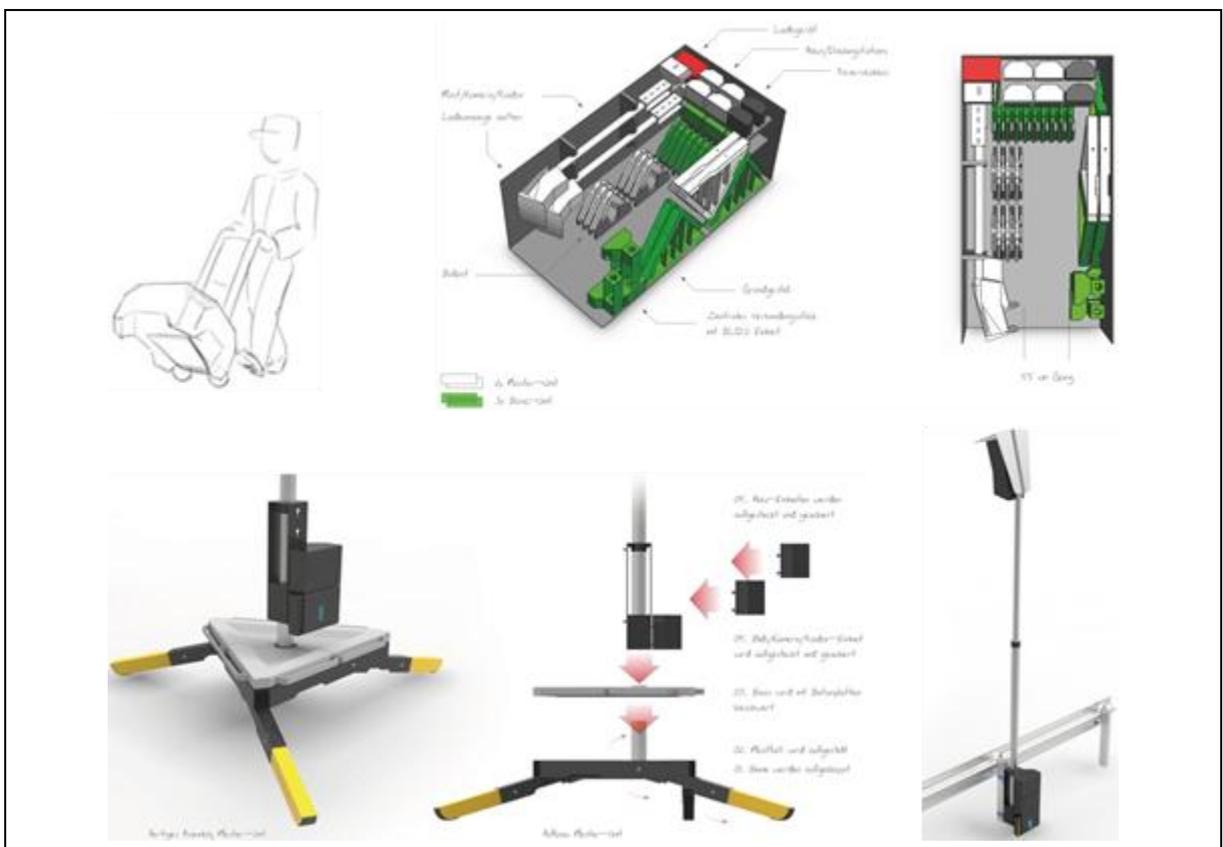


# Mobile ITS Unit MITSU

Ein Projekt finanziert im Rahmen der  
Pilotinitiative Verkehrsinfrastrukturforschung 2011  
(VIF2011)

Oktober 2012



## Impressum:

### Herausgeber und Programmverantwortung:

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie  
Abteilung Mobilitäts- und Verkehrstechnologien  
Renngasse 5  
A - 1010 Wien



ÖBB-Infrastruktur AG  
Praterstern 3  
A - 1020 Wien



Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs  
Aktiengesellschaft  
Rotenturmstraße 5-9  
A - 1010 Wien



### Für den Inhalt verantwortlich:

Kapsch TrafficCom AG  
Am Europlatz 2  
1120 Wien



### Programmmanagement:

Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft mbH  
Bereich Thematische Programme  
Sensengasse 1  
A – 1090 Wien



# Mobile ITS Unit MITSU

Ein Projekt finanziert im Rahmen der  
Pilotinitiative Verkehrsinfrastrukturforschung  
(VIF2011)

**AutorInnen:**

**Jürgen RUDOLF**

**Ing. Christian GERWIG**

**Auftraggeber:**

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

ÖBB-Infrastruktur AG

Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs-Aktiengesellschaft

**Auftragnehmer:**

Kapsch TrafficCom AG, mit

- » c.c.com Andersen & Moser GmbH
- » Formquadrat GmbH
- » VRVis Zentrum für Virtual Reality und Visualisierungs Forschungs-GmbH

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>ERGEBNISBERICHT MACHBARKEITSSTUDIE - HERANGEHENSWEISE DES KONSORTIALTEAMS .....</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>ERGEBNISBERICHT MACHBARKEITSSTUDIE - WORKFLOW .....</b>	<b>8</b>
2.1	Schritt 1: Planung & Projektdefinition.....	8
2.2	Schritt 2: Speichern & Laden .....	9
2.3	Schritt 3: Beauftragung .....	10
2.4	Schritt 4: Aufbau/Montage .....	10
2.5	Schritt 5: Konfiguration des Systems .....	13
2.6	Schritt 6: Betrieb .....	14
2.7	Schritt 7: Abbau/Demontage, Reinigung und Wartung .....	16
2.8	Schritt 8: Erfahrungsverwertung .....	16
<b>3</b>	<b>ERGEBNISBERICHT MACHBARKEITSSTUDIE - ARBEITSPAKETE .....</b>	<b>17</b>
3.1	AP 01: Konzeptbeschreibung Datenintegration .....	17
3.2	AP 02: Konzeptbeschreibung des GUIs.....	18
3.2.1	Technische Spezifikation .....	18
3.2.2	Grundsätzliche Funktionen für den Einsatz .....	18
3.2.3	Betriebsfunktionen / Betriebsstatus .....	19
3.3	AP 03: Konzeptbeschreibung des physischen Aufbaus.....	21
3.3.1	Bauteile.....	21
3.3.1.1	Basis-Stativ.....	21
3.3.1.2	Betongewichte .....	21
3.3.1.3	„BLIDS“ Bluetooth-Komponente .....	22
3.3.1.4	Montageplatte.....	22
3.3.1.5	„BLIDS“ Bluetooth-/Kamera-/Radar-Komponente (Master Unit Plus) ....	23
3.3.1.6	Akku-Komponente .....	24
3.3.2	Aufstellungsvarianten .....	24
3.3.2.1	Aufbau der Basic Unit.....	24
3.3.2.2	Aufbau der Master Unit bzw. Master Unit Plus .....	25
3.3.2.3	Befestigung der Basic Unit an einer Leitplanke .....	25
3.3.2.4	Befestigung der Master Unit an einer Leitplanke .....	26
3.3.3	Lagerung / Akuteinsatz .....	27
3.3.4	Optionale Display Unit .....	28
3.3.4.1	Aufbau der optionalen Display Unit .....	28
3.3.4.2	Lagerung / Akuteinsatz der optionalen Display Unit .....	28
3.4	AP 04: Beschreibung des Pilotprojektes.....	30
3.4.1	Definition der Hardware-Komponenten des Prototyps.....	30
3.4.2	Definition der Software-Komponenten des Prototyps .....	30
3.4.3	Testszenarien .....	30
3.4.4	Überleitung in einen Echtbetrieb.....	31
3.5	AP 05: Datenerfassung mittels Radarsensor .....	32
3.5.1	Anforderung .....	32
3.5.2	Messsystem.....	32
3.5.3	Vor- und Nachteile / Ökologischer Aspekt .....	33
3.6	AP 06: Stauermittlung mittels Bluetooth-Erfassung .....	34
3.6.1	Verfahrensbeschreibung.....	34

3.6.2	Datenaufbereitung Verkehrslage BLIDS.....	35
3.6.2.1	Verfahrensbeschreibung Reisezeit - Verfahren „Erste Fassung“.....	36
3.6.2.2	Verfahrensbeschreibung Reisezeit - Verfahren „Letzte Erfassung“.....	36
3.6.2.3	Verfahrensbeschreibung Reisegeschwindigkeit .....	37
3.6.2.4	Verfahrensbeschreibung Verlustzeit .....	37
3.6.2.5	Verfahrensbeschreibung Verlustzeit Indikator .....	37
3.6.3	Datenschutz und Sicherheitskonzept.....	38
3.6.4	Integration des BLIDS Sensors in MITSU.....	38
3.6.4.1	Technische Änderungen des BLIDS für den Prototyp .....	38
3.6.4.2	Software-Erweiterung im BLIDS Server.....	38
3.7	AP 07: Livevideo des Verkehrsflusses.....	39
3.7.1	Anforderungen.....	39
3.7.1.1	Gute Bildqualität bei Tag und Nacht .....	39
3.7.1.2	Mechanische Robustheit und Wetterbeständigkeit .....	39
3.7.1.3	Gewicht und Größe .....	39
3.7.1.4	Ausrichtung der Kamera auf das Verkehrsgeschehen .....	39
3.7.1.5	Einstellung der zu übertragenden Bandbreite.....	39
3.7.2	Mögliche Kameratypen .....	40
3.7.2.1	AXIS Q6034-E PTZ-Dome Kamera .....	40
3.7.2.2	AXIS P1347-E Fix-Kamera .....	41
3.7.2.3	MOBOTIX MX-M12D-Sec-DNight Fix-Kamera mit virtuellem PTZ .....	41
3.7.3	Kameraauswahl.....	42
3.8	AP 08: Ansteuerung von mobilen Anzeigen.....	44
3.8.1	Geforderte Ergebnisse.....	44
3.8.2	Anforderungen.....	44
3.8.3	Physischer und elektrischer Aufbau.....	44
3.8.4	Ansteuerung der mobilen Anzeigeeinheit .....	45
3.9	AP 09: Fahrzeug Fingerabdruck .....	46
3.9.1	Problemstellung.....	46
3.9.2	Nutzen aus Sicht der Ausschreibung.....	46
3.9.3	Ziele.....	46
3.9.4	Abhängigkeiten .....	46
3.9.5	Beschreibung der Lösungsansätze.....	46
3.9.5.1	Graph Matching .....	48
3.9.5.2	Line Matching .....	49
3.9.6	Benötigte Kamerageometrie und -eigenschaften.....	50
3.9.7	Fazit.....	51
3.10	AP 10: Automatische Kamerakonfiguration .....	52
3.10.1	Problemstellung.....	52
3.10.2	Nutzen aus Sicht der Ausschreibung.....	52
3.10.3	Ziele.....	52
3.10.4	Abhängigkeiten .....	52
3.10.5	Annahmen .....	52
3.10.6	Beschreibung der Lösungsansätze.....	53
3.10.6.1	Definition des „geeigneten“ Bildausschnitts .....	53
3.10.6.2	Beschreibung der Kamerageometrie .....	53
3.10.6.3	Korrekturmöglichkeiten für Linsenverzerrungen .....	54

3.10.7	Beschreibung der möglichen Ansätze zur Ausschnittwahl.....	55
3.10.7.1	Fließverkehr auf der Fahrbahn beobachten.....	55
3.10.7.2	Fahrbahnmarkierungen finden.....	55
3.10.8	Skalierung des Bildausschnitts .....	56

# 1 ERGEBNISBERICHT MACHBARKEITSSTUDIE - HERANGEHENSWEISE DES KONSORTIALTEAMS

Bei der Erstellung der vorliegenden Machbarkeitsstudie zum Thema „Mobiles Verkehrsmanagementsystem für Baustellen und Großereignisse“ hat das Konsortialteam unterschiedlichste Blickwinkel aufgegriffen und diskutiert.

