmuster entspräche das Nachtfenster damit rund 39.2% des Tagesverkehrs.

5.3.9 Richtungsabhängigkeit

An diesem Standort bedeutet Sierzega "+" Ost-West (umgekehrt zu Weiherweg/Feldbergstrasse). Die Richtungsspalten wurden bereits bei der Datenaufbereitung (5.1) entsprechend getauscht, sodass A>B auch hier konsistent West-Ost bedeutet. Die folgende Tabelle verwendet bereits die korrigierte Zuordnung.

Details zur Teststatistik siehe A.23 St. Alban Vorstadt im Anhang.

Fazit: Trotz grosser Unterschiede in den aggregierten Prozentzahlen ist der Richtungseffekt hier statistisch nicht eindeutig nachweisbar (kleine Stichprobe, viel Rauschen bei kleinen absoluten Werten). Diese Diskrepanz zwischen "grosser %-Unterschied" und "kein signifikanter Test" ist ein gutes Beispiel dafür, warum beides zusammen betrachtet werden sollte (vgl. 5.1.12).

5.3.10 Zusätzliche Validierungen

Fussgänger

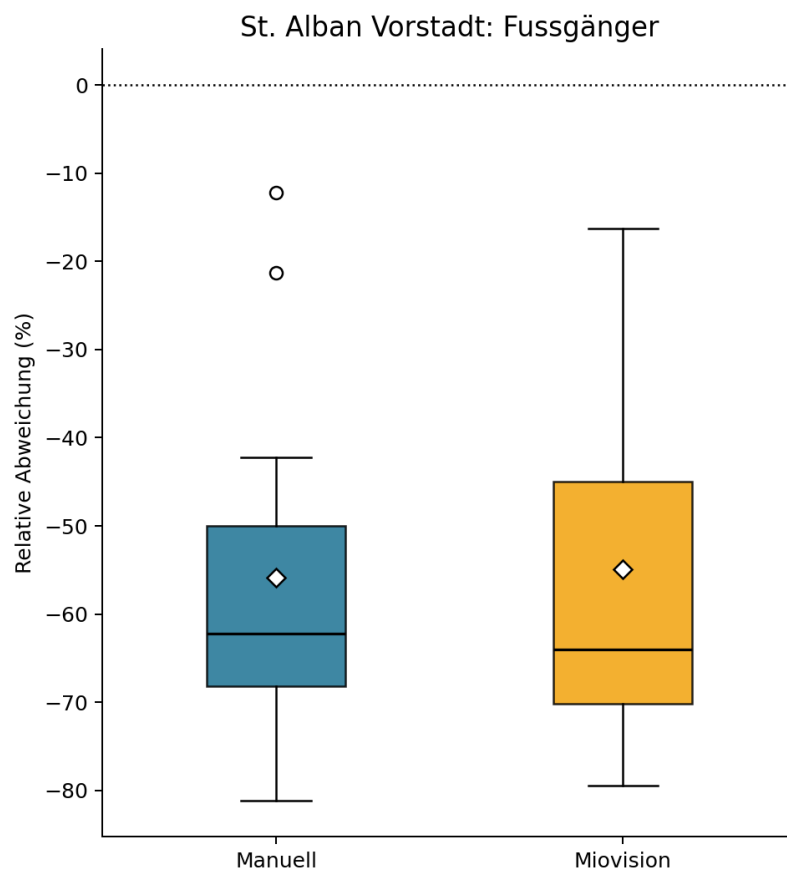


Abbildung C: Fussgänger, relative Abweichung gegenüber Manuell und Miovision, St. Alban Vorstadt.

Tabelle 11a: Telraam vs. manuelle Kontrollzählung, Fussgänger (n=12)

Grösse	Ø Telraam	Ø Manuell	Unterschied zu manuell		MAE	MAPE	RMSE	GEH	SQV
			Rel.	Abs.					
Fussgänger	27.83	70.17	-60.3%	-42.33	42.33	55.9%	48.28	5.89	0.213
									(schwach)

Konsistent mit Weiherweg (-82.8%) und Feldbergstrasse (-59.4%): deutliche Unterschätzung, hier -60.3%. Bestätigt zum dritten Mal, dass Fussgängererfassung ein generelles Telraam-Problem ist, nicht standort-spezifisch.

Die folgende Abbildung zeigt Scatterplot (links) und Bland-Altman-Plot (rechts) für die Fussgänger-Validierung:

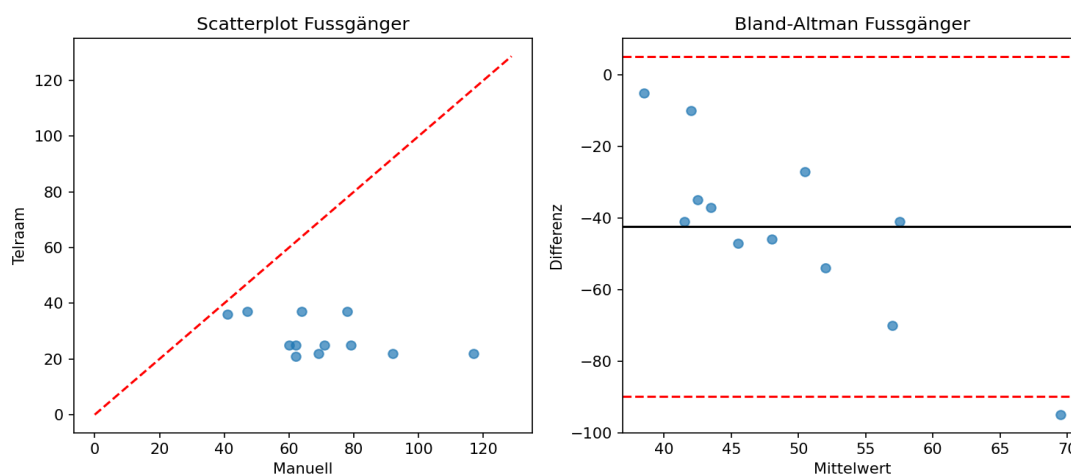


Abbildung 7: Fussgänger – Scatterplot (links) und Bland-Altman-Plot (rechts), Telraam vs. manuelle Kontrollzählung (n=12).

Wie an den anderen beiden Standorten liegen die Punkte im Scatterplot durchgehend unterhalb der Diagonale und im Bland-Altman-Plot im negativen Bereich - konsistentes Bild der Fussgänger-Unterschätzung (5.13.1).

Tabelle 11b: Fussgänger nach Zeitfenster

Zeitfenster	Ø Manuell	Ø Telraam	Unterschied zu manuell	
			Rel.	Abs.
Mittlerer Verkehr (12-13 Uhr)	85.00	21.75	-74.4%	-63.25
Spitzenzeit (17-18 Uhr)	68.00	25.00	-63.2%	-43.00
Randzeiten (20-21 Uhr)	57.50	36.75	-36.1%	-20.75

Auch hier ist die Unterschätzung in allen drei Fenstern gross (-36% bis -74%), am stärksten mittags. Anders als am Weiherweg liegt hier die geringste Unterschätzung nicht in der Spitzenzeit, sondern in den Randzeiten, mit n=4 Intervallen je Fenster ist auch hier die Stichprobe zu klein für eine belastbare Ursachenzuordnung.

Vier-Wege-Vergleich

Volltabelle siehe A.24 im Anhang.

Für die 12 Intervalle, die zusätzlich von Hand ausgezählt wurden, lässt sich prüfen, wie gut nicht nur Telraam, sondern auch alle drei Referenzsysteme selbst mit der manuellen Zählung übereinstimmen. Miovision liegt bei Velo, Personenwagen und Fussgänger durchgehend am nächsten an der manuellen Referenz - plausibel, da beide vermutlich auf demselben Videomaterial beruhen (vgl. Miovision-Selbstkontrolle unten). Sierzega weicht bei Velo und Fussgänger am stärksten ab; bei Fussgänger erfasst Sierzega technisch bedingt grundsätzlich nichts.

Miovision-Selbstkontrolle

Die Vier-Wege-Tabelle (Tabelle 12) zeigt sehr gut, dass die manuelle Zählung, wie am Weiherweg und an der Feldbergstrasse, anhand des Miovision-Videomaterials erstellt wurde: Miovision und Manuell stimmen bei Velo, Personenwagen und Fussgänger nahezu exakt überein (-0.3% bis +1.4%). Eine echte,

unabhängige Selbstkontrolle ist damit hier nur eingeschränkt aussagekräftig, da beide Referenzen keine unabhängigen Quellen sind. Bei Schwerverkehr zählt Miovision durchgehend 0, während sowohl Telraam (0.33) als auch die manuelle Zählung (0.17) je ein einzelnes Fahrzeug erfassen. Bei diesen kleinen absoluten Zahlen ist auch das kein Widerspruch, sondern Stichprobenrauschen.

5.3.11 Zusammenfassung und Einschränkungen

St. Alban Vorstadt zeigt als dritter, ruhigster Standort nochmals ein eigenes Fehlerbild: Personenwagen ist die verlässlichste Kategorie und erreicht gegenüber allen drei Referenzsystemen "gut" (SQV 0.77-0.80), Velo und vor allem Schwerverkehr zeigen dagegen die grössten relativen Abweichungen des gesamten Projekts gegenüber Sierzega (+280% bzw. +1025%), allerdings bei so kleinen absoluten Verkehrsmengen, dass einzelne Fahrzeuge die Prozentwerte dominieren. Gegenüber der manuellen Zählung und gegenüber Miovision fallen die Abweichungen bei Velo und Schwerverkehr deutlich moderater aus, was erneut nahelegt, dass ein grosser Teil der Sierzega-Diskrepanz an Sierzega selbst liegt. Für Schwerverkehr liegen gegenüber Miovision an diesem Standort keine gültigen Vergleichsdaten vor. Der Vier-Wege-Vergleich (Tabelle 12) bestätigt dies: Miovision liegt bei Velo, Personenwagen und Fussgänger sehr nah an der manuellen Zählung (-0.3% bis +1.4%), während Sierzega bei Velo und Fussgänger massiv abweicht (-74.8% bzw. -100%, da Sierzega Fussgänger technisch gar nicht erfasst). Neu an diesem Standort: die Richtungsasymmetrie ist trotz grosser prozentualer Unterschiede statistisch nicht signifikant nachweisbar. Ein Hinweis darauf, wie stark kleine Stichproben bei geringen Verkehrsmengen die statistische Aussagekraft einschränken.

Die wichtigste methodische Einschränkung ist identisch zu den anderen Standorten (Sierzega-15-Minuten-Vorbehalt, vgl. Weiherweg 5.1.1). Zusätzlich gilt hier besonders: bei den sehr kleinen absoluten Fahrzeugzahlen (oft unter 5 pro Intervall) sind alle relativen Kennzahlen (Rel. Abweichung, MAPE, GEH teilweise) mit Vorsicht zu interpretieren und absolute Kennzahlen (Bias, MAE) sind hier aussagekräftiger.

5.4 Standortübergreifender Vergleich

Die Kapitel 5.1–5.4 haben Telraam an drei strukturell unterschiedlichen Standorten (Wohnstrasse, Hauptverkehrsachse, Begegnungszone) einzeln validiert. Dieser Abschnitt führt die Ergebnisse zusammen und geht zwei Fragen nach: Erstens, welche Muster sich an allen drei Standorten unabhängig vom Kontext zeigen und damit vermutlich echte, verallgemeinerbare Eigenschaften von Telraam sind, nicht Zufall eines einzelnen Standorts. Zweitens, wie stark die Wahl des Referenzsystems selbst die Bewertung beeinflusst: ein wiederkehrender Befund dieser Arbeit ist, dass scheinbare Telraam-Schwächen (z.B. bei Velo oder bei der Verkehrsmengen-Abhängigkeit) teilweise eher an Schwächen des jeweiligen Referenzsystems liegen als an Telraam selbst. Die Tabellen dieses Abschnitts verwenden eine eigene, mit „S“ gekennzeichnete Nummerierung, um Verwechslungen mit den Tabellennummern der einzelnen Standort-Kapitel zu vermeiden.

5.4.1 Kennzahlenvergleich je Standort und Referenzsystem

Sierzega SR7, Miovision und die manuelle Kontrollzählung liegen als Referenzsysteme an allen drei Standorten vor und eignen sich daher als gemeinsame Vergleichsbasis.

Die Tabelle im Anhang A.26 bildet die Grundlage, um zu prüfen, ob sich die aus den Standort-Kapiteln bekannten Muster (z.B. Velo schwach gegenüber Sierzega) auch aggregiert über alle drei Standorte bestätigen.

Volltabelle mit Bias, Rel. Abweichung, MAPE, GEH und SQV je Kategorie und Standort siehe A.26 im Anhang.

Volltabelle mit denselben Kennzahlen gegenüber Manuell siehe A.27 im Anhang.

Der Vergleich mit der unabhängigen manuellen Referenz zeigt, ob sich dieselben Muster auch ohne Sierzega als Massstab zeigen.

Volltabelle mit denselben Kennzahlen gegenüber Miovision siehe A.28 im Anhang.

Miovision dient hier als dritte, ebenfalls unabhängige Vergleichsbasis, um Sierzega-spezifische Effekte von echten Telraam-Eigenschaften zu unterscheiden.

Auffällig: bei Personenwagen ist Miovision an allen drei Standorten die Referenz mit dem kleinsten Bias (+0.61 bis -0.25) - deutlich näher an Telraam als Sierzega oder teils sogar Manuell. Bei Schwerverkehr ist das Bild uneinheitlich: Weiherweg und Feldbergstrasse zeigen eine Überschätzung durch Telraam gegenüber Miovision (+58.6%, +387.0%), St. Alban Vorstadt praktisch keine (n zu klein für eine verlässliche Aussage). Velo bleibt schwach eingestuft, unabhängig vom Referenzsystem - mit Ausnahme von

Feldbergstrasse, wo Miovision (anders als Sierzega) eine fast perfekte Übereinstimmung zeigt (-0.9%) und damit erneut bestätigt, dass dort primär Sierzega das Problem hat, nicht Telraam.

Volltabelle mit V85-Kennzahlen je Standort siehe A.29 im Anhang.

Diese Tabelle dient als Ausgangsbasis für den Befund, dass Geschwindigkeit, die über alle Standorte hinweg verlässlichste Grösse ist (vgl. 5.4.2).

5.4.2 Generelle Muster über alle Standorte hinweg

Fussgänger-Unterschätzung: An allen drei Standorten unterschätzt Telraam die Fussgängerzahlen deutlich gegenüber der manuellen Zählung (Weiherweg -82.8%, Feldbergstrasse -59.4%, St. Alban Vorstadt -60.3%). Die Konsistenz über drei unabhängige Standorte, Messperioden und Verkehrssituationen hinweg spricht dafür, dass es sich um ein generelles Telraam-Problem handelt und nicht um eine standortspezifische Einzelbeobachtung.

Jedoch muss man hier auch erwähnen, dass es bei allen Standorten eher problematische Parkplätze gab, die auch den Gehsteig verdeckt haben oder das für das Telraamgerät nicht zu 100% das nähergelegene Trottoir ersichtlich war. Es ist trotzdem so, dass dieser beschriebene Verdeckungseffekte allein die Gröszenordnung dieser Unterschätzung kaum erklären können, da sie an allen drei, baulich sehr unterschiedlichen Standorten in ähnlicher Stärke auftritt; naheliegender ist eine grundlegende Schwäche der Bilderkennung bei kleinen, langsamen und häufig in Gruppen auftretenden Objekten.

Personenwagen robust, Velo mit deutlichem Sierzega-Sondereffekt: Personenwagen erreicht an allen drei Standorten und gegenüber allen Referenzsystemen SQV-Werte im oberen mittleren bis guten Bereich (0.70-0.80) und ist damit die verlässlichste Fahrzeugkategorie des gesamten Projekts. Velo zeigt gegenüber Manuell und Miovision ein bemerkenswert konsistentes Bild: durchgehend "mittel" (0.61-0.69), an allen drei Standorten nahe beieinander. Gegenüber Sierzega dagegen schwankt der Wert deutlich stärker, von "mittel" am Weiherweg (0.62) bis "schwach" an Feldbergstrasse und St. Alban (0.25-0.38). Ein Muster, das stärker mit der Zuverlässigkeit des jeweiligen Referenzsystems zusammenhängt als mit einer generellen Telraam-Schwäche bei Velo. Wichtig für die Einordnung: Velo erreicht bei keinem Referenzsystem durchgehend "gut", bleibt also auch gegenüber den saubereren Referenzen eine Kategorie mit Verbesserungspotenzial, nur eben nicht so schwach, wie der Sierzega-Vergleich allein vermuten liesse.