Besonderes Augenmerk wurde dabei gelegt auf:

- » die Sicht der Technik
  - welche Sensoren eignen sich bestmöglich für diese Aufgabe
  - welche Methode der Datenzusammenführung und -bearbeitung ist nötig
  - wie wartungsfreundlich ist das System (Software und Hardware)
- » die Sicht des Verkehrsmanagements
  - wie ist der genaue Ablauf eines Einsatzes
  - wo kann MITSU den Operator bestmöglich unterstützen
  - wie muss eine einfache und intuitive Bedienung des GUIs aussehen
- » die Sicht des Fachpersonals
  - wie können die MITSU Units möglichst einfach transportiert und aufgestellt werden (hier wurde besonders auf Handhabung und Gewicht geachtet, um auch in Hinblick auf Gender-Neutralität ein ausgewogenes Produkt zu entwickeln)
- » die Sicht der Straßenmeisterei
  - wie kann eine effektive Aufbewahrung und permanente Einsatzbereitschaft gewährleistet werden
  - wie hat ein autarker Betrieb im Detail auszusehen (Stromversorgung, Kommunikation etc.)
  - welche Vorkehrungen gegen Vandalismus und Umwelteinflüsse sind nötig
- » die Sicht des Finanzverantwortlichen
  - wie lässt sich das System kostenschonend realisieren
  - wie lässt sich das System kostenschonend betreiben und warten
  - welche Investitionssicherheit bietet das System (Skalierbarkeit, technische Erweiterung etc.)

Die Resultate der oben aufgeführten Betrachtungsweisen sowie weiterer Aspekte finden sich auf den nachfolgenden Seiten des Ergebnisberichts.

## 2 ERGEBNISBERICHT MACHBARKEITSSTUDIE - WORKFLOW

Die nachfolgend aufgezeigten Schritte schildern den generellen Workflow, so wie er sich im Einsatz eines Verkehrsmanagementsystems für Baustellen und Großereignisse aus Sicht des Projektkonsortiums ergeben wird.

Es wird bei dieser Beschreibung bewusst nicht auf Details in der technischen Umsetzung eingegangen, da diese im Ergebnisbericht der einzelnen Arbeitspakete (Kapitel 3) entsprechend behandelt werden.

Der Einfachheit halber wurde in den nachfolgend gezeigten Abbildungen auf Kartenmaterial aus Google Maps zurückgegriffen. Aus betrieblichen bzw. lizenzrechtlichen Gründen kann in der endgültigen MITSU Applikation selbstverständlich auch ein anderes Kartenmaterial eingebunden werden.

Die nachfolgend gezeigten Screenshots repräsentieren (gemäß dem Sinn einer Machbarkeitsanalyse) noch keine endgültige Version der Applikation. In den Schaubildern soll lediglich aufgezeigt werden, wie eine funktionierende Anwendung nach heutigen Erkenntnissen aussehen kann.

### 2.1 Schritt 1: Planung & Projektdefinition

Die Effizienz eines mobilen Verkehrsmanagementsystems zeigt sich bereits in der Vorplanungsphase einer Baustelle oder eines Großereignisses. Ziel hierbei ist es, möglichst frühzeitig festzulegen, an welchen Orten sowohl die Sensoren zur Verkehrsdatenerfassung als auch die Anzeige-Komponenten zur Verkehrsbeeinflussung aufgestellt werden sollen.

Schon in dieser Phase bietet MITSU eine wertvolle Unterstützung für das Planungspersonal.

Sobald die MITSU Applikation gestartet wird, öffnet sich eine Kartendarstellung im Browser, sodass der/die Operator/in das betroffene Areal suchen und auswählen kann.

Mittels Mausklick können die ungefähren Standorte der MITSU Units (Sensorik, Anzeige-Komponenten etc.) markiert werden, die zugehörigen GPS-Koordinaten sowie die Straßenkilometer-Angaben als Information für das Aufstellpersonal werden in die Tabelle übernommen.

Zusätzliche Informationen können manuell in die Tabelle mit aufgenommen werden.

MITSU - Baustellenmanagement

http://mitsu.asfinag.at

Projekt System Anzeige

- Neu
- Speichern
- Laden
- Auftrag senden
- Beenden

Messtabelle	GPS	Strasse	Richtung	System	KM	Bemerkung	Status
A	48.179701/15.541534	A23	Wien	Dyn. Anzeige	225	1 km vor Anfang BS	<input type="checkbox"/>
B	48.1184279/15.694656	A23	Wien	BLIDS+Radar	226	Anfang BS	<input type="checkbox"/>
C	48.230955/15.68161	A23	Wien	BLIDS+Radar	228	Mitte BS	<input type="checkbox"/>
..	..	..	..	..	..	..	<input type="checkbox"/>

Abbildung 1: Planung und Projektdefinition

## 2.2 Schritt 2: Speichern & Laden

Jedes Projekt kann mit den zugehörigen Informationen gespeichert werden.

MITSU - Baustellenmanagement

http://mitsu.asfinag.at

Projekt System Anzeige

- Neu
- Speichern
- Laden
- Auftrag senden
- Beenden

Speichern

Novarock 2011

Airpower 2011

Baustelle S1 km4-8

Name: Baustelle A23 km225-231

Messtabelle	GPS	Strasse	Richtung	System	KM	Bemerkung	Status
A	48.179701/15.541534	A23	Wien	Dyn. Anzeige	225	1 km vor Anfang BS	<input type="checkbox"/>
B	48.1184279/15.694656	A23	Wien	BLIDS+Radar	226	Anfang BS	<input type="checkbox"/>
C	48.230955/15.68161	A23	Wien	BLIDS+Radar	228	Mitte BS	<input type="checkbox"/>
D	48.34480/15.7903	A23	Wien	BLIDS+Kamera	231	Ende BS	<input type="checkbox"/>

Abbildung 2: Speichern & Laden

Bei wiederkehrenden Ereignissen (bspw. Nova Rock, Airpower etc.) kann die zuletzt verwendete Konfiguration für die neue Planung geladen und auf neue Anforderungen bzw. aufgrund von „lessons learned“ adaptiert werden. Vergleiche, basierend auf wiederkehrenden Datenerhebungen, sind somit ebenso möglich.

Ein eigenes Management-Tool mit flexiblen Berichten ist in weiterer Folge denkbar.

### 2.3 Schritt 3: Beauftragung

Nachdem das Projekt gespeichert wurde, wird der Auftrag mit Angabe des Beginn- und Ende-Datums des Ereignisses sowie dem benötigten Aufbau-Datum per E-Mail an die zuständige Abteilung bzw. Straßenmeisterei gesandt.

Messstelle	GPS	Strasse	Richtung	System	KM	Bemerkung	Status
A	48.179701/15.541534	A23	Wien	Dyn. Anzeige	225	1 km vor Anfang BS	<input type="checkbox"/>
B	48.1184279/15.694656	A23	Wien	BLIDS+Radar	226	Anfang BS	<input type="checkbox"/>
C	48.230955/15.68161	A23	Wien	BLIDS+Radar	228	Mitte BS	<input type="checkbox"/>
D	48.34480/15.7903	A23	Wien	BLIDS+Kamera	231	Ende BS	<input type="checkbox"/>

Abbildung 3: Beauftragung

Für das Personal vor Ort besteht nach Erhalt des Auftrages die Möglichkeit, gegebenenfalls nötige Änderungen bezüglich der Aufstellungsstandorte (bedingt durch topologische Einschränkungen etc.) in das System einzutragen und zu melden.

### 2.4 Schritt 4: Aufbau/Montage

Bei dringenden Einsätzen (Hangrutsch etc.) werden möglicherweise die Schritte 1-3 stark verkürzt erfolgen oder teilweise entfallen und der/die Operator/in - angepasst an die Vor-Ort-Situation - die MITSU Units ad hoc aufbauen lassen.

Der/die Beauftragte der zuständigen Straßenmeisterei benötigt hierfür lediglich ein Fahrzeug mit Anhängervorrichtung. In jeder Straßenmeisterei steht immer mindestens ein einsatzbereiter Anhänger mit der definierten Maximalkonfiguration an MITSU Units.



- HUMER GIGANT 1500 Motorrad Transporter
- grosse Laderampe
  - klappbares Dach
  - 365 x 161 x 163 cm
  - Bereich für Grafik (Auftrag & interagierende Firmen)

Abbildung 4: MITSU Anhänger

Befindet sich der MITSU Anhänger nicht im Einsatz, wird er an das normale 230V Stromnetz angeschlossen, sodass alle darin befindlichen System-Akkus stets im optimalen Ladezustand gehalten werden.

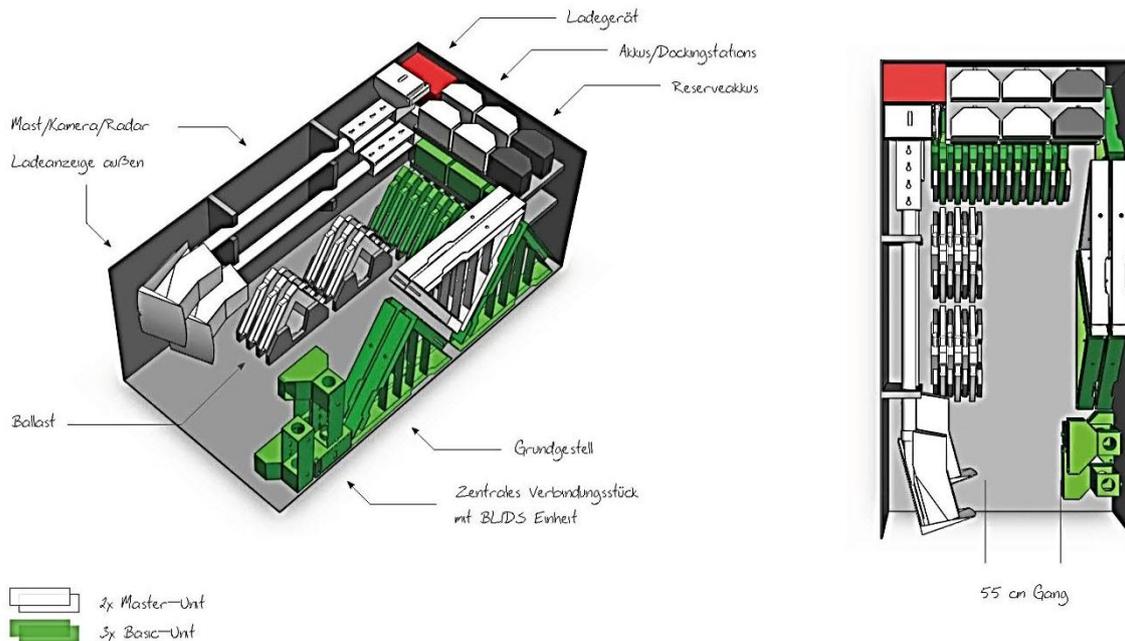


Abbildung 5: MITSU Anhänger

Der Aufbau der MITSU Units erfolgt an den laut Plan vorgesehenen Standorten. Hier ist eine sehr einfache, intuitiv selbsterklärende und modulare, daher auch leicht von einer Person ausführbare Anordnung der Systemkomponenten gewährleistet.

Die frei miteinander kombinierbaren Systemkomponenten der MITSU Unit sind

- » ein variables Trägermodul,
- » ein Teleskopmast mit Kamera-Komponente (für Bild) und Radar-Komponente (zur Fahrzeugzählung),
- » eine „BLIDS“ Bluetooth-Komponente (zur Reisezeiterhebung),
- » GPS (zur Standorterkennung) und UMTS/GPRS (zur Datenübertragung),
- » ein Anzeige-Komponente (zur Verkehrsbeeinflussung) sowie
- » eine Akku-Komponente (zur autarken Stromversorgung).

Um Umwelteinflüsse weitgehend auszuschließen, ist der Teleskopmast bereits im Auslieferungszustand innenliegend mit der zugehörigen Kamera- und Radar-Komponente verkabelt. Lediglich die „BLIDS“ Bluetooth-Komponente sowie die Akku-Komponente müssen noch über einen korrosions- und schmutzbeständigen Steckanschluss verbunden werden.

Die flexiblen Trägermodule ermöglichen die einfache Anpassung an verschiedenste Untergründe und Aufstell-Situationen und erlauben in den meisten Fällen (ausgenommen bspw. bei einer Lärmschutzwand direkt neben dem Pannestreifen), keine Elemente auf die Fahrbahn bzw. den Pannestreifen stellen zu müssen.

Die Sicherheit der Verkehrsteilnehmer wird somit jederzeit bestmöglich berücksichtigt.



*Befestigung an Leitplanke*

*Aufstellung mit Grundgestell*

**Abbildung 6: MITSU Unit an Leitplanke oder auf Basisstativ**

Jede aufgestellte MITSU Unit wird per Hauptschalter in Betrieb gesetzt und vor Ort entweder per LEDs oder Wi-Fi Mobile Device (Smartphone, Tablet, Notebook etc.) nach einem Systemcheck als o.k. angezeigt.

Gleichzeitig meldet sich die Unit vollautomatisch bei einem zentralen Server an und wird mit GPS-Position und Definition aller vorhandenen Einzelkomponenten in der MITSU Applikation angezeigt.



Abbildung 7: Anmeldung der Einheiten am System

Die automatisierte Übermittlung der GPS-Position kann auch verwendet werden, um jederzeit eine Veränderung des Standortes, sei es gewollt durch die Straßenmeisterei oder ungewollt aufgrund eines Diebstahls, an die Zentrale zu melden.

## 2.5 Schritt 5: Konfiguration des Systems

Die angemeldeten einzelnen MITSU Units können nun in der Zentrale oder auf einer Mobile Device (Smartphone, Tablet, Notebook etc., nach Kundenwunsch angebunden mittels Web-Interface oder App) mit einem Mausklick zu einem Gesamtsystem zusammengeschlossen werden.

Nach der Parametrierung der Schwellwerte für Anzeigen und Alarme beginnt automatisch die Datenerfassung.

Die montierten Kameras sind selbst-vorjustierend. Sie beginnen das Bild der Fahrsuren in definierbarer Auflösung (auch abhängig vom Durchsatz der Netzanbindung am jeweiligen Standort) zu übertragen. Im Sinne von „Privacy“ und um zu vermeiden, hier in

rechtliche Konflikte zu geraten, wird die maximale Auflösung keine Kennzeichen auslesen lassen.

Alle angemeldeten Module können durch den/die Administrator/in remote überprüft, (nach)justiert und ein-/ausgeschaltet werden.

Parameter wie kritische Geschwindigkeitsbereiche, kritische Mengen an Zustrom zu Parkflächen etc. können jederzeit gesetzt oder verändert werden.

Die Systemdaten aller Komponenten können abgerufen werden.

The screenshot shows the MITSU - Baustellenmanagement web interface. At the top, there is a browser address bar with the URL <http://mitsu.asfinag.at>. Below the browser, there are navigation tabs for 'Projekt', 'System', and 'Anzeige'. Under the 'System' tab, there are two menu items: 'Routen definieren' and 'Systeminformation'. The main content area features a table with the following data:

Messtelle	GPS	Strasse	Richtung	System	KM	Bemerkung	Status
A	48.179701/15.541534	A23	Wien	Dyn. Anzeige	225	1 km vor Anfang BS	<input checked="" type="checkbox"/>
B	48.1184279/15.694656	A23	Wien	BLIDS+Radar	226	Anfang BS	<input checked="" type="checkbox"/>
C	48.230955/15.68161	A23	Wien	BLIDS+Radar	228	Mitte BS	<input checked="" type="checkbox"/>
D	48.34480/15.7903	A23	Wien	BLIDS+Kamera	231	Ende BS	<input checked="" type="checkbox"/>

Below the table, there are configuration options for routes. On the left, there is a list of routes: 'Routen', 'B/C/D', 'B/C', 'C/D', and two empty rows. In the center, there are two buttons: 'Zeiten manuell' and 'Zeiten automatisch'. Below these buttons is a dropdown menu for 'MIN/MAX +/-' set to '20%'. On the right, there is another table with the following data:

Routen	Default_Time (min)	MIN_Time (min)	MAX_Time (min)
B/C/D	05:00	02:30	07:00
B/C	02:00	01:30	03:00
C/D	03:00	02:00	I
..			
..			

Abbildung 8: Konfiguration des Systems

## 2.6 Schritt 6: Betrieb

Das fertig aufgestellte und konfigurierte System kann nun in Betrieb genommen werden.

Für den Zugriff auf das MITSU System kann jeder einzelnen Benutzergruppe (Administrator, Operator, Analyst, Exekutive etc.) die entsprechende Berechtigungsstufe zugeordnet werden. Hierin wird geregelt, welche Informationen eingesehen und welche Aktionen durchgeführt werden dürfen.

Die Richtlinien zur Einhaltung von Privacy und Datensicherheit werden dabei jederzeit erfüllt.

Der/die Benutzer/in kann sich sowohl lokal als auch mittels Mobile Device an das MITSU System anmelden und sich seine/ihre eigene Ansicht (Karte, Tabellen, Diagramme, Nachrichtenfelder, Warnungen etc.) nach Bedarf zusammenstellen und abspeichern.

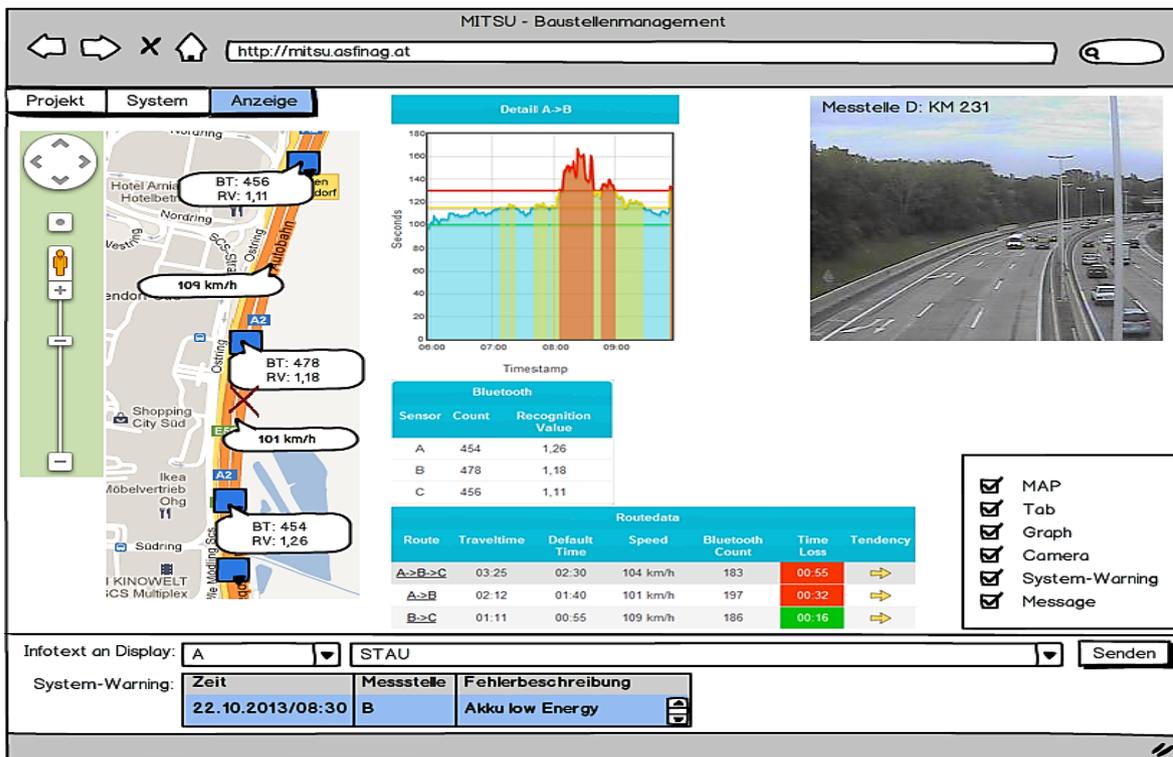


Abbildung 9: MITSU Anzeige im Betrieb

Optional kann über eine zusätzlich mögliche Schnittstelle auch mit dem ASFiNAG Traffic Management Center (ASFiNAG Verkehrssteuerung und ASFiNAG Videosystem) kommuniziert werden.