Schwerverkehr stark standortabhängig: Schwerverkehr schwankt zwischen "schwach" und "gut" und zeigt die grösste Streuung zwischen den Standorten (SQV 0.48-0.84 gegenüber Sierzega). Da Schwerverkehr an allen drei Standorten die mit Abstand kleinsten absoluten Fahrzeugzahlen aufweist, dominieren einzelne Fehlklassifikationen die prozentualen Kennzahlen besonders stark, am deutlichsten bei St. Alban Vorstadt (Faktor 11 gegenüber Sierzega bei nur +1.49 Fahrzeugen absolutem Bias).

Mofa-Zuordnung uneinheitlich: Die Frage, ob Telraam Mofas eher wie Velo oder wie Personenwagen behandelt, lässt sich nicht standortübergreifend einheitlich beantworten: Weiherweg und Feldbergstrasse sprechen tendenziell für „Mofa -> Personenwagen“, St. Alban Vorstadt dagegen klar für „Mofa -> Velo“ (Velo +12.3% statt +18.8%, Personenwagen -2.8% statt -37.8%). Das deutet darauf hin, dass Telraam Mofas nicht konsistent klassifiziert, vermutlich abhängig von der Bauform des einzelnen Fahrzeugs.

Nicht nur Telraam hat Schwächen auch Sierzega erfasst Velos systematisch schlecht: Ein direkter Vergleich von Sierzega SR7 mit der manuellen Zählung (ohne Telraam dazwischen) zeigt an allen drei Standorten eine drastische und hochsignifikante Untererfassung von Velos:

Kompensiert sich die Gesamtsumme oder nur wegen Velo? Da die Bias-Werte der Einzelkategorien sich mit Vorzeichen exakt zur Bias der Gesamtsumme aufaddieren, lässt sich direkt prüfen, ob Telraam Objekte zwischen Kategorien verschiebt (entgegengesetzte Vorzeichen -> Kompensation) oder ob ein echter, kategorienübergreifender Zählfehler vorliegt (gleiches Vorzeichen -> keine Kompensation):

Volltabelle mit den Bias-Werten je Kategorie und Standort, mit und ohne Velo, siehe A.30 im Anhang.

Nimmt man Velo aus der Summe heraus und betrachtet nur noch Personenwagen und Schwerverkehr zusammen („Motorisiert gesamt“), verschwindet die Kompensation in vier von sechs Kombinationen vollständig (0%). Personenwagen und Schwerverkehr bewegen sich also fast immer in dieselbe Richtung, statt sich gegenseitig Fahrzeuge abzuwerben. Die zuvor beobachtete Kompensation (57-71% bei Weiherweg/Manuell und Feldbergstrasse/Sierzega) geht damit praktisch vollständig auf Velo zurück. Das deutet darauf hin, dass sich primär Velo mit den motorisierten Kategorien verwechselt, konsistent mit Telraams eigener Dokumentation, wonach eng beieinander fahrende Velo-Gruppen von der KI als Auto oder sogar als Schwerverkehr wahrgenommen werden können (vgl. Kapitel 2), während Personenwagen und Schwerverkehr eher unabhängig voneinander über- oder unterschätzt werden, etwa durch die in Kapitel 6.2 diskutierte Lieferwagen-Zuordnung an der adaptiven Grössenschwelle.

Telraam, Sierzega und Miovision im direkten Vergleich

Der Vier-Wege-Vergleich zeigt bereits einzelne Werte je Standort. Zusammengefasst über alle drei Standorte lässt sich damit auch die Frage beantworten, welches der drei Systeme selbst am nächsten an der manuellen Referenz liegt (GEH/SQV, $f=10$, je $n=12$ Intervalle je Standort):

Volltabelle siehe A.31 im Anhang.

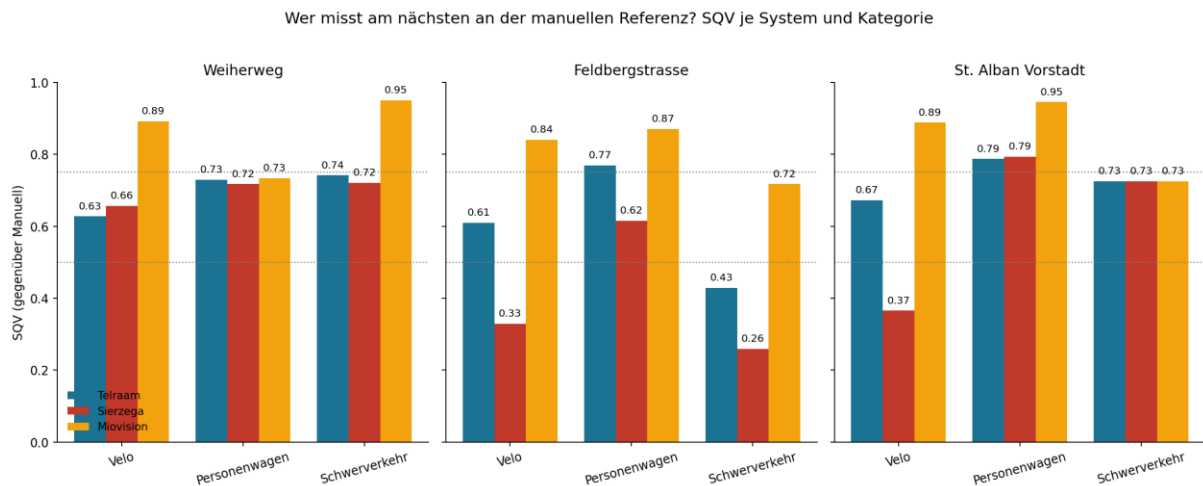


Abbildung S1: SQV von Telraam, Sierzega und Miovision gegenüber Manuell, je Standort und Kategorie

Miovision liegt in allen 9 Vergleichen (Standort x Kategorie) am nächsten an der manuellen Referenz - durchgehend 'gut' bei Velo (0.84-0.95) und Personenwagen (0.87-0.95), bei Schwerverkehr etwas durchwachsender aber nie am schlechtesten. Überraschender: Telraam selbst schlägt Sierzega in 6 von 9 Vergleichen, teils deutlich (Feldbergstrasse Velo: Telraam 0.61 'mittel' gegenüber Sierzega 0.33 'schwach'; Feldbergstrasse Schwerverkehr: 0.43 gegenüber 0.26). Nur bei Personenwagen liegt Sierzega gelegentlich knapp vor Telraam. Das relativiert die Rolle von Sierzega als „unabhängiger Prüfstein“, nicht nur gegenüber Telraam, sondern auch im direkten Vergleich mit der manuellen Referenz ist Sierzega häufig das schwächste der drei Systeme, nicht Telraam.

Das Bild bleibt über alle Standorte uneinheitlich: An der Feldbergstrasse weichen bei Schwerverkehr alle drei Systeme stark und in unterschiedliche Richtungen von der manuellen Zählung ab (Telraam +151%, Sierzega +293%, Miovision -45%), der uneinheitlichste Einzelbefund des ganzen Projekts. An St. Alban Vorstadt dagegen liegt Miovision bei Velo, Personenwagen und Fussgänger durchgehend sehr nah an der manuellen Zählung (-0.3% bis +1.4%). Für die Referenzwahl bedeutet das: Miovision ist an allen drei Standorten für Velo/Personenwagen eine verlässliche Referenz, bei Schwerverkehr dagegen so uneinheitlich wie Telraam und Sierzega selbst.

Verkehrsmenge-Effekt grösstenteils ein Sierzega-Artefakt: An allen drei Standorten wurde geprüft, ob der Telraam-Fehler mit steigender Verkehrsmenge zunimmt. Gegenüber Sierzega zeigt sich dieser Zusammenhang an zwei Standorten deutlich und hochsignifikant (Feldbergstrasse: $r^2=0.259$, $p<0.0001$; St. Alban Vorstadt: $r^2=0.531$, $p<0.0001$), am Weiherweg dagegen nur sehr schwach ($r^2=0.023$). Entscheidend: Gegenüber den unabhängigen Referenzsystemen Miovision und Manuell verschwindet der Effekt an allen drei Standorten fast vollständig (r^2 zwischen 0.000 und 0.034, alle $p>0.5$ - mit einer statistisch fragilen Ausnahme bei Weiherweg/Manuell bei $n=12$). Das deutet darauf hin, dass der scheinbar starke

Verkehrsmenge-Effekt primär mit Sierzega selbst zusammenhängt (z.B. abnehmende Sierzega-Genauigkeit bei hohem Verkehrsaufkommen), nicht mit einer echten Telraam-Eigenschaft, ein weiterer Beleg dafür, dass Sierzega als alleinige Referenz mit Vorsicht zu interpretieren ist.

Kein robuster Zusammenhang zwischen Autoaufkommen und Velo-/Fussgänger-Fehler:

Die naheliegende Hypothese, dass viel Autoverkehr die Velo- und Fussgängererfassung verschlechtert (z.B. durch Verdeckung), bestätigt sich standortübergreifend nicht:

Tabelle S2: Autoaufkommen und Velo-/Fussgänger-Fehler im Standortvergleich (vs. manuelle Zählung, je n=12)

Standort	Ø Autos/Fenster	Velo-Fehler	Fussgänger-Fehler
St. Alban Vorstadt	5.9 (am wenigsten)	26%	56%
Weiherweg	18.3	49% (am schlechtesten)	82% (am schlechtesten)
Feldbergstrasse	128.0 (am meisten)	26%	57%

St. Alban Vorstadt (mit Abstand am wenigsten Autoverkehr) und Feldbergstrasse (mit Abstand am meisten Autoverkehr) zeigen praktisch identische Velo- und Fussgänger-Fehler, während Weiherweg mit mittlerem Autoaufkommen bei beiden Kategorien am schlechtesten abschneidet. Eine U-förmige statt einer linearen Beziehung, die eher auf standortspezifische Einzelfaktoren (Kameraperspektive, Strassenbreite, Verdeckung durch Bäume o.ä.) als auf das Autoaufkommen selbst hindeutet. Auch die statistische Prüfung innerhalb der einzelnen Standorte liefert kein konsistentes Bild: Feldbergstrasse zeigt einen signifikant positiven, Weiherweg einen signifikant negativen und St. Alban Vorstadt keinen signifikanten Zusammenhang zwischen Autozahl und Velo-Fehler. Gepoolt über alle drei Standorte (n=36) verschwindet der Effekt vollständig ($r=-0.14$, $p=0.42$). Die einzelnen signifikanten Effekte innerhalb je eines Standorts sind damit am ehesten als standortspezifisches Rauschen zu werten, nicht als Beleg für einen echten, generalisierbaren Zusammenhang.

Richtungseffekte unterschiedlich stark ausgeprägt: Alle drei Standorte zeigen einen statistisch prüfbaren Unterschied zwischen den beiden Fahrtrichtungen, aber mit völlig unterschiedlicher praktischer Relevanz: am Weiherweg ist der Effekt signifikant, aber klein (Wilcoxon $p=0.0019$, mittlere Differenz -0.97 vs. +0.05 Fahrzeuge je Intervall); an der Feldbergstrasse ist er sowohl statistisch hochsignifikant als auch praktisch gross ($p<0.000001$, +27.61 vs. +3.05 Fahrzeuge je Intervall, alle drei Fahrzeugkategorien in dieselbe

Richtung verschoben); an St. Alban Vorstadt ist er trotz grosser prozentualer Unterschiede statistisch nicht nachweisbar ($p=0.080$). Was aber hier daran liegt, dass die St. Albanvorstadt nicht wirklich zwei Spuren hat und so dieser Unterschied nicht nachweisbar ist. Die drei Standorte decken damit alle denkbaren Kombinationen aus statistischer Signifikanz und praktischer Grösse ab. Ein Hinweis darauf, dass Richtungseffekte offenbar stark von der konkreten Kamera- und Sensormontage am jeweiligen Standort abhängen und sich nicht pauschal auf „Telraam allgemein“ verallgemeinern lassen. Im Unterschied zum Verkehrsmenge-Effekt bestätigen sich diese Richtungsbefunde grösstenteils auch gegenüber Miovision und Manuell (Feldbergstrasse: $p<0.0001$ bzw. $p=0.0005$; Weiherweg: $p=0.0020$ gegenüber Manuell, wenn auch nicht signifikant gegenüber Miovision, $p=0.109$; St. Alban Vorstadt: durchgehender Nullbefund bei $p=0.33-0.37$). Die Richtungseffekte sind damit, anders als der Verkehrsmenge-Effekt, überwiegend echte Telraam-Eigenschaften und kein Sierzega-Artefakt.

Geschwindigkeit (V85) als durchgehend zuverlässigste Grösse: An allen drei Standorten weicht die von Telraam geschätzte V85-Geschwindigkeit nur gering von Sierzega ab (Weiherweg +2.3%, Feldbergstrasse -3.1%, St. Alban Vorstadt +6.1%) und schneidet damit in jedem Kapitel deutlich besser ab als jede der Verkehrsmengen-Kategorien. Das legt nahe, dass Telraams grösste Schwächen im Bereich der Fahrzeug-/Personenklassifikation liegen, nicht in der reinen Geschwindigkeitsmessung.

6 Synthese

6.1 Gesamteinordnung der Ergebnisse

Diese Arbeit hat den Telraam S2 an drei unterschiedlichen Basler Standorten geprüft: einer Verbindungsstrasse (Weiherweg), einer Hauptverkehrsachse (Feldbergstrasse) und einer Begegnungszone (St. Alban Vorstadt). Als Referenzmessung diente die manuelle Videoauszählung, ergänzend wurden zwei automatische Vergleichsmessungen herangezogen, das Videosystem Miovision und der Seitenradar Sierzega, wobei Sierzega grundsätzlich nicht für Velo- und Fussverkehr geeignet ist und deshalb nur für den motorisierten Verkehr als Vergleich dient.

Ein Aspekt, der die Ergebnisse durchgehend mitbestimmt, ist die Tageszeit: Telraam unterscheidet zwischen einem Tag- und einem Nachtmodus, wobei nachts keine Aufschlüsselung nach Verkehrsmittel erfolgt, sondern nur eine zusammengefasste Gesamtzahl geliefert wird. Der Wechsel zwischen den beiden Modi folgt dabei nicht einfach nach der Uhrzeit, sondern der tatsächlichen Bildhelligkeit. Am Weiherweg schaltete das Gerät während eines aufziehenden Gewitters für 45 Minuten unerwartet in den Nachtmodus, obwohl es noch früher Abend war. Für die Auswertung wurden deshalb ausschliesslich der Tagesstunden verwendet, die Nacht bleibt eine der grössten verbleibenden Unsicherheiten dieser Arbeit (vgl. Forschungslücken unten).

Bei den Tageswerten zeigt sich, dass die Datenqualität einerseits von der Technologie selbst, aber auch stark vom Einsatzkontext abhängt. Personenwagen und Geschwindigkeit funktionieren an allen drei Standorten durchgehend sehr gut (SQV 0.70-0.80 gegenüber der Referenzmessung). Beim Schwerverkehr kommt es stark auf die jeweilige Strasse an (SQV zwischen 0.29 und 0.84). Vermutlich weil hier je nach Standort unterschiedlich viele Grenzfälle auftreten. Denn es ist nicht genau ermittelbar, was Telraam als Schwerverkehr zählt, deswegen, kann dies zu Verwechslungen führen. Velo erreicht gegenüber der Referenzmessung sowie gegenüber Miovision durchgehend "mittel" (SQV 0.61-0.69, an allen drei Standorten ähnlich). Am schwächsten schneidet Fussverkehr ab: eine konsistente Unterschätzung von -59% bis -83% an allen drei Standorten (SQV 0.43-0.51).

Vor diesem Hintergrund lässt sich auch einordnen, wie gut sich die Ergebnisse mit den Herstellerangaben decken. Bei Personenwagen deckt sich der Befund mit Hersteller- und Literaturangaben (Janež et al. 2022). Bei Fussgängern bestätigt sich die vom Hersteller selbst eingeräumte Schwäche. Bei Velo liegt Telraam gegenüber Miovision nahe an der Herstellerangabe (92-96%), gegenüber der Referenzmessung mit SQV 0.61-0.69 aber deutlich darunter. Für Velo und Fussgänger existiert zudem keine unabhängige wissenschaftliche Vergleichsstudie, weshalb ein direkter Abgleich mit weiterer Forschung fehlt.

6.2 Wieso werden Velo- und Fussverkehr schlechter gemessen?

Wieso gerade der Fussverkehr und auch der Veloverkehr schlechter gemessen werden als der motorisierte Verkehr, lässt sich nicht mit letzter Sicherheit sagen. Die plausibelste Vermutung: Telraam hat vor allem dann Mühe, wenn sich mehrere Objekte im Bild überschneiden. Mehrere Velofahrende nebeneinander oder eine Gruppe Fussgänger dürften leichter zu einer einzigen, falsch eingeordneten Einheit zusammengefasst werden als ein einzelnes Objekt. Dazu kommt, was im Sichtfeld der Kamera steht: parkierte Fahrzeuge etwa können Fussgänger aber auch Velofahrende zusätzlich verdecken.