Über die „BLIDS“ Bluetooth-Systemkomponente können sowohl die Reisezeiten zwischen zwei oder mehreren Punkten innerhalb der Systemumgebung als auch damit einhergehend die Durchschnittsgeschwindigkeiten zuverlässig ermittelt werden.

Die Kamera-Module des Systems erlauben einen Echtzeit-Überblick zur Lage vor Ort und sind durch die Dual-Optik sowohl für Tag- als auch Nacht-Betrieb (Infrarot) universell einsetzbar.

Die Radar-Systemkomponente ermöglicht Verkehrszählungen mit einer relativ hohen Genauigkeit (abhängig von der Anzahl der zu erfassenden parallelen Fahrspuren und der damit einhergehenden teilweisen Überdeckung von Fahrzeugen). Diese zusätzliche Information kann bspw. zur besseren Steuerung des Zuflusses wie etwa. zu Parkplätzen bei Großereignissen herangezogen werden.

Über die Anzeige-Komponente (die durch jede andere Anzeige-Einheit, wie z.B. eine fahrbare Wechselverkehrszeichenanlage ersetzbar ist) besteht an der Strecke die Möglichkeit zur Einblendung von Verkehrsinformationen (frei programmierbare Textinformationen, Verkehrszeichen, Umleitungsrouten), um so - bspw. beim Einfahren in den betroffenen Abschnitt - eine Verkehrsbeeinflussung zu erzielen.

Soll eine MITSU Unit für einen längeren als den ursprünglich geplanten Zeitraum im Einsatz bleiben, so kann die zugehörige Akku-Komponente aufgrund des modularen Aufbaus jederzeit einfach und schnell durch die Straßenmeisterei ausgewechselt werden.

## **2.7 Schritt 7: Abbau/Demontage, Reinigung und Wartung**

Ebenso einfach, wie die MITSU Units aufzustellen waren, können sie nach erfolgreichem Einsatz des Systems wieder abgebaut werden. Hierzu wird erneut der Anhänger verwendet, in dem alle Komponenten direkt beim Abbau wieder an ihrem vorgesehenen Platz verstaut werden.

Sobald eine MITSU Unit im Feld deaktiviert wird, erfolgt die Signalisierung dieser Abschaltung auch im End-User Portal. Die Zuordnung der MITSU Unit zum jeweiligen Straßenabschnitt kann nun aufgelöst werden, sodass die Unit aus Sicht der Applikation für einen weiteren Einsatz an einem anderen Straßenabschnitt freigegeben ist.

Wieder zurück in der Straßenmeisterei werden die einzelnen Komponenten mittels Dampfstrahler gereinigt, eventuell beschädigte Komponenten können dank der Modularität einfach ausgetauscht bzw. repariert werden.

Nun braucht der Anhänger nur wieder an das 230V Stromnetz angeschlossen werden und MITSU ist bereit für den nächsten Einsatz.

## **2.8 Schritt 8: Erfahrungsverwertung**

Die Erfahrungen, die während des Einsatzes von MITSU gesammelt wurden, können in der Applikation hinterlegt werden.

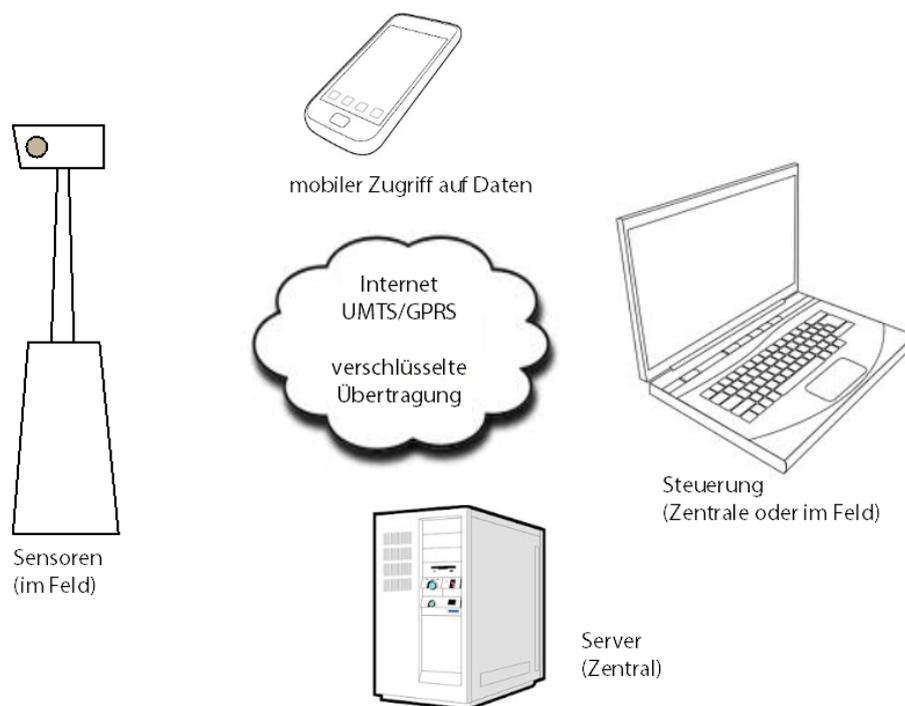
Dadurch wird erreicht, dass bei einem ähnlichen Einsatz des Systems auch anderem Personal wertvolle Hinweise zur Verfügung stehen, die eine noch effizientere Handhabung ermöglichen.

### 3 ERGEBNISBERICHT MACHBARKEITSSTUDIE - ARBEITSPAKETE

Die nachfolgenden Kapitel 3.1 bis 3.10 widmen sich den Ergebnissen der im Zuge der „PCP Phase 1 - Machbarkeitsstudie“ definierten Arbeitspakete.

#### 3.1 AP 01: Konzeptbeschreibung Datenintegration

Die Datenverbindung zwischen den im Feld eingesetzten Sensor-Komponenten, der Zentrale und den - teilweise mobilen - Benutzern erfolgt über eine verschlüsselte Internetverbindung (siehe untenstehende Abbildung). Bei der zentralen Komponente handelt es sich um einen Industriestandard Webserver, der zusammen mit der Server Software des Systems auf einem mit dem Internet verbundenen Standard Server PC installiert wird.



**Abbildung 10: Konzeptueller Aufbau des MITSU Gesamtsystems**

Die Aufstellung des Webserver für die Verbindung zu den Benutzern geschieht ortsungebunden. Sowohl der stationäre als auch mobile Zugriff auf das System kann grundsätzlich von jedem Ort mit ausreichender Internetanbindung erfolgen.

Die Kommunikation zwischen Server und Sensor-Komponenten erfolgt verschlüsselt, ebenso die Verbindung zur Benutzerschnittstelle. Informationen wie bspw. die Reisedauer oder etwa Videobilder können bei Bedarf jedoch auch für den Zugriff über eine öffentliche Website freigegeben werden.

## 3.2 AP 02: Konzeptbeschreibung des GUIs

Dieses Arbeitspaket beschreibt - primär aus technischer Sicht - den vorgesehenen Aufbau und die Funktionalität der MITSU Benutzerschnittstelle (GUI).

Die beabsichtigte Art der Darstellung bzw. Handhabung wird in Kapitel 2 „Ergebnisbericht Machbarkeitsstudie - Workflow“ eingehender geschildert.

### 3.2.1 Technische Spezifikation

Die MITSU Benutzerschnittstelle (GUI) wird in einem HTML5 kompatiblen Webbrowser (z.B. IE, Chrome, Firefox) realisiert. Dadurch ist der verschlüsselte Zugriff auf das System sowohl lokal in der Zentrale als auch remote von beliebigen, korrekt authentifizierten Computern oder Tablets vor Ort gewährleistet.

Eingeschränkt ist dadurch auch ein Zugriff über Smartphones möglich, der jedoch aufgrund des kleinen Touchscreens nicht wirklich zur Einrichtung eines neuen Einsatzes empfohlen werden kann.

Beim Design der Benutzerschnittstelle wird großer Wert auf die Einhaltung der verwendeten Internet-Standards gelegt, wodurch eine Einbindung der Daten gegebenenfalls auch in öffentlich zugängliche Websites ermöglicht wird. Dadurch können Staudaten und Überwachungsvideos bei Bedarf auch an die Webpages der Veranstaltungen weitergegeben werden, deren Zufahrt überwacht wird.

Alternativ zur oben genannten Web-basierten Anwendung im Internet-Browser kann MITSU auch als App für Mobile Devices zur Verfügung gestellt werden. Der zusätzliche Nutzen wurde innerhalb des Konsortialteams sehr differenziert gesehen, insbesondere in Hinblick auf die heute sehr vielfältige Verwendung unterschiedlichster Devices und Software-Releases am Markt und der damit einhergehenden Gefahr potentieller Unverträglichkeiten. Eine Web-Oberfläche, die optisch und funktionell nicht minder interessant gestaltet sein muss, ist in der Regel jedoch von jedem Endgerät aus erreichbar.

### 3.2.2 Grundsätzliche Funktionen für den Einsatz

Folgenden Funktionsumfang bietet die MITSU Applikation:

- » Benutzerverwaltung (insbesondere Rechtevergabe für unterschiedlichen Zugriff wie bspw. Administrator, Operator, Exekutive etc.)
- » Individuelle, intuitive Konfiguration (bspw. der Darstellung) durch den Benutzer
- » Zugangsmöglichkeit lokal und remote
- » Bereitstellung von Kartenmaterial für die Planung und den Betrieb
- » Definition und Zuordnung von Straßen- bzw. Gebietsabschnitten

- » Definition und Zuordnung zu verwendender MITSU Units
- » Speicherung und Abruf von Projektdaten (Koordinaten, MITSU Units, Parameter etc.) mit Analyse- und Annotationsmöglichkeiten
- » Auftragsmanagement (Vergabe, Bestätigung, Kontrolle etc.) mit Dokumentation
- » Automatisierte Meldung aktivierter MITSU Units
- » Automatisierte Übernahme aktivierter MITSU Units in das System
- » Automatisierte Meldung deaktivierter MITSU Units und Aktionsaufforderung
- » Datenaustausch zwischen der MITSU Applikation und den aktivierten MITSU Units
- » Remote-Steuerung der MITSU Komponenten (bspw. Blickrichtung und Zoom der Kamera)
- » Parametrisierung von Schwellwerten für Anzeigen und Alarme
- » Verarbeitung der von den MITSU Units und deren Komponenten (Bluetooth, Radar, Video) eingehenden Daten
- » Aufbereitung und Visualisierung der eingehenden Daten mit entsprechenden Analysemöglichkeiten (insbesondere hinsichtlich Geschwindigkeiten, Reisezeiten, Echtzeit-Überblick, Verkehrszählung etc.)
- » Nach Regeln automatisierte Ansteuerung entsprechender Aktionen in Bezug auf erfolgte Analysen (bspw. Ansteuerung der MITSU Display Unit etc., siehe 2.2.3)
- » Einhaltung/Wahrung jeglicher Datensicherheitsaspekte durch Anonymisierung und Verschlüsselung

### **3.2.3 Betriebsfunktionen / Betriebsstatus**

Wie in den unter 3.2.2 aufgezeigten Funktionen ersichtlich, können durch die „Rule Engine“ der MITSU Applikation alle empfangenen Daten (aktuelle Reisegeschwindigkeit bzw. Reisezeit, Anzahl Fahrzeuge, Gerätestatus etc.) nach definierbaren Regeln bewertet und entsprechende Aktionen definiert werden. Die Definition dieser Regeln erfolgt im Web-Portal bei der erstmaligen Einrichtung des Systems.

Wenn bspw. die Reisezeit einen definierten Schwellwert und Wertebereich erreicht, wird ein Alarm generiert. Dieser Alarm kann auf unterschiedlichste Weise verarbeitet werden:

- » Pop-Up Window im Web-Portal
- » SNMP Trap an ein zentrales Überwachungs- oder Management-System
- » Ansteuerung einer MITSU Display Unit nach vorheriger Quittierung durch das Fachpersonal
- » E-Mail an eine definierbare Adresse
- » SMS an eine definierbare Telefonnummer
- » Schreiben eines Logs in eine Alarmdatenbank, um die Bearbeitung der Alarmmeldung zu verfolgen
- » etc.

Neben den Betriebsfunktionen kann man auch den Betriebsstatus der MITSU Units im Feld überwachen. Interessante Daten sind neben der generellen Verfügbarkeits- und Funktionsanzeige:

- » GPS-Position: Daraus ergibt sich die Möglichkeit von „Geo-Fencing“, also einer Funktion, die unmittelbar einen Alarm auslöst, wenn eine im Feld positionierte und aktive MITSU Unit eine vordefinierte Zone verlässt.
- » G-Sensor & Gyro-Sensor: Werden die MITSU Units zusätzlich mit Beschleunigungs- und Drehbewegungssensoren ausgestattet, können Veränderungen der Lage des Gerätes, wie im Fall von Vandalismus, Umweltschäden usw. als Alarm dargestellt werden.
- » Batterie-Status: Durch Übermittlung des stets aktuellen Ladestandes kann rechtzeitig ein Wechsel der MITSU Akku-Komponenten veranlasst werden, sollten diese entgegen der berechneten Verfügbarkeitszeit Schwankungen aufweisen oder die Nutzung über den geplanten Zeitpunkt hinaus nötig werden.

### 3.3 AP 03: Konzeptbeschreibung des physischen Aufbaus

#### 3.3.1 Bauteile

Der Grundgedanke ist ein modularer Aufbau, bei welchem sich durch einfaches Zusammenstecken von Gleichteilen schnell und ohne großes Vorwissen unterschiedliche Aufbauten realisieren lassen. Die Akku-Komponente, als letztes aufgestecktes Modul, wird durch einen Splint fixiert, welcher zugleich den gesamten Aufbau zu einer kompakten Einheit verbindet.

##### 3.3.1.1 Basis-Stativ

Das Basis-Stativ verfügt über drei 2-teilige Füße zum Ausklappen. Die Ausnivellierung des Untergrundes erfolgt mittels verschiebbaren und über die gelben Spannhebel arretierbaren Distanzkeilen. Die Lage wird durch eine integrierte Libelle kontrolliert. Auf den ausklappbaren Mastfuß werden in weiterer Folge die Komponenten gesteckt.



Abbildung 11: MITSU Basis-Stativ

##### 3.3.1.2 Betongewichte

Drei Stück pro Sockel zum Beschweren und für einen sicheren Stand auch bei Bestückung mit einem 4m hohen Mast. Gleichzeitig werden die Verstellhebel des Sockels abgedeckt, um etwaige, nachträgliche Vandalismus-Tätigkeiten vorzubeugen. Jedes der Gewichte hat auf zwei Seiten relativ großzügige Metallgriffe für einen leichten Transport beim Auf- und Abbau. Die Betongewichte werden durch die nachfolgend aufgesteckte Komponente fixiert und können dann nicht mehr gelöst werden.

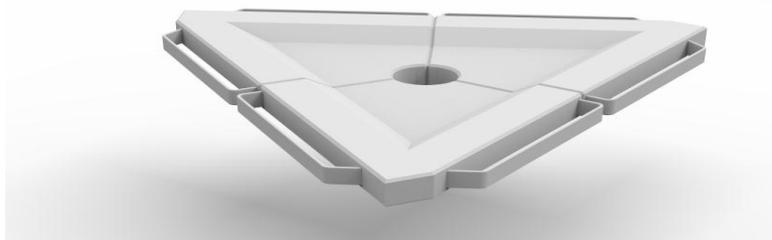


Abbildung 12: MITSU Betongewichte

### 3.3.1.3 „BLIDS“ Bluetooth-Komponente

Die „BLIDS“ Bluetooth-Komponente ist fest mit dem zentralen Verbindungsstück verbunden, welches entweder auf den Mastfuß des Basis-Stativs oder bei der Leitplankenmontage auf eine Montageplatte geschoben wird. Durch das Ergänzen und Fixieren der Akkus auf der „BLIDS“ Bluetooth-Komponente wird der gesamte Aufbau der Basisausführung gesichert und kann nicht durch Fremdeinwirken auseinandergenommen werden. Die Antenne der „BLIDS“ Bluetooth-Komponente wird durch einen Bügel geschützt. LEDs zeigen den Betriebszustand an.



Abbildung 13: MITSU "BLIDS" Bluetooth-Komponente

### 3.3.1.4 Montageplatte

Werden die Einheiten auf einer Leitplanke befestigt wird eine Montageplatte benötigt. Diese lässt sich schnell anlegen und verspannen. Durch das Aufsetzen und Verriegeln der Einheiten werden die Spannhebel verdeckt und können somit nicht mehr gelöst werden.



Abbildung 14: MITSU Montageplatte

### 3.3.1.5 „BLIDS“ Bluetooth-/Kamera-/Radar-Komponente (Master Unit Plus)

Diese Einheit ist vorassembliert und wird nur noch ausgezogen und auf das vorbereitete Basis-Stativ oder bei einer Leitplankenmontage auf die Montageplatte gesteckt. Durch das Ergänzen und Fixieren der Akkus auf diese Einheit wird der gesamte Aufbau der Basisausführung gesichert und kann nicht durch Fremdeinwirken auseinandergenommen werden. Das Regendach hat eine zusätzliche Schutzfunktion, sollte der Mast umfallen.



Abbildung 15: MITSU Master Unit Plus

### 3.3.1.6 Akku-Komponente

Eine Akku-Komponente besteht aus zwei Akku-Packs. Je nach benötigter Betriebsdauer können ein oder zwei solcher Einheiten auf das System gesteckt werden. Die Akku-Komponente wird beim Zusammenbau als letzter Baustein aufgeschoben und fixiert, dadurch ist der gesamte Aufbau gesichert und kann nicht durch Fremdeinwirken auseinandergenommen werden. Schnell und problemlos lässt sich diese Komponente auswechseln und ergänzen.



Abbildung 16: MITSU Akku-Komponente

### 3.3.2 Aufstellungsvarianten

#### 3.3.2.1 Aufbau der Basic Unit

- » Aufbau Basis-Stativ (Beine bleiben eingeklappt)
- » Betonplatten werden um den aufgestellten Mastfuß gelegt
- » „BLIDS“ Bluetooth-Komponente wird aufgesteckt
- » Die Akku-Komponente wird aufgeschoben. Durch die Fixierung der Komponente ist der gesamte Aufbau gesichert

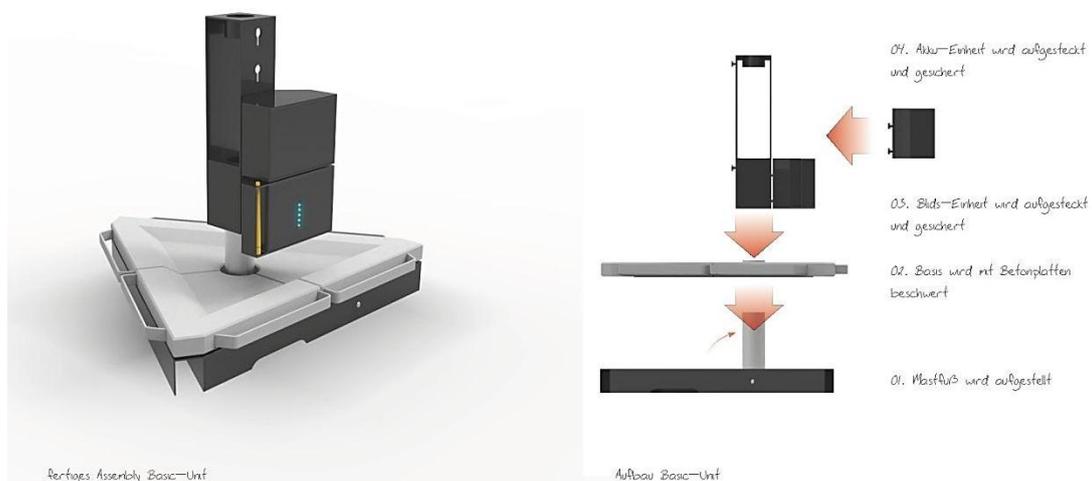


Abbildung 17: Aufbau der Basic Unit

### 3.3.2.2 Aufbau der Master Unit bzw. Master Unit Plus

- » Aufbau Basis-Stativ und Ausrichtung der Beine
- » Betonplatten werden um den aufgestellten Mastfuß gelegt
- » „BLIDS“ Bluetooth-/Kamera-/Radar-Komponente wird aufgesteckt
- » Die Akku-Komponente wird aufgeschoben. Durch die Fixierung der Komponente ist der gesamte Aufbau gesichert