Ein Grossteil der Sierzega-Vergleichsmessung musste dabei bewusst ausgeklammert werden: Der Seitenradar Sierzega ist bauartbedingt nicht für die Erfassung von Veloverkehr geeignet, da er Objekte primär über ihre radartechnisch erkennbare Grösse und Geschwindigkeit unterscheidet. Ein direkter Vergleich von Telraam gegen Sierzega bei diesen beiden Kategorien wäre daher nicht aussagekräftig und wird in dieser Arbeit entsprechend nicht als Beleg für die Telraam-Genauigkeit herangezogen. Massgeblich sind hier ausschliesslich die Referenzmessung (manuell) und die Vergleichsmessung mit Miovision.

6.3 Welche Faktoren bestimmen die Datenqualität?

Die Einflussfaktoren lassen sich in fünf Gruppen einteilen, die jedoch voneinander abhängig sind und erst im Zusammenspiel die Datenqualität bestimmen:

- Standort & Sensortechnik (Strassentyp, Kameraposition, Klassifikation)
- Verkehr (Menge, Mischung, Gruppen)
- Umwelt (Licht, Wetter)
- Organisation (Verfügbarkeit, Zustimmung)
- Fragestellung (Was will man überhaupt messen?)

6.3.1 Standort & Sensortechnik

Damit Telraam genau zählt, muss einiges stimmen: Kamerahöhe, Sichtwinkel, Entfernung zur Fahrbahn, Kalibrierung, Mobilfunkabdeckung und Fensterqualität. Steht die Kamera zu nah an der Fahrbahn oder ist der Sichtwinkel ungünstig, können Fahrzeuge das Bild verlassen, bevor sie vollständig erfasst sind, oder Bereiche der Fahrbahn und Trottoirs bleiben durch parkierte Autos oder Pflanzen verdeckt. Am Weiherweg war genau das der Fall: Ein Vergleich der Kamera-Screenshots mit der tatsächlichen Strassensituation zeigt, dass ein Teil des näher gelegenen Gehwegs nicht im Bildausschnitt lag.

Der Standorttyp beeinflusst die Ergebnisse deutlich, aber nicht wie erwartet: Die Verkehrsmenge korreliert nicht mit der Fehlergrösse. St. Alban Vorstadt zeigt trotz mit Abstand geringstem Verkehrsaufkommen einen höheren absoluten Bias beim multimodalen Gesamtwert als die deutlich stärker befahrene Feldbergstrasse (+44.39 gegenüber +27.14 Fahrzeuge je Intervall gegenüber Sierzega). Entscheidender

scheinen die Verkehrszusammensetzung und die konkrete Sichtsituation vor Ort zu sein. Zudem zeigt einzig die Feldbergstrasse eine praktisch relevante Richtungsasymmetrie.

6.3.2 Verkehr

Aus dem Verkehr selbst wirken sich Verkehrsmenge, Mischverkehr, Fussgängergruppen, parallel fahrende Velos, der Schwerverkehr-Anteil und hohe Geschwindigkeiten auf die Zählgenauigkeit aus. Der Zusammenhang mit der Verkehrsmenge ist dabei nicht so einfach, wie man zuerst denken würde: Gegenüber Sierzega zeigte sich beim motorisierten Verkehr ein klarer Zusammenhang (mehr Verkehr, mehr Fehler), gegenüber der unabhängigen Miovision-Vergleichsmessung verschwand dieser Effekt aber fast vollständig (5.4). Vermutlich, weil Sierzega selbst bei viel Verkehr ungenauer misst. Das zeigt: Nicht jeder scheinbare Telraam-Fehler ist tatsächlich einer, sondern kann auch von der jeweiligen Vergleichsmessung herühren.

6.3.3 Umfeld

Parkierte Autos haben einen direkten Einfluss auf die Zählung. Ein typisches Beispiel sind Fussgänger, die hinter parkierten Fahrzeugen kaum oder schlecht erkennbar sind. Daneben spielen Bäume, Schilder und Bushaltestellen im Blickfeld eine weitere Rolle, dies war sowohl am Weiherweg als auch an der Feldbergstrasse der Fall.

Doch parkierte Autos haben nicht nur einen Einfluss auf die Fussgänger, sondern auch auf die Velofahrer, den auch diese könnte von parkierten Autos am Gehweg verdeckt werden und deswegen falsch gezählt werden.

6.3.4 Organisation

Diese Kategorie wurde bislang kaum untersucht: eine geeignete Wohnung finden, Bewohnende kontaktieren, Zustimmung einholen, Stromversorgung sicherstellen, ein passendes Fenster finden. Man hat zwar eine Vorstellung, wo und was man zählen möchte. Die eigentliche Herausforderung liegt aber darin, dafür auch den passenden Platz zu finden. An der Feldbergstrasse musste zum Beispiel erst eine anwohnende Person gefunden werden, die überhaupt bereit war, ein Gerät bei sich zu installieren. Und selbst wenn ein Standort gefunden ist, entscheidet der genaue Blickwinkel mit: Am Weiherweg konnte die Kamera den näher gelegenen Gehweg nicht miterfassen, weil der Winkel es nicht zulies. Die praktischen Anforderungen erwiesen sich damit insgesamt als deutlich restriktiver, als aufgrund der Herstellerangaben zunächst erwartet.

6.3.5 Fragestellung

Was man überhaupt wissen möchte, bestimmt massgeblich, welches System sich eignet. Reicht ein grober Eindruck der Verkehrsmenge über längere Zeit, ist Telraam bereits heute eine gute, kostengünstige Wahl (vgl. Tabelle 15). Sind dagegen exakte Zahlen gefragt, insbesondere bei Velo- oder Fussverkehr oder an einer stark befahrenen Strasse, stösst Telraam schneller an seine Grenzen als bei einer einfachen Trendbeobachtung (vgl. Tabelle 16). Die Fragestellung sollte deshalb bereits vor der Wahl des Messsystems geklärt sein, nicht erst danach.

6.4 Wo liegen die Grenzen von Telraam?

Die Grenzen hängen eng mit den oben beschriebenen Faktoren zusammen, lassen sich aber in drei Gruppen einteilen:

6.4.1 Technische Grenzen

- Verdeckungen: parkierte Fahrzeuge oder ein geschlossener Rollladen können die Sicht komplett blockieren. Am Weiherweg registrierte Telraam wegen eines versehentlich geschlossenen Rollladens während zwei Stunden gar keine Fahrzeuge, obwohl der Verkehr normal weiterlief.
- Gegenlicht und andere ungünstige Lichtverhältnisse: Dämmerung, direkte Sonneneinstrahlung oder ein plötzlich aufziehendes Gewitter können die Bildqualität kurzfristig stark verschlechtern - so beim bereits erwähnten Gewitter am Weiherweg, das Telraam kurzzeitig in den Nachtmodus schalten liess.
- Gruppen von Fussgängern oder Velofahrenden: Wenn mehrere Personen oder Velos eng beieinander unterwegs sind, scheint die Bilderkennung sie eher als ein einzelnes, grösseres Objekt zu interpretieren statt als mehrere Einzelobjekte. Das würde die durchgehend tiefen Werte bei Velo und Fussgänger gut erklären.
- Sehr dichter Verkehr: Je mehr Fahrzeuge gleichzeitig im Bild sind, desto grösser das Risiko von Verwechslungen zwischen Kategorien.

6.4.2 Methodische Grenzen

- Keine Qualitätskontrolle durch Dritte: Niemand ausserhalb des Telraam-Geräts selbst prüft laufend, ob die Klassifikation stimmt. Fehler würden nicht systematisch auffallen.
- Unbekannte Kriterien bei der Verkehrserkennung: Anders als bei Sierzega, wo eine feste Längenschwelle bekannt ist, weiss man bei Telraam nicht genau, nach welchen Kriterien und mit welchen Trainingsdaten das Modell die Fahrzeugklassifizierung vornimmt.

- Keine Rohbilder verfügbar: Ohne Zugriff auf das ursprüngliche Bildmaterial lässt sich eine falsche Zählung im Nachhinein nicht mehr nachvollziehen. Man kann nur vermuten, was passiert ist, nicht beweisen.
- Mofa-Problematik: Je nach Standort und Fahrzeugbauart wird ein Mofa mal als Velo, mal als Personenwagen gezählt. Eine Grauzone, die die Ergebnisse zusätzlich verwässert.
- Schwerverkehr: Auch hier ist nicht genau ersichtlich, was unter die Klassierung "Heavy Vehicle" fällt, was ebenfalls die Fehlerquote beeinflusst.

6.4.3 Praktische Grenzen

- Ein geeignetes Fenster wird zwingend benötigt, oder man arbeitet mit dem Telraam Outdoor
- Privatpersonen müssen für die Installation gewonnen werden, was Zeit kostet und nicht überall gelingt.
- Kein beliebiger Standort ist möglich, man ist auf die verfügbaren, geeigneten Fensterplätze angewiesen - was zum Problem werden kann, wenn man auf einen messtechnisch idealen Punkt angewiesen ist.

6.5 Handlungsempfehlungen

Kurz zusammengefasst: Wenn man einfach wissen will, was in einer Strasse los ist, ein Grundeindruck, eine grobe Grössenordnung ohne hohen Anspruch an Präzision, reicht Telraam gut aus. Sobald genauere Werte gefragt sind, vor allem an einer grösseren Strasse, sind klassische Zählsysteme eher im Vorteil. Wobei auch Sierzega, wie oben gezeigt, nicht durchgehend besser abschneidet, vorallem bei Velos.

Eine feste Grenze nach Strassengrösse oder Verkehrsmenge lässt sich aus den Daten nicht sauber ableiten: Der Zusammenhang "mehr Verkehr = grösserer Fehler" zeigte sich zwar gegenüber Sierzega deutlich, verschwand aber gegenüber der unabhängigen Miovision-Referenz fast vollständig (5.4). Dies dürfte eher an Sierzega selbst liegen als an einer echten Telraam-Eigenschaft. Wichtiger als die reine Fahrzeugzahl scheint deshalb die Art des Verkehrs zu sein: viel Mischverkehr, viele Velos oder Fussgänger gleichzeitig machen Telraam mehr zu schaffen als eine grosse, aber gleichmässige Anzahl Autos.

Tabelle 15: Eignung von Telraam nach Situation

Situation	Eignung	Empfehlung
Verbindungsstrasse, Tempo-30-Zone (motorisierter Verkehr)	sehr gut	Ohne grosse Bedenken einsetzbar.
Dauerzählung über mehrere Wochen	sehr gut	Kostenvorteil wirkt sich hier am stärksten aus (6.5).

Situation	Eignung	Empfehlung
Hauptverkehrsachse (Personenwagen)	gut	Kamera-/Fahrspur-Ausrichtung vorher prüfen.
Kurzzeitprojekt (wenige Tage)	eher nicht	Miovision oder manuelle Zählung meist die bessere Wahl.
Velo- oder Fussverkehrs-Schwerpunkt	Eher nicht	Nicht ohne unabhängige Zusatzmessung einsetzen.

Die Tabelle zeigt vor allem eines: Telraam ist nicht generell gut oder schlecht, sondern die Eignung hängt von der Situation ab. Am eindeutigsten ist sie bei ruhigem, motorisiertem Verkehr über längere Zeit. Hier passt sowohl die Genauigkeit als auch der Kostenvorteil. Am unteren Ende (Velo/Fussverkehr, Kurzzeitprojekte) überwiegen dagegen die Nachteile.

Wer belastbare Velo- oder Fussverkehrszahlen benötigt, sollte nicht mit Telraam allein arbeiten. Als Ersatz kommt am ehesten Miovision infrage. Bei Velo schnitt Miovision in dieser Arbeit besser ab als Telraam und lag meist am nächsten an der manuellen Referenz (5.4). Für Fussverkehr bleibt eine punktuelle manuelle Kontrollzählung die sicherste Wahl.

6.6 Kosten-Nutzen-Betrachtung

Für viele Fragestellungen ist nicht die höchstmögliche Genauigkeit entscheidend, sondern ein angemessenes Verhältnis zwischen Kosten und Nutzen. Das zeigt sich auch bei der Wahl zwischen den drei in dieser Arbeit verglichenen Systemen.

Telraam lohnt sich vor allem dort, wo eine Dauerbeobachtung über längere Zeit gefragt ist und die Genauigkeit bei Personenwagen und Geschwindigkeit ausreicht: Ein Gerät kostet 199€ einmalig, dazu 15-25€ im Monat, über eine längere Messdauer verteilt damit deutlich günstiger als die Alternativen. Miovision lohnt sich eher für eine einzelne, aber genauere Kurzzeiterhebung, vor allem, wenn auch Velo- oder Fussverkehrszahlen wichtig sind: Hier fällt zusätzlich eine Auswertungsgebühr an, die sich bei längeren Messintervallen schnell summiert. Sierzega liegt in den Anschaffungskosten ähnlich wie Miovision über Telraam und eignet sich durch die feste, und schnelle Montage gut für Standorte mit hohen Ansprüchen an die Messgenauigkeit vorallem von motorisiertem Verkehr allerdings mit einer wichtigen Einschränkung: Bei Velo ist Sierzega selbst nicht zuverlässiger als Telraam (6.1), weshalb sich der höhere Preis gerade in dieser Kategorie nicht unbedingt auszahlt, wenn man auch den Veloverkehr messen möchte.

Mit Fokus auf Telraam heisst das: ein guter Ersatz für klassische Zählungen bei motorisiertem Verkehr und Geschwindigkeit über längere Zeit, aber kein genereller Ersatz für die anderen Systeme. Bei Velo wäre, vorausgesetzt das Budget stimmt, eher Miovision die bessere Wahl, bei Fussverkehr bleibt eine manuelle Zählung meist unumgänglich.

6.7 Für welche Anwendungen eignet sich Telraam?

Tabelle 16: Anwendungsbereiche

Anwendung	Eignung
Quartiermonitoring, Verkehrsberuhigung, Tempo-30-Kontrolle	sehr geeignet
Vorher-Nachher-Vergleiche, Langzeitmessungen	sehr geeignet
Citizen Science, allgemeine Trendbeobachtung	sehr geeignet
Hauptverkehrsachsen, Mischverkehr	bedingt geeignet
Amtliche Referenzzählungen	nicht geeignet
Detailanalysen einzelner Fahrzeugklassen (v.a. Schwerverkehr)	nicht geeignet
Wissenschaftliche Studien ohne begleitendes Referenzsystem	nicht geeignet

6.8 Was ist der eigentliche Mehrwert von Telraam?

Telraam kann Messungen an Orten ermöglichen, an denen eine kontinuierliche Erhebung mit klassischen Systemen aus Kostengründen oft nicht stattfindet. Das zu einem weiteren Vorteil führt: Weil das Gerät so kostengünstig ist, lässt sich ein ganzes Quartier oder Korridor mit mehreren Telraam-Geräten abdecken. Hinzu kommt die Niederschwelligkeit: Telraam lässt sich ohne Fachpersonal an einem Fenster montieren, das macht Telraam interessant für Projekte, bei denen sonst gar kein Budget oder Know-how für eine Verkehrszählung vorhanden wäre.

Forschungslücken

Um Telraam noch genauer einzugrenzen, wo es gut und wo es schlecht misst, wären folgende Untersuchungen sinnvoll:

- Wintermessungen fehlen bisher vollständig -> die in dieser Arbeit vorgenommene Winterhochrechnung beruht nur auf Sommerdaten und bleibt ungeprüft.

- Nachtmessungen mit alternativer Referenztechnologie -> aktuell liefert Telraam nachts nur eine aggregierte Gesamtzahl statt einer Aufschlüsselung nach Verkehrsmittel, was sich mangels geeigneter nächtlicher Referenz nicht überprüfen liess.
- Verhalten bei Schneefall -> Schnee könnte die Bilderkennung zusätzlich erschweren, wurde in dieser rein sommerlichen Messung aber nicht getestet.
- Tramverkehr -> an keinem der drei Standorte kam Tramverkehr vor, weshalb unklar ist, wie Telraam auf ein Tram reagiert.
Busverkehr-> wird dem Schwerverkehr zugeteilt, könnte man aber trotzdem nochmals genaues Prüfen
- Reine Velostrassen -> da Velo gegenüber Sierzega die schwächste Kategorie ist (wenn auch nicht gegenüber Miovision oder der manuellen Zählung), wäre interessant, ob sich das Bild bei einem Standort mit noch höherem Veloanteil bestätigt oder anders zeigt.
- Die Telraam-Outdoor-Version -> diese Arbeit testete nur die Innenraum-Variante. Die Outdoor-Version könnte durch die andere Montageposition andere Ergebnisse liefern.
- Weiterentwicklung der KI-Klassifikation über die Zeit -> wie verändern sich die Resultate, wird das Gerät mit den Jahren besser

6.9 Fazit

Die vorliegende Arbeit zeigt, dass der Telraam-S2-Sensor grundsätzlich ein leistungsfähiges und kostengünstiges System zur multimodalen Verkehrserfassung darstellt. Die erzielte Datenqualität hängt jedoch wesentlich von der Wahl eines geeigneten Standorts sowie von den örtlichen Verkehrsverhältnissen ab. Insbesondere freie Sicht, geringe Verdeckungen und ein übersichtlicher Strassenraum sind entscheidende Voraussetzungen für zuverlässige Messergebnisse. Für Langzeitbeobachtungen, Quartiermonitoring und verkehrsplanerische Vorher-Nachher-Untersuchungen bietet Telraam ein sehr gutes Verhältnis zwischen Kosten und Nutzen. Für komplexe Verkehrssituationen oder hochpräzise Referenzmessungen bleiben etablierte Systeme wie Miovision oder manuelle Kontrollzählungen jedoch die geeignetere Wahl.