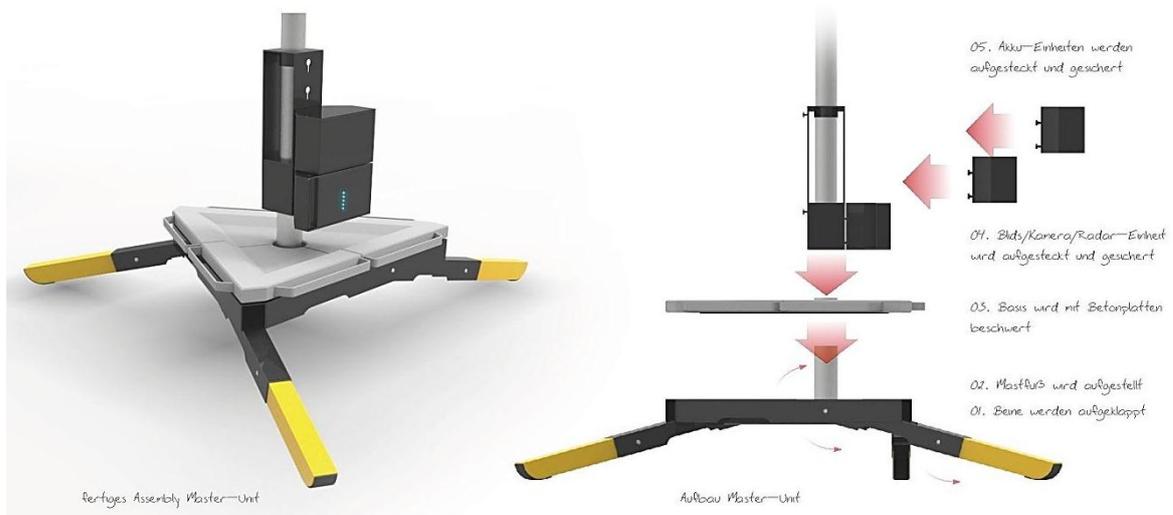


Abbildung 18: Aufbau der Master Unit bzw. Master Unit Plus

### 3.3.2.3 Befestigung der Basic Unit an einer Leitplanke

- » Montageplatte wird befestigt
- » „BLIDS“ Bluetooth-Komponente wird aufgeschoben
- » Die Akku-Komponente wird aufgeschoben. Durch die Fixierung der Komponente ist der gesamte Aufbau gesichert

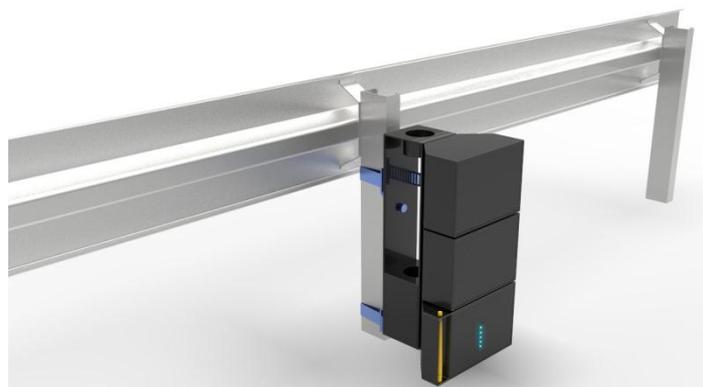


Abbildung 19: Befestigung der Basic Unit an Leitplanke

### 3.3.2.4 Befestigung der Master Unit an einer Leitplanke

- » Montageplatte wird befestigt
- » „BLIDS“ Bluetooth-Komponente wird aufgeschoben
- » Die Akku-Komponente wird aufgeschoben. Durch die Fixierung der Komponente ist der gesamte Aufbau gesichert



Abbildung 21: Befestigung der Master Unit an Leitplanke



Befestigung an Leitplanke

Aufstellung mit Grundgestell

Abbildung 20: Aufstellvarianten der MITSU Einheit

### 3.3.3 Lagerung / Akuteinsatz

Die einzelnen Module werden in einem dafür speziell umgebauten Anhänger gelagert und sind immer einsatzbereit. Der Ladezustand der Akku-Komponenten ist von außen erkennbar. Gute Zugänglichkeit und optimale Gewichtsverteilung auf der Achse sind gegeben. Die Korridorbreite beträgt 55cm.

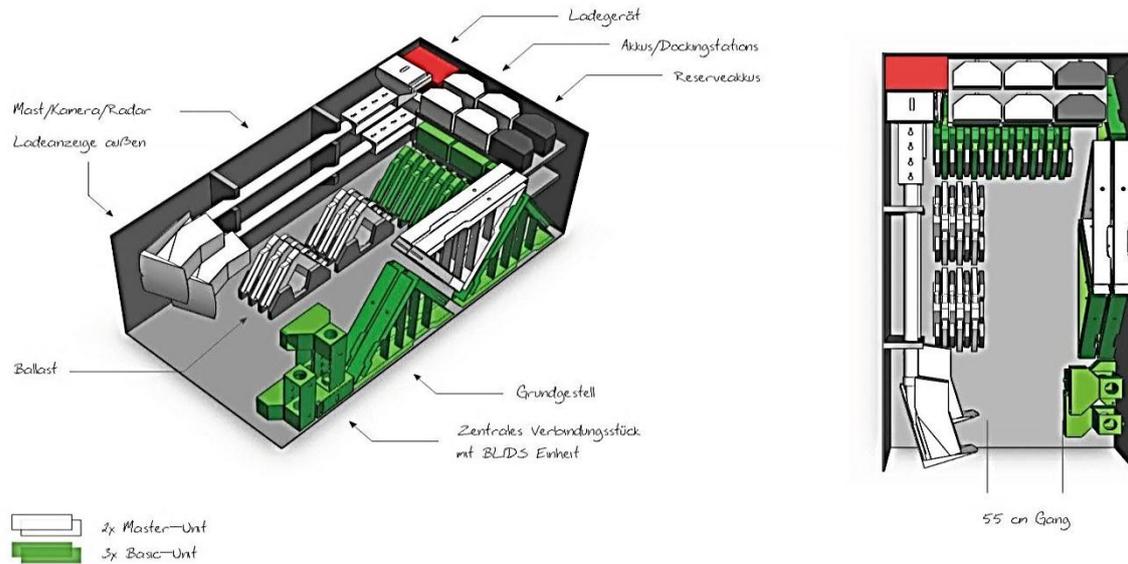


Abbildung 22: MITSU Anhänger

Der Anhänger lässt sich nach hinten leicht Be- und Entladen. Das Dach kann angehoben werden und gibt zusätzlich Raum frei. Die seitlichen Flächen können mit Grafik versehen werden (ASFiNAG Logo / mitwirkende Firmen etc.).



- HUPER GIGANT 1500 Motorrad Transporter
- grosse Laderampe
  - heizbares Dach
  - 365 x 161 x 163 cm
  - Bereich für Grafik (Auftrag & mitwirkende Firmen)

Abbildung 23: MITSU Anhänger

### 3.3.4 Optionale Display Unit

Wenn kein anderes mobiles Display zur Verkehrsinformation aufgestellt werden kann, besteht die Möglichkeit der Erweiterung durch einen Displaysteher, der auf demselben Aufbauprinzip zusammengestellt und betrieben wird wie die Master Units. Der Unterschied besteht lediglich darin, dass der Mast die halbe Höhe besitzt und somit nicht ausgefahren werden muss. Darauf ist dann ein Display montiert. Strom und Intelligenz bezieht dieses Display aus einer umkonfigurierten Basic Unit.

#### 3.3.4.1 Aufbau der optionalen Display Unit

- » Aufbau Basis-Stativ und Ausrichtung der Beine
- » Betonplatten werden um den aufgestellten Mastfuß gelegt
- » Anzeige-Komponente wird aufgesteckt
- » Die Akku-Komponente wird aufgeschoben. Durch die Fixierung der Komponente ist der gesamte Aufbau gesichert



Abbildung 24: MITSU Display Unit

#### 3.3.4.2 Lagerung / Akuteinsatz der optionalen Display Unit

Um die optionale Display Unit schnell griffbereit als ersten Baustein des MITSU Systems aufstellen zu können, darf kein erschwerter Zugriff im Hänger bestehen. Daher ist ein Ansatz, die Anzeige-Komponente im aufschwenkbaren Dachbereich des Hängers mit Haltenasen zu fixieren und zu verspannen. Vom Gewicht her sollte die gesamte Einheit leicht zu Be- und Entladen sein.

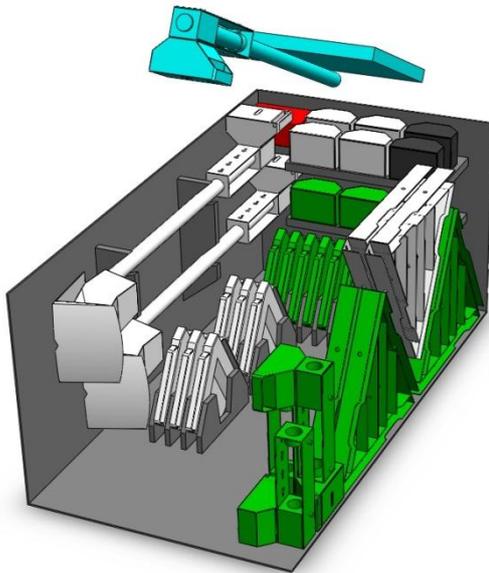


Abbildung 25: MITSU Optionale Display Unit

## **3.4 AP 04: Beschreibung des Pilotprojektes**

### **3.4.1 Definition der Hardware-Komponenten des Prototyps**

Um eine klare und funktionsfähige Pilotanlage darstellen zu können ist es notwendig (und zugleich auch ausreichend), von jeder angedachten Einzel Unit - wie in 3.3 beschrieben - ein Exemplar herzustellen.

Das heißt:

- » 2x Basic Units, davon
  - 1x mit Befestigung auf Stativ und
  - 1x mit Befestigung an Leitschiene
- » 1x Master Unit (Bluetooth+Kamera)
- » 1x Master Unit Plus (Bluetooth+Kamera+Radar)
- » 1x Display Unit (Bluetooth optional)

Alle Units sind selbstverständlich mit den dazu passenden Akku-Komponenten, GPS- (zur Positionsbestimmung bei Installation und zur Zeit-Synchronisation) und Mobilfunkmodulen zur drahtlosen Datenübertragung versehen.

Zusätzlich wird ein Server (Standort noch zu bestimmen) eingerichtet, der als Zentrale dient und von verschiedenen Nutzern, auch mobil, Web-basierend zur Einrichtung und Verwendung aller MITSU Komponenten angesprochen werden kann.

### **3.4.2 Definition der Software-Komponenten des Prototyps**

Unter bestmöglicher Verwendung bestehender Ressourcen (z.B. „BLIDS“ Bluetooth-Komponente zur Reisezeitbestimmung) wird die MITSU Software erstellt, die alle Anwendungsbereiche, von der Planung eines Einsatzes über die Inbetriebnahme und Konfiguration, den Betrieb mit Datenerfassung und -auswertung bis hin zur Verkehrsbeeinflussung durch Ansteuerung der Display-Unit(s), abdeckt.