Der eigentliche Mehrwert von Telraam liegt nicht darin, bestehende Systeme zu ersetzen, sondern darin, Messungen an Orten und über Zeitperioden zu ermöglichen, an denen aus Kostengründen sonst gar keine Daten erhoben würden, kombiniert mit einer Niederschwelligkeit, die auch Quartiervereinen oder Gemeinden ohne eigene Fachstelle eine kontinuierliche Verkehrsbeobachtung ermöglicht.

7 Dank

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen bedanken, die zum Gelingen dieser Bachelorarbeit beigetragen haben.

Mein besonderer Dank gilt Alexander Erath und Tim Cotti von der Fachhochschule Nordwestschweiz sowie dem Experten dieser Arbeit Daniel Sauter von für die fachliche Betreuung, die wertvollen Rückmeldungen und die Unterstützung während der gesamten Projektdauer.

Ebenfalls danken möchte ich Kathrin Grotrian, Projektleiterin Mobilitätsstrategie beim Kanton Basel-Stadt, für die Erteilung der Bewilligungen zur Montage der Messgeräte im öffentlichen Raum.

Ein herzlicher Dank geht an die Anwohnenden an der Feldbergstrasse, am Weiherweg und an der St. Alban-Vorstadt, die bereitwillig ihre Fenster für die Installation der Telraam-Sensoren zur Verfügung gestellt haben. Ohne ihre Unterstützung wäre diese Feldarbeit nicht möglich gewesen.

8 Literatur

8.1 Literaturverzeichnis

- analgis.ch (2026) Temporäre Velozählungen – welche Technologien liefern verlässliche Mobilitätsdaten?
- Bland, J. M. und Altman, D. G. (1986) Statistical Methods for Assessing Agreement between Two Methods of Clinical Measurement. In: The Lancet: Jg. 327 (8476) S. 307–310.
- Eisler, G. (2012) Seitenradar – was können sie? Was muss man wissen?
- Friedrich, M.; Pestel, E.; Schiller, C. und Simon, R. (2019) Scalable GEH: A Quality Measure for Comparing Observed and Modeled Single Values in a Travel Demand Model Validation. In: Transportation Research Record: Jg. 2673 (4) S. 722–732.
- Janež, N.; Verovšek, Š.; Zupančič, T. und Moškon, M. (2022) Citizen Science for Traffic Monitoring. In: Sustainability: Jg. 14 (2) S. 622.
- Kanton Basel-Stadt, Amt für Mobilität (2026) Verkehrszählungen Velos und Fussgänger (Open Data Portal).
- Litscher, D.; Rechsteiner, U. und Büchler, U. (2026) Zählstellen im Kanton und in der Stadt St. Gallen.
- Miovision (2026a) A Safe Way to Collect Traffic Data / End-to-end Traffic Studies Solution. Verfügbar über: <https://miovision.com/lp/traffic-studies/>.
- Miovision (2026b) Scout Plus Hardware Specifications.
- Miovision (2026c) Scout Plus Onboard Processing FAQ. Verfügbar über: <https://help.miovision.com/s/article/Scout-Plus-Onboard-Processing-FAQ>.
- Miovision (2026d) Scout Deployment Guidelines. Verfügbar über: <https://help.miovision.com/s/article/Scout-Deployment-Guidelines?language=de>.
- Nassereddine, H. (2025) Assessment of cyclists yielding to pedestrians at an unsignalized zebra crossing in Germany using drone video. In: Scientific Reports.
- NWZ Online (2026) Mit Telraam selbst Verkehrsdaten sammeln. Verfügbar über: https://www.nwz-online.de/oldenburg/verkehrszaehler-fuer-buerger-telraam-misst-auch-tempo-im-strassenverkehr_a_4,2,3736810167.html.
- OpenTrafficCam (2026) Verkehrszählgerät für Kommunen und Planungsbüros. Verfügbar über: <https://opentrafficcam.org/blog/verkehrszaehlgeraet/>.
- Pápics, P. I. (2019) White Paper – Potential Inaccuracies in Telraam: Learning from 40 Million Data Points. Transport & Mobility Leuven.
- Pestalozzi, C.; Bucheli, D. und Sauter, D. (2022) Empfehlungen zur Zählung des Fussverkehrs. Bern: Bundesamt für Strassen, SVI-Forschungsbericht No. 1720.
- Sauter, D. (2011) Erfahrungsbericht zu automatischen Fussgänger- und Velozählgeräten. Stadt Zürich.
- Schmidt, A. und Männel, T. (2017) Potenzialanalyse zur Mobilfunkdatennutzung in der Verkehrsplanung. Fraunhofer IAO.
- Schweizer Fachstelle Verkehrstechnik (2026) Mobile Verkehrserhebungen mit Seitenradar. Verfügbar über: <https://docplayer.org/126732279-Mobile-verkehrserhebungen-mit-seitenradar.html>.
- Sierzega Elektronik GmbH (2026a) Verkehrserfassungsgerät SR7. Verfügbar über: <https://www.sierzega.com/de-de/produkte/product-viewer/sierzega-sr7>.
- Sierzega Elektronik GmbH (2026b) SRA Web (Auswertesoftware). Verfügbar über: <https://sra.sierzega.com/>.

- Sierzega Elektronik GmbH (2026c) SR7 Kurzanleitung (Statistik Radar).
- Stadt Bern, Fachstelle Fuss- und Veloverkehr (2026) Velodaten Bern 2014–2017.
- Stadt Zürich (2026) Velovorzugsrouten, häufige Fragen. Verfügbar über: <https://www.stadt-zuerich.ch/de/mobilitaet/velo/velovorzugsrouten/haeufige-fragen.html>.
- Swisscom (2026) Mobility Insights. Verfügbar über: <https://www.swisscom.ch/de/business/enterprise/angebot/platforms-applications/data-driven-business/mobility-insights-data.html>.
- SWISSTRAFFIC AG (2026a) Verkehrszählung. Verfügbar über: <https://www.swisstraffic.ch/verkehrszaehlung>.
- SWISSTRAFFIC AG (2026b) Projekte – swissLASER, Kanton Thurgau. Verfügbar über: <https://www.swisstraffic.ch/projekte>.
- Telraam (2026a) Requirements for a suitable window and location. Verfügbar über: <https://faq.telraam.net/en/article/3/requirements-for-a-suitable-window-and-location>.
- Telraam (2026b) Accuracy and precision of the S2 traffic counter. Verfügbar über: <https://telraam.net/en/accuracy-and-precision-of-the-s2-traffic-counter>.
- Telraam (2026c) Speed measurement and unrealistic speed data. Verfügbar über: <https://faq.telraam.net/speed-measurement-and-unrealistic-speed-data>.
- Telraam (2026d) Pricing. Verfügbar über: <https://telraam.net/en/shop>.
- Telraam (2026e) Classification of objects with Telraam S2. Verfügbar über: <https://faq.telraam.net/article/39/classification-of-objects-with-telraam-s2>.
- Telraam (2026f) Potential inaccuracies with Telraam S2. Verfügbar über: <https://faq.telraam.net/article/43/potential-inaccuracies-with-telraam-s2>.
- Telraam (2026g) News and new features! Verfügbar über: <https://telraam.net/eng/blog/news-and-new-features>.
- Telraam-S2 (GitHub) (2026a) count-performance-validation.md. Verfügbar über: <https://github.com/Telraam/Telraam-S2/blob/main/count-performance-validation.md>.
- Telraam-S2 (GitHub) (2026b) count-consistency-validation.md. Verfügbar über: <https://github.com/Telraam/Telraam-S2/blob/main/count-consistency-validation.md>.
- Texas A&M Transportation Institute (2026) Vehicle Detector Evaluation.
- Transport & Mobility Leuven (2026) About us. Verfügbar über: <https://www.tmleuven.be/en/content/about-us>.
- wavetec Radar Solutions (2026) Das zuverlässigste Seitenradar. Verfügbar über: <https://wavetec-online.de/seitenradar/>.
- WeCount (2019) Citizen Observatories for Wellbeing-related Environmental Concerns. Verfügbar über: <https://we-count.net>.
- Wierbos, M. J. und Knoop, V. L. (2026) Pedestrian and Bicycle Volume Data Collection Using Drone Technology.
- Zweibrücken, K.; Sauter, D.; Schweizer, T.; Stäheli, A. und Beaujean, K. (2005) Erhebung des Fuss- und Veloverkehrs.

8.2 Dokumentation des KI-Einsatzes

Für die Erstellung dieser Arbeit wurde das KI-System Claude (Anthropic) als methodisches Werkzeug eingesetzt. Nachfolgende Tabelle dokumentiert Einsatzform, betroffene Kapitel und Zeitraum gemäss FHNW-Leitfaden "Wissenschaftliches Schreiben und Arbeiten mit KI".

KI-basiertes Hilfsmittel	Einsatzform	Betroffene Teile der Arbeit	Datum
Claude (Anthropic, Sonnet/Opus 4.x)	Umformulierung und sprachliche Korrektur bestehender Textabschnitte (Grammatik, Stil, Kürzungen)	Diverse Kapitel über die gesamte Arbeit hinweg	Laufend Juni–August 2026
Claude (Anthropic, Sonnet/Opus 4.x)	Weitere Einsatz in Kapitel 1–4 im Rahmen des Schreibens der Texte -> Ausformulierung von Stichwörter und das daraus generieren von Textstellen	Kapitel 1–4	Juni–August 2026
Claude (Anthropic, Sonnet/Opus 4.x)	Generierung von R sowie Python-Code zur statistischen Auswertung (Bias, GEH, SQV, Signifikanztests); Ergebnisse durch Autor plausibilisiert	Kapitel 5 (alle Unterkapitel), Anhang A.1–A.30	Juli–August 2026
Claude (Anthropic, Sonnet/Opus 4.x)	Erstellung von Diagrammen/Abbildungen (Scatterplots, Boxplots, Balkendiagramme) aus eigenen Rohdaten	Kapitel 5, Anhang, Präsentationsfolien	Juli–August 2026
Claude (Anthropic, Sonnet/Opus 4.x)	Restrukturierung von Kapitelinhalten (Verschiebung von Tabellen in den Anhang, Neugliederung Kapitel 5)	Kapitel 5, Anhang	August 2026
Claude (Anthropic, Sonnet/Opus 4.x)	Mitformulierung neuer Textabschnitte auf Basis eigener Rohdaten und Vorgaben (z. B. Unterkapitel 'Standort', 'Fragestellung' in 6.3); vollständig durch Autor geprüft und freigegeben	Kapitel 6, Anhang-Texte	August 2026
Claude (Anthropic, Sonnet/Opus 4.x)	Mitformulierung und Ausformulierung von Stichworten zu Fliesstext; Erstellung von Diagrammen/Abbildungen	Blögeintrag	August 2026

9 Anhänge

A.1 Weiherweg: Deskriptive Statistik (Volltabelle)

Tabelle 1: Deskriptive Statistik Telraam, Weiherweg (n=240)

Grösse		Mittelwert	Median	SD	Min	Max
Velo		9.47	5.00	11.20	0	65
Personenwagen		14.87	17.00	12.63	0	71
Schwerverkehr		3.10	2.00	3.87	0	39
Multimodal gesamt		27.44	31.00	23.47	0	175
Fussgänger		1.83	1.00	2.27	0	9
Speed	V85 (km/h)	33.64	34.50	5.50	4	42

A.2 Weiherweg: MAPE/MAE/RMSE, Telraam vs. Sierzega

Ergänzt Tabelle 2a des Hauptkapitels um MAPE/MAE/RMSE.

Grösse	MAPE	MAE	RMSE
Velo	64.6%	7.84	9.88
Personenwagen	25.6%	5.10	7.79
Schwerverkehr	33.3%	1.31	3.00
Multimodal gesamt	24.3%	8.36	14.60

A.3 Weiherweg: MAPE/MAE/RMSE, Telraam vs. Miovision**Ergänzt Tabelle 2b des Hauptkapitels um MAPE/MAE/RMSE.**

Grösse	MAPE	MAE	RMSE
Velo	45.4%	10.86	13.04
Personenwagen	20.4%	4.04	5.28
Schwerverkehr	74.1%	1.82	2.61
Multimodal gesamt	19.6%	8.86	10.67

A.4 Weiherweg: MAPE/MAE/RMSE, Telraam vs. Manuell**Ergänzt Tabelle 2c des Hauptkapitels um MAPE/MAE/RMSE.**

Grösse	MAPE	MAE	RMSE
Velo	48.8%	11.67	14.19
Personenwagen	32.7%	5.83	7.26
Schwerverkehr	41.8%	1.50	2.31
Multimodal gesamt	15.6%	7.50	9.46

A.5 Weiherweg: Zusammenhang der Messungen und Bland-Altman-Analyse**Zusammenhang der Messungen**

- Pearson r: Mass für den linearen Zusammenhang zwischen Telraam- und Referenzwert je Intervall, Werte zwischen -1 und +1. r nahe 1 bedeutet: steigt der Referenzwert, steigt auch der Telraam-Wert proportional mit - sagt aber nichts darüber aus, ob die absoluten Werte übereinstimmen (siehe dazu Bland-Altman, 5.5).
- R^2 (Bestimmtheitsmass): r im Quadrat, gibt den Anteil der Streuung im Telraam-Wert an, der durch den Referenzwert erklärt wird (0-100%). Der verbleibende Anteil ($1-R^2$) ist unerklärte Streuung.

Tabelle 3: Pearson-Korrelation und Bestimmtheitsmass, Telraam vs. alle Referenzsysteme

Grösse	r (Sierzega)	R ² (Sierzega)	r (Miovision)	R ² (Miovision)	r (Manuell)	R ² (Manuell)
Velo	0.509	0.259	0.597	0.356	0.402	0.161
Personenwagen	0.610	0.372	0.791	0.626	0.543	0.295
Schwerverkehr	0.681	0.464	0.370	0.137	0.496	0.246
Multimodal gesamt	0.612	0.375	0.856	0.732	0.772	0.596

Bemerkenswert: die Korrelation für Multimodal Total ist gegenüber Miovision ($r=0.856$) und der manuellen Zählung ($r=0.772$) deutlich höher als gegenüber Sierzega ($r=0.612$), obwohl die Sierzega-Stichprobe viel grösser ist. Bei Schwerverkehr ist der Zusammenhang mit Miovision schwach ($r=0.37$), gegenüber der manuellen Zählung dagegen moderat ($r=0.50$). Nur bei Miovision liefert Schwerverkehr keinen brauchbaren linearen Zusammenhang.

Lesehinweis zu den folgenden Scatterplots (Abbildungen 1a, 2a, 3a): die Referenz liegt auf der x-Achse, Telraam auf der y-Achse; die gestrichelte Diagonale zeigt perfekte Übereinstimmung ($M = C$). Punkte oberhalb der Diagonale bedeuten Überschätzung durch Telraam, Punkte darunter Unterschätzung. Je enger die Punktwolke um die Diagonale liegt, desto besser die Übereinstimmung (vgl. Pearson r in Tabelle 3).

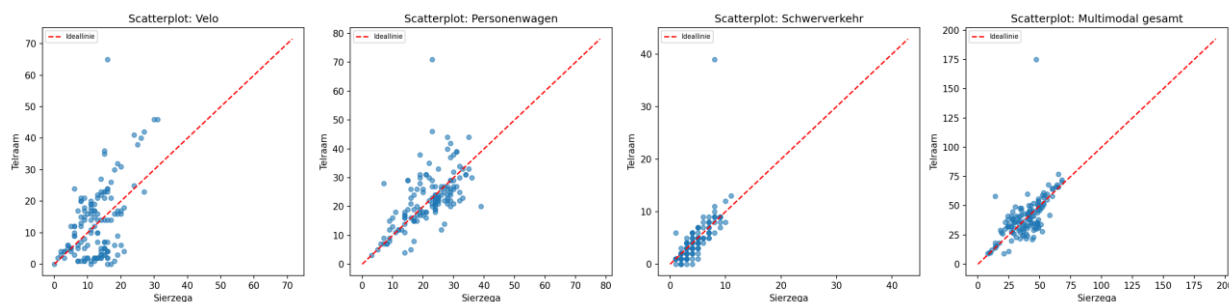


Abbildung 1a: Scatterplots je Grösse, Telraam vs. Sierzega SR7 (nur Tagesstunden).

Bei Sierzega liegen die Punktwolken aller vier Grössen recht eng um die Diagonale, mit sichtbar mehr Streuung bei Velo und Multimodal Total als bei Personenwagen/Schwerverkehr. Deckt sich mit den niedrigeren r -Werten dieser beiden Grössen in Tabelle 3.

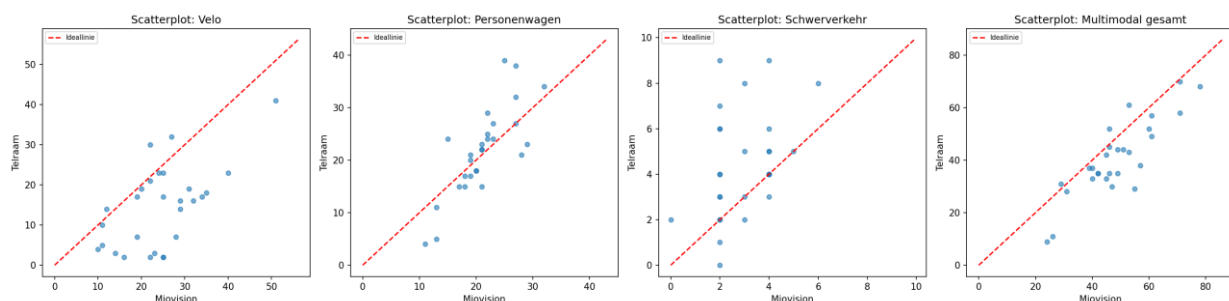


Abbildung 2a: Scatterplots je Fahrzeugkategorie, Telraam vs. Miovision Scout.

Gegenüber Miovision zeigt sich bei Velo eine deutliche, einseitige Verschiebung der Punktwolke unter die Diagonale (durchgehende Unterschätzung durch Telraam). Bei Personenwagen liegen die Punkte dagegen sehr nah an der Diagonale. Die beste Übereinstimmung aller Kategorien gegenüber Miovision (vgl. $r=0.791$ in Tabelle 3).

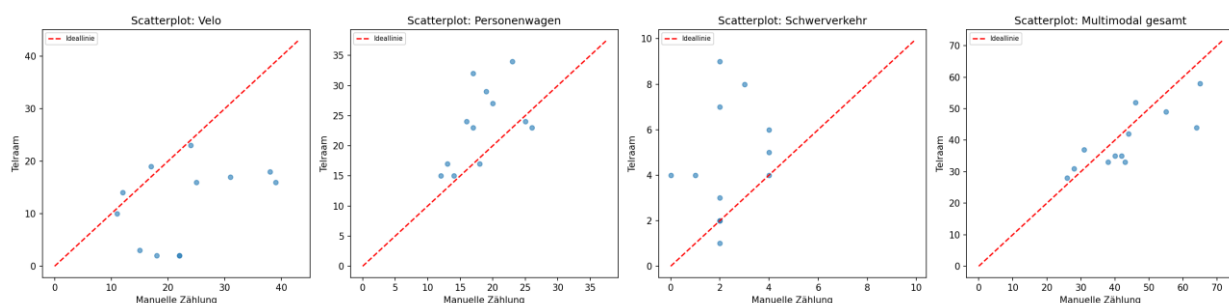


Abbildung 3a: Scatterplots je Fahrzeugkategorie, Telraam vs. manuelle Kontrollzählung ($n=12$).

Mit nur 12 Intervallen ist diese Punktwolke naturgemäss deutlich spärlicher als bei Sierzega oder Miovision und einzelne Punkte wiegen entsprechend schwerer. Dennoch zeigt sich das gleiche Muster wie schon in den Zahlen (Tabelle 2c): bei Velo liegen die Punkte fast durchgehend unter der Diagonale

(Unterschätzung), bei Schwerverkehr fast durchgehend darüber (Überschätzung). Bei so einer kleiner Stichprobe sollte das aber eher als Tendenz, denn als statistisch abgesicherter Befund gelesen werden. Die zugehörigen Bland-Altman-Plots für alle drei Referenzsysteme folgen in Abschnitt 5.5 (Abbildungen 1b, 2b, 3b).

Bland-Altman-Analyse

Bias ist bereits in 5.1.3 definiert (mittlere Differenz M - C). Ergänzend dazu:

- Limits of Agreement (LoA): $\text{Bias} \pm 1.96 \times \text{Standardabweichung der Differenzen}$. Der Bereich, in dem rund 95% aller Intervall-Differenzen liegen. Enge LoA bedeuten geringe Streuung der Einzelfehler um den Bias, breite LoA bedeuten grosse Schwankungen von Intervall zu Intervall, selbst wenn der Bias im Mittel klein ist.

Tabelle 4a: Bland-Altman, Telraam vs. Sierzega / Miovision

Grösse	Sierzega			Miovision		
	Rel.	Abs.	LoA	Rel.	Abs.	LoA
Velo	+7.2%	+0.15	[-19.3,19.6]	-40.3%	-9.79	[-27.0,7.4]
Personen- wagen	+8.2%	+0.87	[-14.4,16.1]	+0.5%	+0.61	[-9.9,11.1]
Schwerver- kehr	-4.8%	-0.04	[-5.9,5.8]	+58.6%	+1.46	[-2.9,5.8]
Multimodal gesamt	+6.4%	+0.98	[-27.7,29.6]	-17.1%	-7.71	[-22.4,7.0]

Tabelle 4b: Bland-Altman, Telraam vs. manuelle Zählung

Grösse	Unterschied zu manuell		LoA
	Rel.	Abs.	
Velo	-44.0%	-11.00	[-29.4, 7.4]

Grösse	Unterschied zu manuell		LoA
	Rel.	Abs.	
Personenwagen	+29.2%	+5.00	[-5.8, 15.8]
Schwerverkehr	+27.9%	+1.00	[-3.3, 5.3]
Multimodal gesamt	-8.4%	-5.00	[-21.4, 11.4]

Gegenüber Sierzega liegt der Bias bei allen Kategorien nahe 0. Gegenüber Miovision und der manuellen Zählung zeigt sich dagegen ein durchgehend negativer Bias bei Velo (systematische Unterschätzung) und ein positiver Bias bei Schwerverkehr (systematische Überschätzung) – konsistent mit dem in 5.3 beschriebenen Muster.

Lesehinweis zu den folgenden Bland-Altman-Plots (Abbildungen 1b, 2b, 3b): die x-Achse zeigt den Mittelwert aus Telraam- und Referenzwert je Intervall, die y-Achse deren Differenz. Die durchgezogene Linie ist der Bias (siehe Tabelle 4), die gestrichelten Linien die Limits of Agreement. Eine Punktwolke, die mit steigendem Mittelwert nach oben oder unten wandert, statt horizontal zu verlaufen, deutet auf einen verkehrsmengenabhängigen Fehler hin (vgl. 5.10.2).

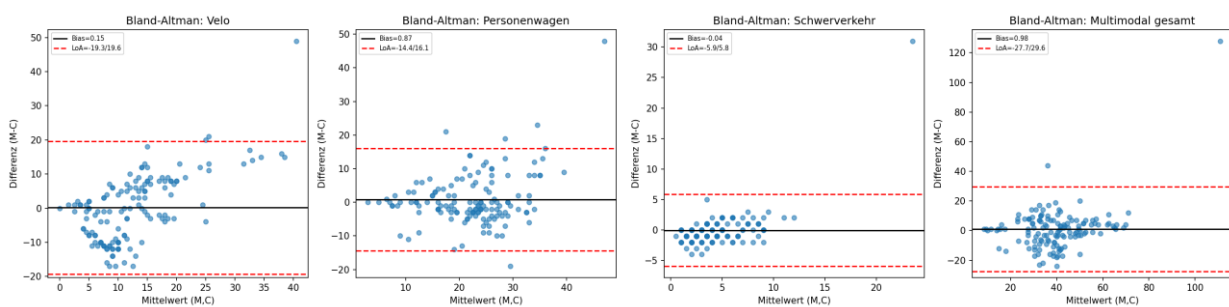


Abbildung 1b: Bland-Altman-Plots je Grösse, Telraam vs. Sierzega SR7 (nur Tagesstunden).

Die Bias-Linie verläuft bei allen vier Grössen nahe 0, die Punktwolken zeigen aber bei Velo und Multimodal Total eine sichtbare Streuung nach oben UND unten (breite Limits of Agreement), nicht nur in eine Richtung - ein Hinweis darauf, dass die Abweichungen eher zufällig streuen als systematisch in eine Richtung gehen.

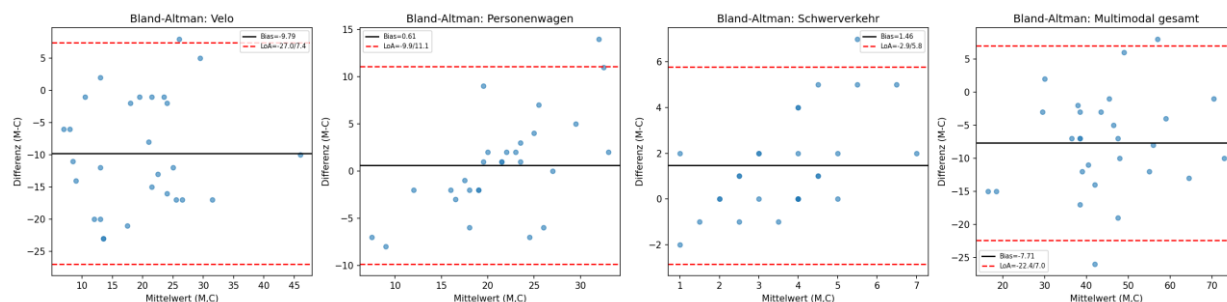


Abbildung 2b: Bland-Altman-Plots je Fahrzeugkategorie, Telraam vs. Miovision Scout.

Beim Velo liegt die Punktwolke grösstenteils unterhalb der Bias-Linie im negativen Bereich, statt gleichmässig um 0 zu streuen. Das zeigt die Visuelle Bestätigung der durchgehenden Unterschätzung. Bei Personenwagen und Schwerverkehr liegt die Bias-Linie dagegen sehr nah bei 0.

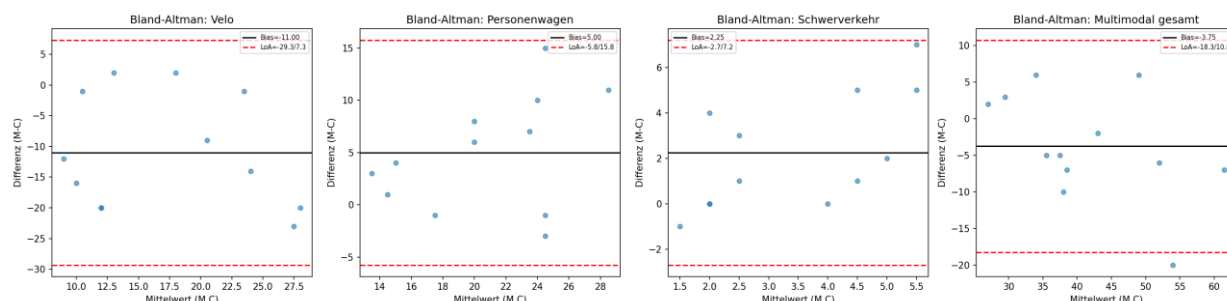


Abbildung 3b: Bland-Altman-Plots je Fahrzeugkategorie, Telraam vs. manuelle Kontrollzählung (n=12).

Wie bei den Scatterplots (5.1.4) gilt auch hier: mit n=12 ist die Punktwolke spärlich, das grundsätzliche Muster (negativer Bias bei Velo, positiver bei Schwerverkehr) ist aber sichtbar und deckt sich mit den anderen beiden Referenzsystemen.

A.6 Weiherweg: Richtungsabhängigkeit (Teststatistik-Details)

Telraam und Sierzega waren gemäss Feldbericht auf gegenüberliegenden Strassenseiten montiert. Laut Telraam-Dokumentation entspricht A→B der Richtung, in der das Segment in der Telraam-Kartenansicht definiert ist (hier: West-Ost); ein Abgleich mit der bekannten Fahrtrichtung vor Ort bestätigt zusätzlich, dass Sierzegas "+" ebenfalls West-Ost bedeutet. Telraam A→B und Sierzega "+" beziehen sich damit auf dieselbe reale Richtung (West-Ost).

Tabelle 10: Richtungsvergleich nach Fahrzeugklasse, Telraam vs. Sierzega (korrekt zugeordnet, n=37 Tagesstunden)

Klasse	Richtung	Telraam	Sierzega	Unterschied zu Sierzega	
				Rel.	Abs. (je Std.)
Velo	West-Ost	1135	1176	-3.5%	-1.11
Velo	Ost-West	671	609	+10.2%	+1.68
Personenwagen	West-Ost	1561	1354	+15.3%	+5.59
Personenwagen	Ost-West	1620	1718	-5.7%	-2.65
Schwerverkehr	West-Ost	167	111	+50.5%	+1.51
Schwerverkehr	Ost-West	449	515	-12.8%	-1.78

Velo und Personenwagen weichen zwischen den beiden Richtungen nur wenig ab, am auffälligsten bleibt Schwerverkehr (+50.5 % West-Ost gegenüber -12.8 % Ost-West) – vermutlich, weil dort die absoluten Stückzahlen klein sind und einzelne Fahrzeuge die Prozentwerte stark verschieben. Ein gepaarter Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test für Velo über alle 181 Intervalle bestätigt einen statistisch signifikanten, aber kleinen Unterschied zwischen den Richtungen (mittlere Differenz -0.97 vs. +0.05 Fahrzeuge je Intervall, $p = 0.0019$).

A.7 Weiherweg: Vier-Wege-Vergleich nach Kategorie (Volltabelle)

Tabelle 12a: Vier-Wege-Vergleich nach Kategorie vs. manuelle Zählung (n=12)

Kategorie	Manuell	Telraam			Sierzega			Miovision		
		Wert	Rel.	Abs.	Wert	Rel.	Abs.	Wert	Rel.	Abs.
Velo	274	142	-48%	-11.00	167	-39%	-8.92	274	+0%	+0.00

Kategorie	Manuell	Telraam			Sierzega			Miovision		
		Wert	Rel.	Abs.	Wert	Rel.	Abs.	Wert	Rel.	Abs.
Persönwagen	220	280	+27%	+5.00	288	+31%	+5.67	263	+20%	+3.58
Schwerverkehr	43	55	+28%	+1.00	54	+26%	+0.92	31	-28%	-1.00
Motorisiert gesamt	263	335	+27%	+6.00	342	+30%	+6.58	294	+12%	+2.58
Fussgänger	174	30	-83%	-12.00	-	-	-	-	-	-

A.8 Weiherweg: Vier-Wege-Vergleich Multimodal Total (Volltabelle)

Tabelle 12b: Vier-Wege-Vergleich, Multimodal Total (Zusammenfassung)

System	Ø System	Ø Manuell	Unterschied zu manuell		SQV	Einstufung
			Rel.	Abs.		
Telraam	39.75	44.75	-11.2%	-5.00	0.53	mittel
Sierzega	42.42	44.75	-5.2%	-2.33	0.72	mittel
Miovision	47.33	44.75	+5.8%	+2.58	0.65	mittel

A.9 Feldbergstrasse: Deskriptive Statistik (Volltabelle)

Tabelle 1: Deskriptive Statistik Telraam, Feldbergstrasse (n=280)

Grösse	Mittelwert	Median	SD	Min	Max
Velo	49.44	47.00	50.18	0	245
Personenwagen	91.96	113.00	74.46	0	250
Schwerverkehr	24.43	18.00	26.17	0	101
Multimodal gesamt	165.82	213.50	135.52	0	457
Fussgänger	19.35	16.50	20.27	0	79
Speed V85 (km/h)	36.24	38.00	5.39	9.0	44.5

A.10 Feldbergstrasse: MAPE/MAE/RMSE, Telraam vs. Sierzega

Ergänzt Tabelle 2a des Hauptkapitels um MAPE/MAE/RMSE.

Grösse	MAPE	MAE	RMSE
Velo	137.3%	45.91	59.79
Personenwagen	13.5%	19.31	23.87
Schwerverkehr	42.6%	19.07	22.77
Multimodal gesamt	16.3%	37.73	49.94

A.11 Feldbergstrasse: MAPE/MAE/RMSE, Telraam vs. Manuell

Ergänzt Tabelle 2b des Hauptkapitels um MAPE/MAE/RMSE.