Darüber hinaus sollen Einsätze abschließend analysiert und bereits verwendete MITSU Konfigurationen als Basis für die Planung neuer Einsätze herangezogen werden können. Dies spart - durch Verwendung solcher „Muster-Einsätze“ - in der Folge zunehmend Planungs- und Einrichtungs-Arbeit sowie wertvolle Zeit.

### **3.4.3 Testszenarien**

Mit der in 3.4.1 beschriebenen Konfiguration werden während der Pilotphase erste Testszenarien zur Installation und Inbetriebnahme real aufgebaut und die dabei erzielten Ergebnisse als mögliche Demonstration der Funktionalität verwendet.

Zugleich werden bei diesen Testszenarien Erfahrungen gesammelt, die in die Erstellung möglichst einfacher und präziser Bedienungsanleitungen für die Errichtung und den Betrieb von MITSU einfließen.

#### **3.4.4 Überleitung in einen Echtbetrieb**

Die Erfahrungen aus dem Testbetrieb sollen dazu dienen, für den Echtbetrieb die sinnvollste (ergebnisorientiert und wirtschaftlich) Minimal- und Standard-Konfiguration der unterschiedlichen MITSU Units zu finden.

Als (in Phase 2 zu bestätigendes) Ziel haben wir angedacht, zwei Minimalkonfigurationen zusammen in einer Aufbewahrungseinheit (Anhängen) unterzubringen, um damit für alle möglichen Einsätze die optimale Zusammenstellung zur Verfügung zu haben.

Anmerkung: wie in 3.4.1 beschrieben, werden im Rahmen der Prototyp-Beauftragung nur die angeführten Units tatsächlich hergestellt (Kosteneffizienz); der Anhänger wird dann so ausgelegt, dass die o.g. zwei Minimalkonfigurationen ordentlich untergebracht und über entsprechende Elektronik alle notwendigen Akkus permanent in optimalem Ladezustand gehalten werden.

Der modulare Aufbau der MITSU Units ermöglicht einfache Handhabung und schnellen Austausch einzelner Komponenten und Komponententeile.

## 3.5 AP 05: Datenerfassung mittels Radarsensor

### 3.5.1 Anforderung

In diesem Arbeitspaket soll eine technische Lösung erarbeitet werden, die Ergebnisse, ermittelt durch ein bestehendes Messverfahren zur Messung der Fahrzeit in einem vorgegebenen Bereich, mittels Zählung der Fahrzeuge evaluiert und optimiert. Gefordert wird eine zufriedenstellende Zuverlässigkeit der Werte, welche für statistische Auswertungen zur Verfügung gestellt werden sollen. Weiters soll eine einfache Integration in das bestehende Messsystem gewährleistet werden, was nicht nur die Schnittstellen und die Montage sondern auch die Platzierung der gesamten Messstation unmittelbar neben der Fahrbahn beinhaltet. Sehr hohen Wert wird auch auf eine einfache Inbetriebnahme, begründet durch die Forderung der Mobilität der Gesamtanlage, gelegt.

### 3.5.2 Messsystem

Um die Anforderungen an das Messsystem zu erfüllen, wurde der radarbasierende Sensor RTMS G4 der Firma image sensing systems gewählt. Hauptauswahlkriterium hierfür war das gute Preis-/Leistungsverhältnis und der große Erfassungswinkel von 50°.

Die nachfolgende Abbildung zeigt ein Einsatzbeispiel des Radarsensors über 8 Spuren. Dieser Einsatz bedingt jedoch, dass der Sensor auf einer Höhe größer 4 m montiert wird und der Mindestabstand zur ersten Spur 1,5 m beträgt.

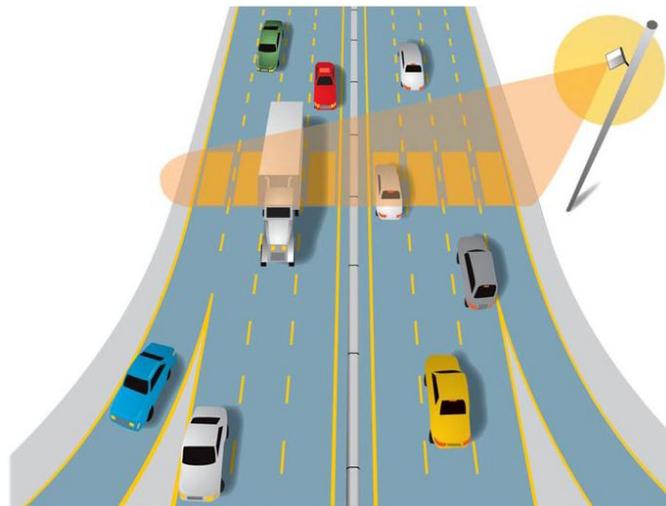


Abbildung 26: Funktionsdarstellung des Radar-Sensors

Nachdem im Projekt MITSU die Maximalhöhe des Mastes mit 4 m definiert wurde und der Aufstellungsort möglichst nahe zur Fahrbahn sein soll, muss ein entsprechend steilerer Ausrichtungswinkel gewählt werden. Somit ist es möglich, insgesamt 4 Spuren ab einem minimalen Abstand von ca. 0,5 m von der ersten Spur zum Aufstellungsort zu erfassen.

Ein weiteres Entscheidungskriterium für diesen Sensor ist die einfache, halbautomatische Spurerkennung. Hierbei erkennt das System anhand des fließenden Verkehrs automatisch die einzelnen Fahrspuren, welche dann nur noch vom Operator bestätigt werden müssen.

Danach können folgende Sensordaten ausgewertet werden:

- » Anzahl der Fahrzeuge
- » Momentangeschwindigkeit
- » Klassifizierung der Fahrzeuge

### **3.5.3 Vor- und Nachteile / Ökologischer Aspekt**

Die Ergänzung des bestehenden Messverfahrens durch die radarbasierende Fahrzeugzählung erhöht die Aussagekraft und Zuverlässigkeit des gesamten Messsystems. Hierzu ist zwar die Installation eines weiteren Gerätes erforderlich und somit auch der damit verbundene Aufwand zu berücksichtigen, aufgrund der relativ einfachen Integration in das System sowie der unkomplizierten Inbetriebnahme überwiegt hier jedoch der Gesamtnutzen. Auch die mit 3 Watt sehr geringe Leistungsaufnahme des Radarsensors erhöht den Gesamtenergieverbrauch des Messsystems nur unwesentlich und ist somit auch für eine mobile Anwendung bestens geeignet.

### 3.6 AP 06: Stauermittlung mittels Bluetooth-Erfassung

#### 3.6.1 Verfahrensbeschreibung

Für den Prototyp wird das Erfassungssystem der Firma c.c.com Andersen & Moser GmbH (nachfolgend c.c.com genannt), BLIDS - c.c.com 2010 verwendet werden, welches bestimmte Eigenschaften des Bluetooth Übertragungsverfahrens (IEEE 802.15.1, 2005) ausnutzt, um Reisezeiten zu messen. Die technischen Details sind auf der Internetseite von c.c.com (<http://www.blids.cc/>) zu finden.

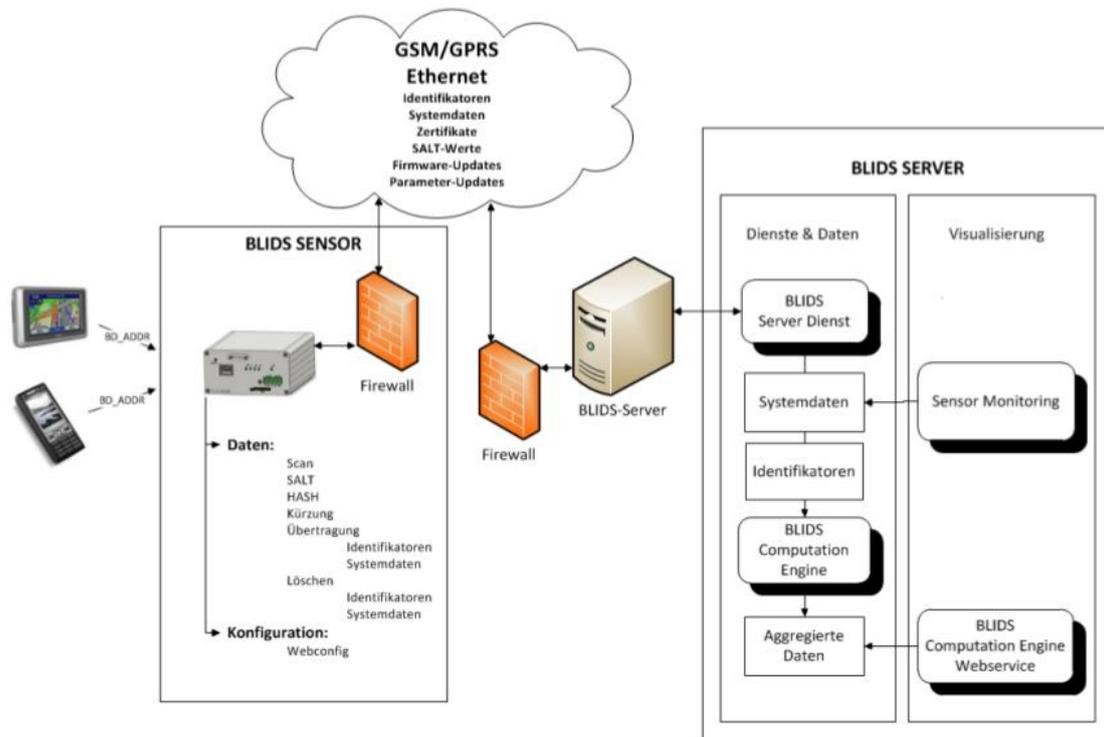


Abbildung 27: Systemübersicht BLIDS

Das System basiert darauf, die Bluetooth-Schnittstellen von Verkehrsteilnehmern zu erfassen, zu anonymisieren und an einen Server zu übertragen. Im Server wird dann nach dem Auftreten von identischen Kennungen an verschiedenen Messpunkten gesucht und darüber Fahrbeziehungen sowie die Reisezeit ermittelt. Durch intelligente Filterung und Mittelung der Einzeldaten kann dann für definierte Streckenabschnitte die aktuelle Reisezeit bestimmt werden.

Im Zuge dieses Projektes wurde auch erstmalig das Konzept der WLAN-MAC Adresserfassung untersucht. Aufgrund der immer stärkeren Durchdringung mit Smartphones wird damit gerechnet, dass eine steigende Anzahl an verwertbaren zusätzlichen Stichproben generiert werden können.

Technische Voruntersuchungen, die ein mögliches „Einsammeln“ und „Wiedererkennen“ der WLAN-MAC Adresse beinhalteten, wurden durchgeführt. Das Ergebnis weist darauf hin, dass grundsätzlich ein möglicher Client (Smartphone), der im Passiv- oder Aktiv-Modus nach APs (Accesspoints recently-joined/preferred/remembered) scannt, einen sogenannten „Probe Request“ aussendet und damit nicht nur seine MAC-Adresse preisgibt, sondern meist auch den Namen des Netzwerkes (SSID), das gesucht wird.