Grösse	MAPE	MAE	RMSE
Velo	25.8%	26.67	35.51
Personenwagen	10.9%	12.92	17.24
Schwerverkehr	150.4%	15.50	18.04

Multimodal gesamt	15.1%	39.25	48.78
-------------------	-------	-------	-------

A.12 Feldbergstrasse: MAPE/MAE/RMSE, Telraam vs. Miovision

Ergänzt Tabelle 2c des Hauptkapitels um MAPE/MAE/RMSE.

Grösse	MAPE	MAE	RMSE
Velo	20.3%	21.50	30.33
Personenwagen	9.5%	14.38	21.52
Schwerverkehr	387.0%	24.00	30.19
Multimodal gesamt	15.0%	41.88	54.40

A.13 Feldbergstrasse: Zusammenhang der Messungen und Bland-Altman-Analyse

Zusammenhang der Messungen

- Pearson r: Mass für den linearen Zusammenhang zwischen Telraam- und Referenzwert je Intervall, Werte zwischen -1 und +1. r nahe 1 bedeutet: steigt der Referenzwert, steigt auch der Telraam-Wert proportional mit - sagt aber nichts über die absolute Übereinstimmung aus (siehe dazu Bland-Altman, 5.5).
- R^2 (Bestimmtheitsmass): r im Quadrat, gibt den Anteil der Streuung im Telraam-Wert an, der durch den Referenzwert erklärt wird (0-100%).

Tabelle 3: Pearson-Korrelation und Bestimmtheitsmass, Telraam vs. alle Referenzsysteme

Grösse	r (Sierzega)	R ² (Sierzega)	r (Miovision)	R ² (Miovision)	r (Manuell)	R ² (Manuell)
Velo	0.525	0.276	0.856	0.733	0.888	0.789
Persoenwagen	0.868	0.753	0.903	0.816	0.917	0.841
Schwerverkehr	0.389	0.151	0.731	0.535	0.810	0.657
Multimodal gesamt	0.864	0.746	0.901	0.812	0.965	0.932

Gegenüber Miovision und der manuellen Zählung sind die Korrelationen durchgehend hoch ($r=0.73-0.97$), deutlich besser als gegenüber Sierzega, besonders bei Velo ($r=0.525$ gegenüber Sierzega vs. $0.856/0.888$) und Schwerverkehr ($r=0.389$ vs. $0.731/0.810$). Das bestätigt das Muster aus 5.2.3: Miovision und die manuelle Zählung bewegen sich im Gleichschritt mit Telraam, Sierzega weicht ab. Besonders bei den beiden Kategorien, die in 5.2.3 die grössten Sierzega-Diskrepanzen zeigten.

Scatterplots

Lesehinweis zu den folgenden Scatterplots: die Referenz liegt auf der x-Achse, Telraam auf der y-Achse; die gestrichelte Diagonale zeigt perfekte Übereinstimmung ($M = C$). Punkte oberhalb der Diagonale bedeuten Überschätzung durch Telraam, Punkte darunter Unterschätzung.

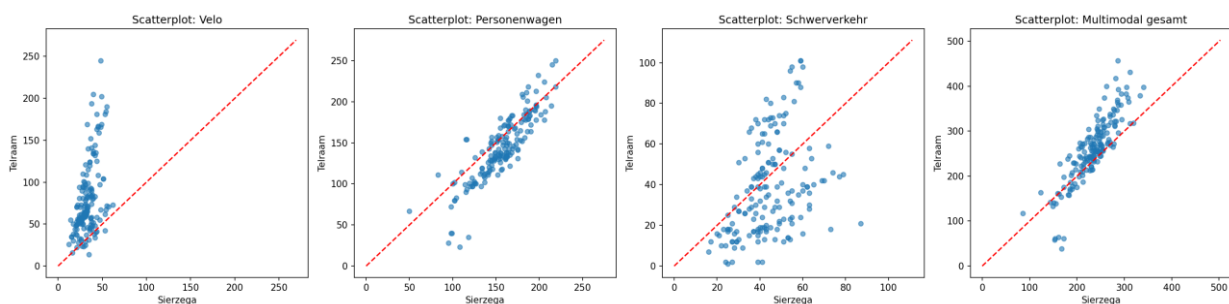


Abbildung 1a: Scatterplots je Grösse, Telraam vs. Sierzega SR7 (nur Tagesstunden).

Wie man in Abbildung 1a erkennt, liegt bei Velo die gesamte Punktwolke deutlich oberhalb der Diagonale (durchgehende, grosse Überschätzung durch Telraam, passend zu Bias +45.08 in Tabelle 2a) und die Streuung um den generellen Trend ist gross - erklärt den niedrigen r-Wert (0.525) trotz der klar sichtbaren Aufwärtstendenz. Personenwagen liegt dagegen sehr nah an der Diagonale, mit enger Streuung.

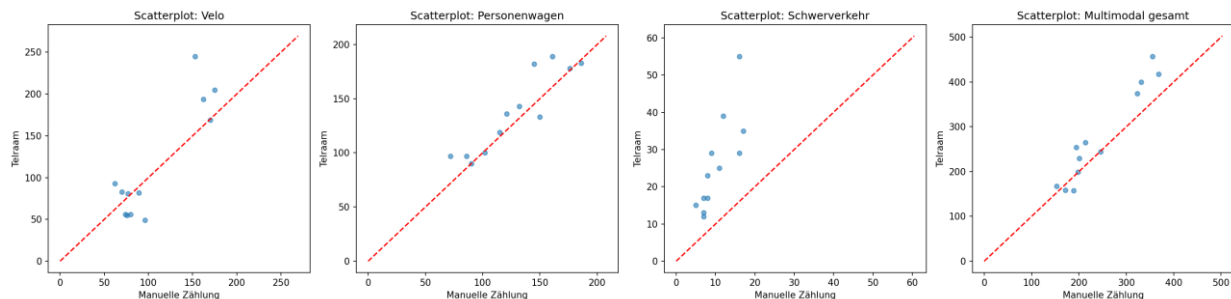


Abbildung 2a: Scatterplots je Grösse, Telraam vs. manuelle Kontrollzählung (n=12).

Zu Abbildung 2a: Hier liegen bei Velo und Personenwagen die Punkte deutlich enger um die Diagonale als gegenüber Sierzega - visuelle Bestätigung der höheren Korrelation. Bei Schwerverkehr liegen die Punkte grösstenteils über der Diagonale (Überschätzung), aber bei nur 12 Punkten ist die Aussagekraft begrenzt.

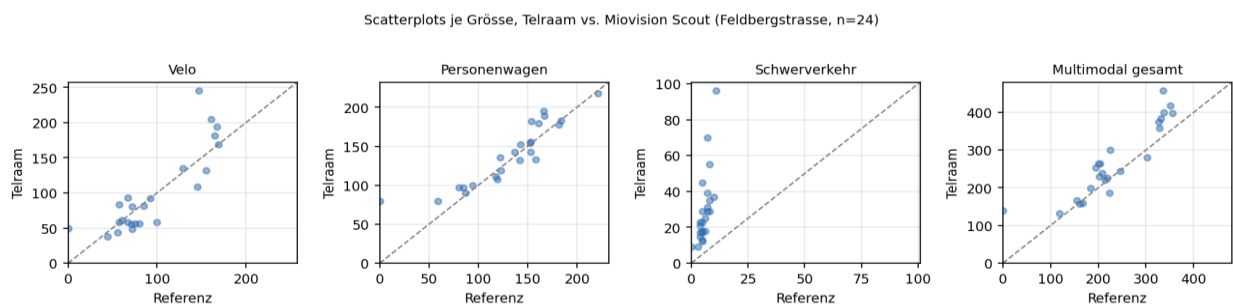


Abbildung 3a: Scatterplots je Grösse, Telraam vs. Miovision Scout (n=24).

Bei allen vier Kategorien liegen die Punkte deutlich enger um die Diagonale als gegenüber Sierzega, mit durchgehend hohen Korrelationen ($r=0.73-0.90$) - ähnlich eng wie gegenüber der manuellen Zählung (Abbildung 3a). Das bestätigt visuell, dass primär Sierzega bei Velo und Schwerverkehr Schwierigkeiten hat, nicht Telraam.

Bland-Altman-Analyse

Bias ist bereits in 5.2.3 definiert (mittlere Differenz M - C). Ergänzend dazu:

- Limits of Agreement (LoA): $\text{Bias} \pm 1.96 \times \text{Standardabweichung der Differenzen}$. Der Bereich, in dem rund 95% aller Intervall-Differenzen liegen. Enge LoA bedeuten geringe Streuung der Einzelfehler um den Bias, breite LoA bedeuten grosse Schwankungen von Intervall zu Intervall.

Tabelle 4a: Bland-Altman-Kennwerte, Telraam vs. Sierzega / Miovision

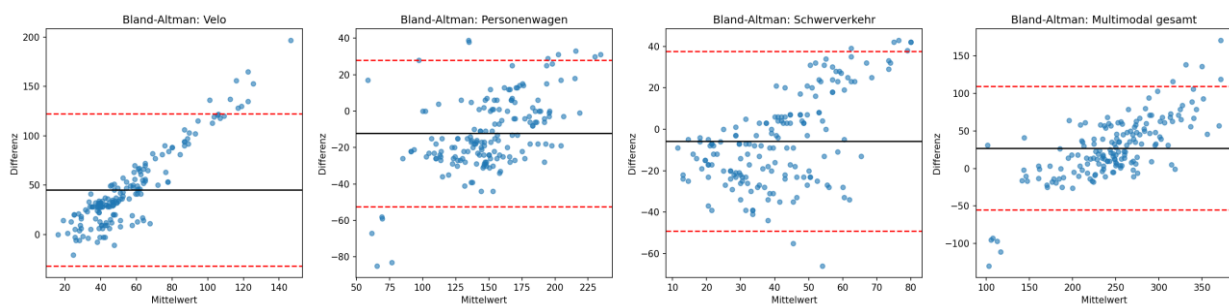
Grösse	Sierzega	Sierzega	Sierzega	Miovision	Miovision	Miovision
	Rel.	Abs.	LoA	Rel.	Abs.	LoA
Velo	+135.0%	+45.08	[-32.1,122.3]	-0.9%	+3.75	[-56.5,64.0]
Personenwagen	-8.7%	-12.24	[-52.5,28.1]	+5.0%	+8.12	[-31.8,48.0]
Schwerverkehr	-13.3%	-5.70	[-49.0,37.6]	+387.0%	+24.00	[-12.7,60.7]
Multi-modal gesamt	+10.3%	+27.14	[-55.3,109.6]	+12.2%	+35.88	[-46.0,117.8]

Tabelle 4b: Bland-Altman-Kennwerte, Telraam vs. manuelle Zählung

Grösse	Rel.	Abs.	LoA
Velo	+2.6%	+7.00	[-64.3,78.3]
Perso- nenwa- gen	+8.4%	+9.25	[-20.5,39.0]
Schwer- verkehr	+150.4%	+15.50	[-3.4,34.4]
Multimo- dal ge- samt	+11.1%	+31.75	[-44.1,107.6]

Bei Velo liegt praktisch die gesamte Punktwolke gegenüber Sierzega im positiven Bereich (LoA fast vollständig >0) - durchgehende Überschätzung. Gegenüber Miovision und Manuell ist die Streuung enger, mit dem Bias näher bei 0. Bei Schwerverkehr liegen die LoA gegenüber allen drei Referenzen im positiven Bereich - konsistente Überschätzung durch Telraam, aber mit sehr unterschiedlicher Grössenordnung je Referenzsystem.

Lesehinweis: die x-Achse zeigt den Mittelwert aus Telraam- und Referenzwert je Intervall, die y-Achse deren Differenz. Die durchgezogene Linie ist der Bias, die gestrichelten Linien die Limits of Agreement. Eine Punktwolke, die mit steigendem Mittelwert nach oben oder unten wandert, statt horizontal zu verlaufen, deutet auf einen verkehrsmengenabhängigen Fehler hin (vgl. 5.10.2).

**Abbildung 1b: Bland-Altman-Plots, Telraam vs. Sierzega (nur Tagesstunden).**

Zu Abbildung 1b: Bei Velo liegt praktisch die gesamte Punktwolke im positiven Bereich (durchgehende Überschätzung, LoA [-32.1, 122.3] - selbst die untere Grenze ist nahe 0), und die Streuung wächst sichtbar mit steigendem Mittelwert, ein Hinweis auf den in 5.2.10 quantifizierten Verkehrsmengeneffekt. Personenwagen und Schwerverkehr zeigen dagegen eine Punktwolke, die enger um die Bias-Linie liegt.

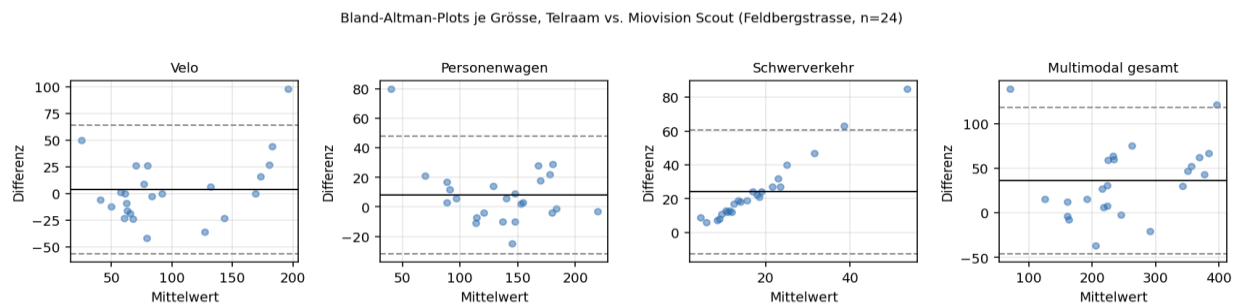


Abbildung 2b: Bland-Altman-Plots, Telraam vs. Miovision Scout (n=24).

Zu Abbildung 2b: Bei Velo ist die Streuung gegenüber Miovision deutlich enger als gegenüber Sierzega (LoA [-56.5, 64.0] statt [-32.1, 122.3]), die Bias-Linie liegt näher bei 0. Bei Schwerverkehr liegt die Punktwolke dagegen fast vollständig im positiven Bereich (LoA [-12.7, 60.7]) Also eine durchgehende Überschätzung durch Telraam, ähnlich wie gegenüber den anderen beiden Referenzsystemen.

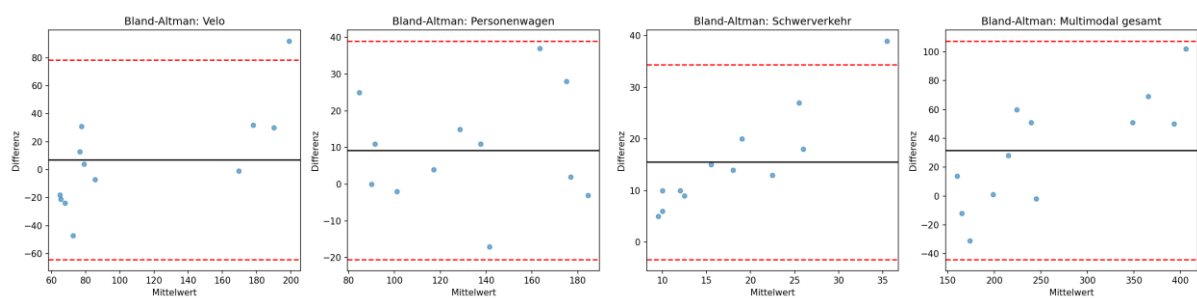


Abbildung 3b: Bland-Altman-Plots, Telraam vs. manuelle Kontrollzählung (n=12).

Zu Abbildung 3b: Bei Schwerverkehr gegenüber der manuellen Zählung liegt die Punktwolke fast vollständig im positiven Bereich (LoA [-3.4, 34.4]) was eine durchgehende Überschätzung, auch wenn die absoluten Werte hier klein sind (wenige Fahrzeuge), bedeutet. Bei Velo und Personenwagen liegt die Bias-Linie dagegen nahe 0, mit Streuung symmetrisch um die Nulllinie.

A.14 Feldbergstrasse: Witterung und Dämmerungszeiten (Detailtabelle)**Witterung/Licht****Tabelle 9c: Witterung und Dämmerungszeiten – Feldbergstrasse**

Datum	Witterung	Tem- pera- tur	Dämmerung / Nacht
20.07.2026	Sonnig bis leicht wolzig, keine Niederschläge; anhaltend trockene, sommerliche Hochdrucklage ohne Gewitteraktivität, schwacher bis mässiger Wind.	12–25 °C	Sonnenuntergang 21:18 Uhr; bürgerliche Dämmerung bis 21:56 Uhr.
21.07.2026	Überwiegend sonnig, kaum Bewölkung; Fortsetzung der Trockenperiode, keine Schauer oder Gewitter registriert.	13–26 °C	Sonnenuntergang 21:17 Uhr; Dämmerung bis 21:55 Uhr.
22.07.2026	Morgens teils wolzig, im Tagesverlauf Auflockerung und wieder sonnig; mässiger Wind aus Nordwest, weiterhin trocken.	12–28 °C	Sonnenuntergang 21:16 Uhr; Dämmerung bis 21:54 Uhr.

Die Messperiode an der Feldbergstrasse verlief durchgehend trocken und überwiegend sonnig, ohne relevante Niederschlagsereignisse.

A.15 Feldbergstrasse: Richtungsabhängigkeit (Teststatistik-Details)

Wie am Weiherweg bestätigt: Telraam A>B = Sierzega "+" = West-Ost, keine Kreuzpaarung nötig.

Tabelle 10: Richtungsvergleich nach Fahrzeugklasse (n=44 Tagesstunden)

Klasse	Richtung	Telraam	Sierzega	Rel. Abw.	Abs. (je Std.)
Velo	West-Ost	9538	2780	+243.1%	+153.59
Velo	Ost-West	3815	2913	+31.0%	+20.50
Personenwagen	West-Ost	13283	8501	+56.3%	+108.68

Klasse	Richtung	Telraam	Sierzega	Rel. Abw.	Abs. (je Std.)
Personenwagen	Ost-West	11273	18311	-38.4%	-159.95
Schwerverkehr	West-Ost	4570	1328	+244.1%	+73.68
Schwerverkehr	Ost-West	1952	6247	-68.8%	-97.61

Anders als am Weiherweg ist die Richtungsasymmetrie hier sehr gross und geht bei allen drei Kategorien in dieselbe Richtung: West-Ost wird von Telraam massiv überschätzt (+243% bis +244% bei Velo/Schwerverkehr), Ost-West dagegen z.T. sogar unterschätzt. Ein gepaarter Wilcoxon-Test für Velo (15-Minuten-Basis, n=237) bestätigt dies hochsignifikant (mittlere Differenz +27.61 vs. +3.05 Fahrzeuge je Intervall, $p < 0.000001$).

Ergänzend gegenüber Miovision und Manuell geprüft: Der Effekt bestätigt sich unabhängig und in vergleichbarer Richtung bei beiden (Wilcoxon Miovision: $p < 0.0001$, mittlere Differenz +18.46 vs. -14.71 Velos je Fenster; Manuell: $p = 0.0005$, +19.17 vs. -12.17). Die absolute Grössenordnung der prozentualen Abweichung unterscheidet sich deutlich von den Sierzega-Werten, aber Richtung und Signifikanz der Asymmetrie sind über alle drei unabhängigen Referenzsysteme konsistent - das macht diesen Befund deutlich robuster als eine reine Sierzega-Betrachtung.

A.16 Feldbergstrasse: Vier-Wege-Vergleich (Volltabelle)

Tabelle 12: Vier-Wege-Vergleich (Telraam, Sierzega, Miovision vs. manuelle Zählung, je n=12)

Kategorie	Manuell	Telraam	Sierzega	Miovision
Velo	107.00	114.00 (+6.5%)	32.08 (-70.0%)	101.92 (-4.8%)
Personenwagen	128.00	137.25 (+7.2%)	153.33 (+19.8%)	131.08 (+2.4%)
Schwerverkehr	10.25	25.75 (+151.2%)	40.25 (+292.7%)	5.67 (-44.7%)

A.17 St. Alban Vorstadt: Deskriptive Statistik (Volltabelle)**Tabelle 1: Deskriptive Statistik Telraam, St. Alban Vorstadt (n=168, Geräteausfall ausgeschlossen)**

Grösse		Mittelwert	Median	SD	Min	Max
Velo		37.79	37.00	32.77	0	136
Personenwagen		3.93	3.00	3.96	0	14
Schwerverkehr		1.07	0.00	1.92	0	12
Multimodal gesamt		42.79	42.50	36.08	0	144
Fussgänger		14.67	15.00	12.14	0	38
Speed	V85	24.78	24.75	2.66	19.0	31.0
(km/h)						

A.18 St. Alban Vorstadt: MAPE/MAE/RMSE, Telraam vs. Sierzega**Ergänzt Tabelle 2a des Hauptkapitels um MAPE/MAE/RMSE.**

Grösse	MAPE	MAE	RMSE
Velo	310.1%	41.59	46.10
Personenwagen	46.1%	1.96	2.67
Schwerverkehr	430.0%	1.51	2.45
Multimodal gesamt	243.6%	44.39	48.94

A.19 St. Alban Vorstadt: MAPE/MAE/RMSE, Telraam vs. Manuell**Ergänzt Tabelle 2b des Hauptkapitels um MAPE/MAE/RMSE.**

Grösse	MAPE	MAE	RMSE
Velo	26.1%	13.67	17.70

Personenwagen	38.4%	2.33	2.89
Schwerverkehr	100.0%	0.50	0.71
Multimodal gesamt	23.2%	13.33	18.19

A.20 St. Alban Vorstadt: MAPE/MAE/RMSE, Telraam vs. Miovision

Ergänzt Tabelle 2c des Hauptkapitels um MAPE/MAE/RMSE.

Grösse	MAPE	MAE	RMSE
Velo	24.3%	13.33	18.12
Personenwagen	39.8%	2.42	2.72
Schwerverkehr	n/a	0.33	0.58
Multimodal gesamt	21.1%	12.58	18.51

Kategorie	Manuell	Telraam	Sierzega	Miovision
Velo	57.58	68.42 (+18.8%)	14.50 (-74.8%)	57.42 (-0.3%)
Personenwagen	5.92	5.75 (-2.8%)	5.00 (-15.5%)	6.00 (+1.4%)
Schwerverkehr	0.17	0.33 (+100.0%)	0.00 (-100.0%)	0.00 (-100.0%)
Fussgänger	70.17	27.83 (-60.3%)	0.00 (-100.0%)	68.58 (-2.3%)

A.21 St. Alban Vorstadt: Zusammenhang der Messungen und Bland-Altman-Analyse

5.3.4 Zusammenhang der Messungen

Pearson r: Mass für den linearen Zusammenhang zwischen Telraam- und Referenzwert je Intervall (-1 bis +1). Sagt nichts über die absolute Übereinstimmung aus (dafür Bland-Altman, 5.5).

R^2 (Bestimmtheitsmass): r im Quadrat, Anteil der erklärten Streuung (0-100%).

Tabelle 3: Pearson-Korrelation und Bestimmtheitsmass, Telraam vs. alle Referenzsysteme

Grösse	r (Sierzega)	R ² (Sierzega)	r (Miovision)	R ² (Miovision)	r (Manuell)	R ² (Manuell)
Velo	0.731	0.534	0.746	0.557	0.765	0.585
Personenwagen	0.749	0.561	0.025	0.001	0.054	0.003
Schwerverkehr	0.654	0.428	n/a	n/a	0.496	0.246
Multimodal gesamt	0.694	0.482	0.744	0.554	0.756	0.571

Bei Velo und Multimodal Total ähneln die Korrelationen gegenüber Miovision denen gegenüber der manuellen Zählung ($r=0.75-0.77$). Beide beruhen auf demselben Videomaterial (vgl. 5.3.14). Bei Personenwagen und Schwerverkehr zeigt sich gegenüber Manuell/Miovision dagegen praktisch keine Korrelation (r nahe 0 bzw. leicht negativ): bei diesen sehr kleinen absoluten Stückzahlen (oft nur 0-2 Fahrzeuge pro Intervall) kann bereits eine einzelne Fehlzurordnung das Vorzeichen kippen. Eher ein Hinweis auf Rauschen bei kleinen Zahlen als auf ein systematisches Problem. Gegenüber Sierzega (grössere Stichprobe, $n=110$) sind die Korrelationen bei diesen beiden Kategorien entsprechend stabiler ($r=0.65-0.75$).

Lesehinweis: Referenz auf der x-Achse, Telraam auf der y-Achse; die gestrichelte Diagonale zeigt perfekte Übereinstimmung. Punkte oberhalb bedeuten Überschätzung durch Telraam.

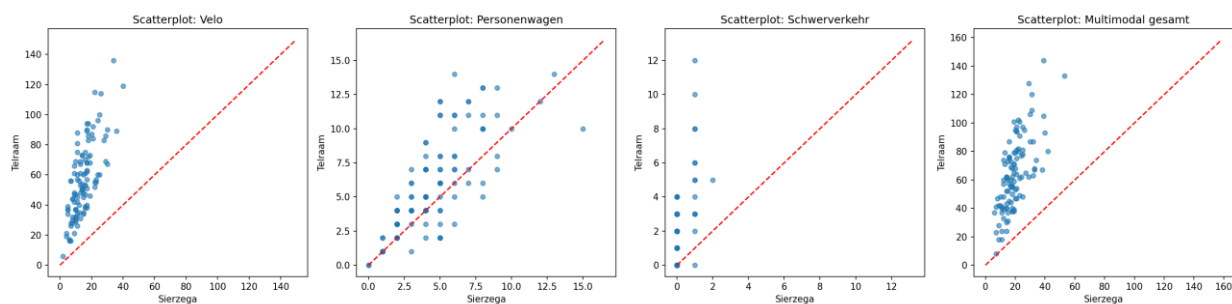


Abbildung 1a: Scatterplots je Grösse, Telraam vs. Sierzega SR7 (Tag, Blackout ausgeschlossen).

Bei Velo und Schwerverkehr liegen die Punktwolken sichtbar oberhalb der Diagonale, passend zu den grossen positiven Bias-Werten in Tabelle 2a. Bei Schwerverkehr sind es nur sehr wenige Punkte mit von Null verschiedenem Wert (die meisten Intervalle haben schlicht keinen Lastwagen), was die Kennzahlen bei dieser Kategorie insgesamt unsicherer macht.

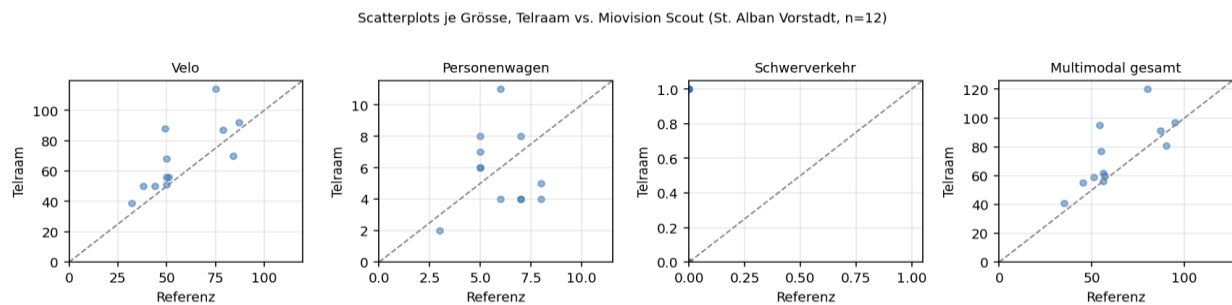


Abbildung 2a: Scatterplots je Grösse, Telraam vs. Miovision Scout (n=12).

Bei Velo und Multimodal Total liegen die Punkte ähnlich eng um die Diagonale wie gegenüber der manuellen Zählung (Abbildung 3a). Bei Personenwagen zeigt sich dagegen kaum ein erkennbarer Zusammenhang ($r=0.025$). Bei den hier vorliegenden sehr kleinen Stückzahlen (0-2 Fahrzeuge je Intervall) ist das eher Stichprobenrauschen als ein inhaltliches Muster.

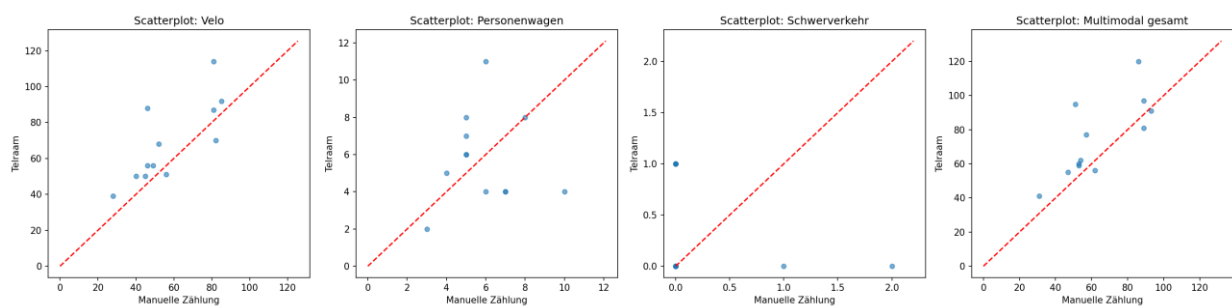


Abbildung 3a: Scatterplots je Grösse, Telraam vs. manuelle Kontrollzählung (n=12).

Bei Personenwagen und Schwerverkehr liegen die wenigen Punkte ohne erkennbares Muster verstreut. Eine visuelle Bestätigung der fehlenden Korrelation ist in der Tabelle 3a ersichtlich. Bei Velo ist dagegen ein klarer Aufwärtstrend sichtbar.

5.3.5 Bland-Altman-Analyse

Tabelle 4a: Bland-Altman-Kennwerte, Telraam vs. Sierzega / Miovision

Grösse	Sierzega	Sierzega	Sierzega	Miovision	Miovision	Miovision
	Rel.	Abs.	LoA	Rel.	Abs.	LoA
Velo	+280.5%	+41.59	[2.5,80.7]	+21.5%	+11.00	[-18.5,40.5]
Personenwagen	+28.5%	+1.31	[-3.3,5.9]	-0.2%	-0.25	[-5.8,5.3]
Schwerverkehr	+1025.0%	+1.49	[-2.3,5.3]	n/a	+0.33	[-0.6,1.3]
Multimodal gesamt	+226.9%	+44.39	[3.8,85.0]	+19.5%	+11.08	[-19.3,41.4]

Tabelle 4b: Bland-Altman-Kennwerte, Telraam vs. manuelle Zählung

Grösse	Rel.	Abs.	LoA
Velo	+18.8%	+10.83	[-17.8,39.5]
Perso- nenwa- gen	-2.8%	-0.17	[-6.1,5.7]
Schwer- verkehr	+100.0%	+0.17	[-1.2,1.6]
Multimo- dal ge- samt	+17.0%	+10.83	[-19.1,40.7]

Lesehinweis: x-Achse = Mittelwert aus Telraam- und Referenzwert je Intervall, y-Achse = deren Differenz.

Durchgezogene Linie = Bias, gestrichelte Linien = Limits of Agreement.

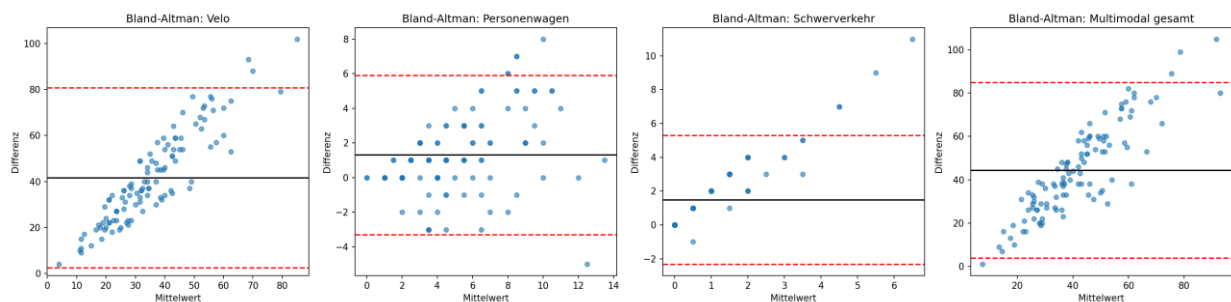


Abbildung 1b: Bland-Altman-Plots, Telraam vs. Sierzega.

Bemerkenswert: die Limits of Agreement bei Velo gegenüber Sierzega liegen komplett im positiven Bereich (2.5 bis 80.7). Telraam liegt in praktisch jedem einzelnen Intervall über Sierzega, nicht nur im Mittel. Das ist ein starkes Indiz für einen systematischen, nicht zufälligen Unterschied. Bei Personenwagen und Schwerverkehr liegt die Bias-Linie dagegen nahe 0.

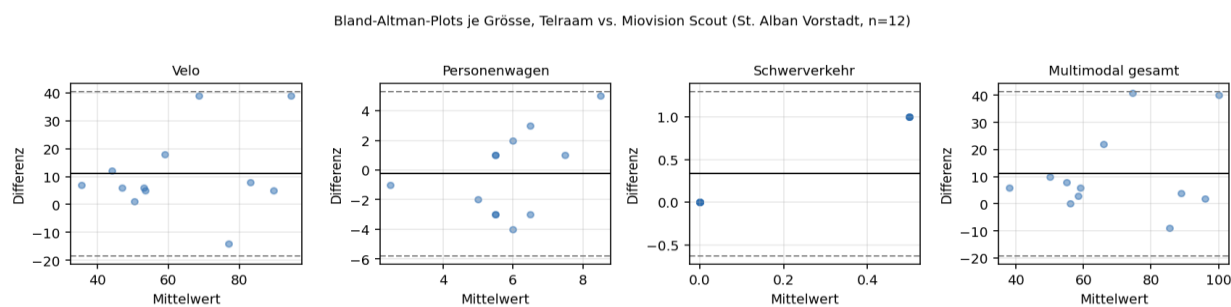


Abbildung 2b: Bland-Altman-Plots, Telraam vs. Miovision Scout (n=12).

Bei Velo und Multimodal Total ist die Streuung gegenüber Miovision ähnlich eng wie gegenüber der manuellen Zählung. Bei Personenwagen und Schwerverkehr liegen die Limits of Agreement bereits sehr eng um 0 ($[-5.8, 5.3]$ bzw. $[-0.6, 1.3]$), die grossen Prozentwerte in Tabelle 2b täuschen hier über die tatsächlich sehr kleine absolute Streuung hinweg.

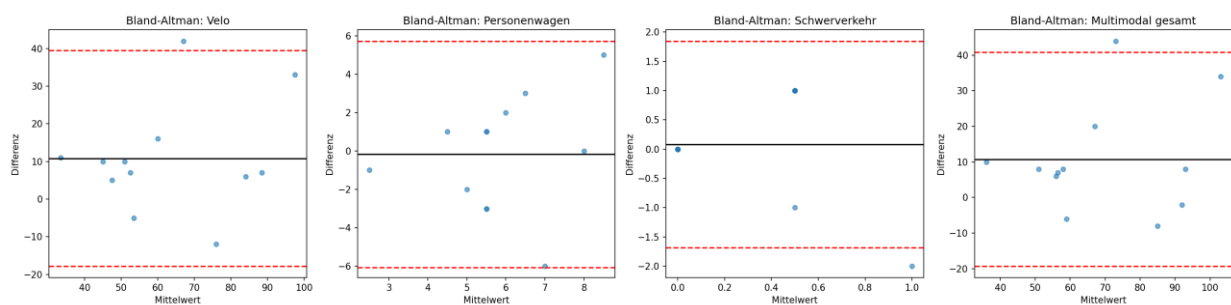


Abbildung 3b: Bland-Altman-Plots, Telraam vs. manuelle Kontrollzählung (n=12).

Gegenüber der manuellen Zählung ist die Punktwolke bei Velo deutlich enger um die Bias-Linie als gegenüber Sierzega (LoA $[-17.8, 39.5]$ statt $[2.5, 80.7]$). Gegenüber Miovision liegt die Streuung bei allen vier Kategorien in ähnlicher Grössenordnung wie gegenüber der manuellen Zählung (Tabelle 4a) - nachvollziehbar, da beide Referenzen in Tabelle 12 als nahezu identisch auftreten.

A.22 St. Alban Vorstadt: Witterung und Dämmerungszeiten (Detailtabelle)

Witterung/Licht

Tabelle 9c: Witterung und Dämmerungszeiten – St. Alban Vorstadt

Datum	Witterung	Temperatur	Dämmerung / Nacht
24.07.2026	Sonnig und warm, kaum Bewölkung, keine Niederschläge	13–30 °C	Sonnenaufgang 05:57 Uhr, Sonnenuntergang 21:14 Uhr; bürgerliche Dämmerung bis ca. 21:52 Uhr.
25.07.2026	Zunächst sonnig, im Tagesverlauf zunehmend bewölkt, jedoch weiterhin trocken und warm.	17–32 °C	Sonnenaufgang 05:58 Uhr, Sonnenuntergang 21:13 Uhr; bürgerliche Dämmerung bis ca. 21:51 Uhr.

Die Messperiode an der St. Alban Vorstadt war am ersten Tag (24.07.) durchgehend sonnig und trocken, während am zweiten Tag (25.07.) am Nachmittag vereinzelte kurze Regenschauer möglich waren.

A.23 St. Alban Vorstadt: Richtungsabhängigkeit (Teststatistik-Details)

An diesem Standort bedeutet Sierzega "+" Ost-West (umgekehrt zu Weiherweg/Feldbergstrasse). Die Richtungsspalten wurden bereits bei der Datenaufbereitung (5.1) entsprechend getauscht, sodass A>B auch hier konsistent West-Ost bedeutet. Die folgende Tabelle verwendet bereits die korrigierte Zuordnung.

Tabelle 10: Richtungsvergleich nach Fahrzeugklasse (n=29 Tagesstunden, Blackout ausgeschlossen)

Klasse	Richtung	Telraam	Sierzega	Rel. Abw.	Abs. (je Std.)
Velo	West-Ost	3032	618	+390.6%	+83.24
Velo	Ost-West	3308	1056	+213.3%	+77.66
Personenwagen	West-Ost	631	277	+127.8%	+12.21
Personenwagen	Ost-West	26	248	-89.5%	-7.66
Schwerverkehr	West-Ost	171	5	+3320.0%	+5.72
Schwerverkehr	Ost-West	9	11	-18.2%	-0.07

Personenwagen zeigt hier die auffälligste Umkehrung: West-Ost +127.8% Überschätzung, Ost-West sogar -89.5% Unterschätzung - ein extremer Unterschied, allerdings bei sehr kleinen absoluten Zahlen (26 bzw. 248 Fahrzeuge über 29 Stunden), wo einzelne Fehlzusordnungen stark durchschlagen. Ein gepaarter Test für Velo auf 15-Minuten-Basis (n=158) ergibt hier interessanterweise keinen statistisch signifikanten Unterschied zwischen den Richtungen (mittlere Differenz 15.04 vs. 13.66, p=0.080, Wilcoxon p=0.153) - anders als an den beiden anderen Standorten.

Auch gegenüber Miovision (Wilcoxon p=0.370) und Manuell (p=0.331) ist kein signifikanter Richtungsunterschied nachweisbar - konsistent mit dem bereits gegenüber Sierzega gefundenen Nullbefund über alle drei unabhängigen Referenzsysteme hinweg.

A.24 St. Alban Vorstadt: Vier-Wege-Vergleich (Volltabelle)

Tabelle 12: Vier-Wege-Vergleich (Telraam, Sierzega, Miovision vs. manuelle Zählung, je n=12)

Kategorie	Manuell	Telraam	Sierzega	Miovision
Velo	57.58	68.42 (+18.8%)	14.50 (-74.8%)	57.42 (-0.3%)
Personenwagen	5.92	5.75 (-2.8%)	5.00 (-15.5%)	6.00 (+1.4%)
Schwerverkehr	0.17	0.33 (+100.0%)	0.00 (-100.0%)	0.00 (-100.0%)
Fussgänger	70.17	27.83 (-60.3%)	0.00 (-100.0%)	68.58 (-2.3%)

A.25 Standortübergreifend: GEH/SQV von Telraam, Sierzega und Miovision gegenüber Manuell (Volltabelle)

Tabelle S7: GEH/SQV von Telraam, Sierzega und Miovision gegenüber der manuellen Referenz, alle drei Standorte

Standort	Kategorie	System	GEH	SQV
Weiherweg	Velo	Telraam	2.93	0.627
		Sierzega	2.00	0.657
		Miovision	0.42	0.891
	Personenwagen	Telraam	1.24	0.729
		Sierzega	1.30	0.717
		Miovision	1.17	0.734

Feldbergstrasse	Schwerverkehr	Telraam	1.25	0.741
		Sierzega	1.27	0.721
		Miovision	0.47	0.950
	Velo	Telraam	2.55	0.610
		Sierzega	8.66	0.329
		Miovision	0.72	0.841
	Personenwagen	Telraam	1.13	0.769
		Sierzega	2.26	0.615
		Miovision	0.49	0.870
St. Alban Vorstadt	Schwerverkehr	Telraam	3.50	0.429
		Sierzega	5.94	0.259
		Miovision	1.54	0.717
	Velo	Telraam	1.71	0.673
		Sierzega	7.12	0.365
		Miovision	0.41	0.888
	Personenwagen	Telraam	0.95	0.787
		Sierzega	1.00	0.794
		Miovision	0.22	0.945
	Schwerverkehr	Telraam	1.51	0.725
		Sierzega	1.71	0.725
		Miovision	1.71	0.725

A.26 Kennzahlenvergleich: Telraam vs. Sierzega, alle drei Standorte (Tabelle S1)

Tabelle S1: Telraam vs. Sierzega SR7, alle drei Standorte (Tagesstunden)

Standort	Grösse	Bias	Rel. Abw.	MAPE	GEH	SQV	Einstufung
Weiherweg (n=140)	Velo	+0.15	+7.2%	64.6%	2.28	0.623	mittel
	Personenwagen	+0.87	+8.2%	25.6%	1.05	0.764	gut
	Schwerverkehr	-0.04	-4.8%	33.3%	0.64	0.844	gut
	Multimodal gesamt	+0.98	+6.4%	24.3%	1.33	0.725	mittel
Feldbergstrasse (n=169)	Velo	+45.08	+135.0%	137.3%	5.65	0.379	schwach
	Personenwagen	-12.24	-8.7%	13.5%	1.69	0.702	mittel
	Schwerverkehr	-5.70	-13.3%	42.6%	3.04	0.575	mittel
	Multimodal gesamt	+27.14	+10.3%	16.3%	2.41	0.632	mittel
St. Alban Vorstadt (n=110)	Velo	+41.59	+280.5%	310.1%	6.77	0.248	schwach
	Personenwagen	+1.31	+28.5%	46.1%	0.83	0.799	gut
	Schwerverkehr	+1.49	+1025.0%	430.0%	1.99	0.482	schwach

Standort	Grösse	Bias	Rel. Abw.	MAPE	GEH	SQV	Einstufung
	Multimodal gesamt	+44.39	+226.9%	243.6%	6.68	0.267	schwach

A.27 Kennzahlenvergleich: Telraam vs. Manuell, alle drei Standorte (Tabelle S2)

Tabelle S2: Telraam vs. manuelle Kontrollzählung, alle drei Standorte (n=12 je Standort)

Standort	Grösse	Bias	Rel. Abw.	MAPE	GEH	SQV	Einstufung
Weiherweg (n=12)	Velo	-11.00	-44.0%	48.8%	2.93	0.627	mittel
	Personenwagen	+5.00	+29.2%	32.7%	1.24	0.729	mittel
	Schwerverkehr	+1.00	+27.9%	41.8%	0.68	0.840	gut
	Multimodal gesamt	-5.00	-8.4%	15.6%	1.12	0.764	gut
	Fussgänger	-12.00	-82.8%	82.0%	4.11	0.510	mittel
Feldbergstrasse (n=12)	Velo	+7.00	+2.6%	25.8%	2.55	0.610	mittel
	Personenwagen	+9.25	+8.4%	10.9%	1.13	0.769	gut
	Schwerverkehr	+15.50	+150.4%	150.4%	3.50	0.429	schwach
	Multimodal gesamt	+31.75	+11.1%	15.1%	2.31	0.621	mittel

Standort	Grösse	Bias	Rel. Abw.	MAPE	GEH	SQV	Einstufung
St. Alban Vorstadt (n=12)	Fussgänger	-33.83	-59.4%	56.8%	5.35	0.436	schwach
	Velo	+10.83	+18.8%	26.1%	1.71	0.673	mittel
	Personenwagen	-0.17	-2.8%	38.4%	0.95	0.787	gut
	Schwerverkehr	+0.17	+100.0%	100.0%	1.41	0.760	gut
	Multimodal gesamt	+10.83	+17.0%	23.2%	1.59	0.697	mittel
	Fussgänger	-42.33	-60.3%	55.9%*	6.05	0.433	schwach

A.28 Kennzahlenvergleich: Telraam vs. Miovision, alle drei Standorte (Tabelle S3)

Tabelle S3: Telraam vs. Miovision Scout, alle drei Standorte

Standort	Grösse	Bias	Rel. Abw.	MAPE	GEH	SQV	Einstufung
Weiherweg (n=28)	Velo	-9.79	-40.3%	45.4%	2.66	0.636	mittel
	Personenwagen	+0.61	+0.5%	20.4%	0.91	0.803	gut
	Schwerverkehr	+1.46	+58.6%	74.1%	0.95	0.787	gut
	Multimodal gesamt	-7.71	-17.1%	19.6%	1.41	0.735	mittel

Standort	Grösse	Bias	Rel. Abw.	MAPE	GEH	SQV	Einstufung
Feldbergstrasse (n=24)	Velo	+3.75	-0.9%	20.3%	2.31	0.677	mittel
	Personenwagen	+8.12	+5.0%	9.5%	1.49	0.626	mittel
	Schwerverkehr	+24.00	+387.0%	387.0%	5.31	0.693	mittel
	Multimodal gesamt	+35.88	+12.2%	15.0%	2.85	0.774	gut
St. Alban Vorstadt (n=12)	Velo	+11.00	+21.5%	24.3%	1.63	n/a	n/a
	Personenwagen	-0.25	-0.2%	39.8%	0.99	0.729	mittel
	Schwerverkehr	-	-	-	-	-	-
	Multimodal gesamt	+11.08	+19.5%	21.1%	1.47	0.290	schwach

A.29 Geschwindigkeit V85 vs. Sierzega, alle drei Standorte (Tabelle S4)

Tabelle S4: Geschwindigkeit V85 vs. Sierzega, alle drei Standorte

Standort	n	Rel. Abw.	Bias	GEH	SQV
Weiherweg	173	+2.3%	+0.39	0.70	0.641
Feldbergstrasse	169	-3.1%	-1.16	0.53	0.751

Standort	n	Rel. Abw.	Bias	GEH	SQV
St. Alban Vorstadt	110	+6.1%	+1.43	0.65	0.649

A.30 Kompensation der Kategorienfehler, mit und ohne Velo (Tabelle S5)

Tabelle S5: Kompensation der Kategorienfehler in der Gesamtsumme, mit und ohne Velo

Standort / Referenz	Velo-Bias	Auto-Bias	Schwer-Bias	Kompensation mit Velo (Multimodal)	Kompensation ohne Velo (Motorisiert)
Weiherweg / Sierzega	+0.15	+0.87	-0.04	8%	9%
Weiherweg / Manuell	-11.00	+5.00	+1.00	71%	0%
Feldbergstrasse / Sierzega	+45.08	-12.24	-5.70	57%	0%
Feldbergstrasse / Manuell	+7.00	+9.25	+15.50	0%	0%
St. Alban Vorstadt / Sierzega	+41.59	+1.31	+1.49	0%	0%
St. Alban Vorstadt / Manuell	+10.83	-0.17	+0.17	3%	100%*
Standort	Kategorie	System		GEH	SQV
Weiherweg	Velo	Telraam		2.93	0.627
		Sierzega		2.00	0.657
		Miovision		0.42	0.891

Standort / Referenz	Velo-Bias	Auto-Bias	Schwer-Bias	Kompensation mit Velo (Multimodal)	Kompensation ohne Velo (Motorisiert)
Feldbergstrasse	Personenwagen	Telraam		1.24	0.729
		Sierzega		1.30	0.717
		Miovision		1.17	0.734
	Schwerverkehr	Telraam		1.25	0.741
		Sierzega		1.27	0.721
		Miovision		0.47	0.950
	Velo	Telraam		2.55	0.610
		Sierzega		8.66	0.329
		Miovision		0.72	0.841
St. Alban Vorstadt	Personenwagen	Telraam		1.13	0.769
		Sierzega		2.26	0.615
		Miovision		0.49	0.870
	Schwerverkehr	Telraam		3.50	0.429
		Sierzega		5.94	0.259
		Miovision		1.54	0.717
	Velo	Telraam		1.71	0.673
		Sierzega		7.12	0.365
		Miovision		0.41	0.888

Standort / Referenz	Velo-Bias	Auto-Bias	Schwer-Bias	Kompensation mit Velo (Multimodal)	Kompensation ohne Velo (Motorisiert)
	Personenwagen	Telraam	0.95	0.787	
		Sierzega	1.00	0.794	
		Miovision	0.22	0.945	
	Schwerverkehr	Telraam	1.51	0.725	
		Sierzega	1.71	0.725	
		Miovision	1.71	0.725	
Kategorie	Manuell	Telraam	Sierzega	Miovision	
Velo	57.58	68.42 (+18.8%)	14.50 (-74.8%)	57.42 (-0.3%)	
Personenwagen	5.92	5.75 (-2.8%)	5.00 (-15.5%)	6.00 (+1.4%)	
Schwerverkehr	0.17	0.33 (+100.0%)	0.00 (-100.0%)	0.00 (-100.0%)	
Fussgänger	70.17	27.83 (-60.3%)	0.00 (-100.0%)	68.58 (-2.3%)	