Für den Prototyp ist nun die konkrete Erweiterung des BLIDS Sensors zum zusätzlichen Scannen von WLAN Clients geplant. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse werden in die zukünftigen Entwicklungen des BLIDS-Seriengerätes einfließen.

Zum Verständnis der geplanten Implementierung in den Prototyp hier eine kurze Beschreibung des Rechenverfahrens, mit dem im BLIDS-Server die mittlere Reisezeit bestimmt wird. Grundlage ist die Zeitdifferenz zwischen den Zeitpunkten der Erfassung eines Fahrzeugs an zwei unterschiedlichen Messpunkten. Da technisch bedingt ein Fahrzeug an einem Messpunkt mehrfach erfasst werden kann, muss eine Auswahl unter mehreren Datensätzen getroffen werden. Wie in nachfolgender Abbildung zu sehen ist, kommen dabei je Messpunkt entweder der erste Erfassungszeitpunkt oder der letzte Erfassungszeitpunkt in Frage.

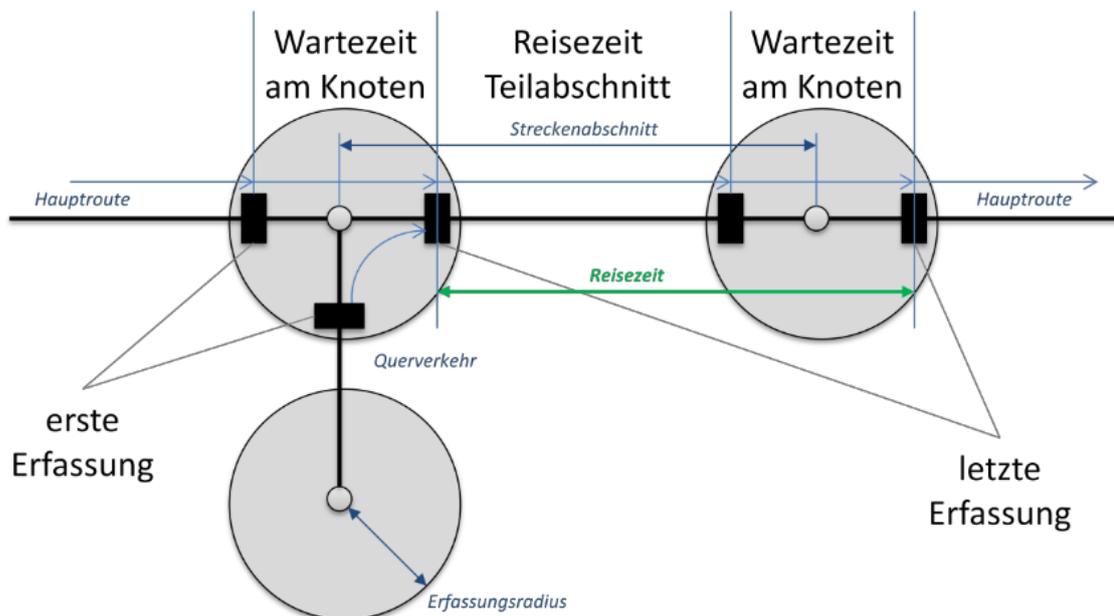


Abbildung 28: Reisezeitberechnung ausgehend vom Bluetooth-Erfassungsverfahren

### 3.6.2 Datenaufbereitung Verkehrslage BLIDS

Im BLIDS-Server werden verschiedene Daten berechnet und über verschiedene Schnittstellen (csv, webservice, SQL DB) für die weitere Nutzung bereitgestellt. Streckenbezogene Daten werden aus den Daten der Erfassung eines Fahrzeugs an

verschiedenen Bluetooth-Sensoren ermittelt. Die Strecke wird dabei als Route beschrieben, die aus zwei oder mehr nacheinander zu passierenden Punkten besteht (z.B. Erfassungsstandort A -> Erfassungsstandort B).

Wenn ein Fahrzeug sich im Erfassungsbereich eines Detektors befindet, kann es zu einer Mehrfacherfassung kommen. Für die Berechnung ist jetzt entscheidend, welcher dieser Datensätze verwendet wird. In der ersten Softwareversion war es die „erste Erfassung“. Auf Grund einiger Nachteile wurde dies geändert und auf die „letzte Erfassung“ umgestellt.

### 3.6.2.1 Verfahrensbeschreibung Reisezeit - Verfahren „Erste Fassung“

Die Reisezeit pro Segment wird aus der Differenz der ersten Erfassung der letzten Messstelle in der Route und der ersten Erfassung der ersten Messstelle berechnet. Die Reisezeit für die ganze Strecke (z.B. A->F), bestehend aus mehreren Segmenten, wird aus der Summe der Reisezeit der einzelnen Segmente gebildet. Falls eine Messstelle keine Daten innerhalb von 5 Minuten schickt, dann wird das Segment bei der Berechnung der Reisezeit für die gesamte Strecke übersprungen. Das heißt, wenn beispielsweise die Messstelle C ausgefallen ist, die Reisezeit dann für A->F aus A->B, B->D, D->E und E->F gebildet wird.

Um die Travel time für ein Segment zu berechnen, werden alle Fahrten in den letzten 15 Minuten ermittelt und es wird überprüft, ob die Anzahl der Fahrten mindestens 15 beträgt. Wenn es weniger als 15 Fahrten in den letzten 15 Minuten gibt, werden unabhängig von der Zeit die letzten 15 Fahrten ermittelt. Damit Ausreißer das Ergebnis nicht verfälschen, werden mehrere Algorithmen verwendet. Pro Segment werden die Fahrten, die weniger als 20 Sekunden dauern oder mehr als xx Minuten (je nach Segmentlänge), nicht berücksichtigt. Danach wird die Normalverteilung der Fahrten untersucht und die Ausreißer entfernt.

Das System hat folgende Schwachstellen:

- a) ungenaue Werte bei geringer Stichprobengröße
- b) feste Zeitfenster für minimale und maximale Reisezeit
- c) die Reisezeit wird negativ von wartendem Querverkehr beeinflusst, da auch dessen Wartezeit am Anfangs-Knoten zur Reisezeit der Strecken dazugerechnet wird.

### 3.6.2.2 Verfahrensbeschreibung Reisezeit - Verfahren „Letzte Erfassung“

Analog 3.6.2.1 Reisezeit - Verfahren „Erste Erfassung“, mit dem Unterschied, dass die Reisezeit aus den Daten der jeweils „letzten Erfassung“ eines Fahrzeugs an aufeinanderfolgenden Messstellen ermittelt wird.

Mit der Umstellung konnte eine Schwachstelle des Systems (c) beseitigt werden. Die Vergleichsmessungen belegen nur noch sehr geringe Abweichungen zwischen gemessener und berechneter Reisezeit.

Schwachstelle (b) wird mithilfe einer dynamischen Filterung gelöst. Die besten Ergebnisse lieferte dabei die Methode „Window Overlapping“ mit Prüfung durch Standardabweichung. Dabei wird ein Messwert herausgefiltert, wenn er in der Mehrzahl der Teilmengen nicht zu den übrigen Messwerten „passte“. Es werden die „statischen“ Werte für minimale und maximale Reisezeit ersetzt.

Bei ausreichend großer Stichprobengröße kann mit diesem Verfahren eine verlässliche mittlere Reisezeit für Baustellen und Großereignisse ermittelt werden.

### 3.6.2.3 Verfahrensbeschreibung Reisegeschwindigkeit

Die Geschwindigkeit wird über die durchschnittliche Reisezeit und die Entfernung zwischen den Messstellen berechnet. Die Entfernung ist für jede Route in der Datenbank definiert.

Die von BLIDS berechnete Reisegeschwindigkeit ist der harmonische Mittelwert der Teilgeschwindigkeiten und entspricht damit dem auf die Wegstrecke bezogenen Mittelwert der Geschwindigkeit.

Der Wert ist damit geeignet, um daraus die Verkehrsstufen (nach HBS, FGSV, Ausgabe 2001/2005 oder 2009, Kapitel 7 (Deutschland); RVS 03.05.12 (Österreich); VSS SN 640 022 (Schweiz)) zu bestimmen und eine eigene Verkehrslage zu berechnen.

### 3.6.2.4 Verfahrensbeschreibung Verlustzeit

Die Verlustzeit wird berechnet als Differenz aus der tatsächlichen Reisezeit und der Standard Reisezeit. Die Verlustzeit wird je Segment berechnet. Für die gesamten Strecken wird die Verlustzeit aufsummiert.

### 3.6.2.5 Verfahrensbeschreibung Verlustzeit Indikator

Der Verlustindikator wird vom BLIDS für die Darstellung der Verkehrslage der integrierten Web-Server verwendet. Der Indikator wird aus dem Verhältnis von Verlustzeit zu Standard-Reisezeit bestimmt und hat folgende Bedeutung:

- » Wert = 0 (= Grün)      Es gibt keinen großen Unterschied.
- » Wert = 1 (= Orange)    Die Reisezeit ist größer geworden.
- » Wert = -1 (=Rot)        Die Reisezeit ist kleiner geworden.

Wenn die Verlustzeit x% über der Standard Reisezeit liegt, dann wird der Wert mit einer orangen Hintergrundfarbe dargestellt. Und wenn die Verlustzeit über y% der Standard

Reisezeit liegt, dann wird der Wert mit einer roten Hintergrundfarbe dargestellt. Für Strecken über mehrere Segmente wird die Verlustzeit der Teilstrecken aufsummiert.

### **3.6.3 Datenschutz und Sicherheitskonzept**

BLIDS ist durch sein Datenschutz- und Sicherheitskonzept auf allen Ebenen datenschutzkonform und bietet maximalen Schutz gegen Manipulation. BLIDS bietet größtmögliche Konformität zu europäischen Datenschutzstandards, unterstützt den Betreiber bei der Erfüllung rechtlicher Vorgaben und erhöht die Akzeptanz von Verkehrsdatenerfassungssystemen in der Öffentlichkeit.

BLIDS gewährleistet Vertraulichkeit und Integrität der Daten durch Verwendung von Hashing-Algorithmen, Verwendung von Salt-Values und Verkürzungen der Daten bereits am BLIDS Sensor.

Außerdem gewährleistet es höchstmögliche Sicherheit bei der Datenübertragung durch Verwendung von Verschlüsselungsprotokollen, wechselseitigen Zertifikatsprüfungen und durch das proprietäre Übertragungsprotokoll. Es bietet Schutz vor Hardware- und Daten-Manipulation durch einen Sicherheitschip.

### **3.6.4 Integration des BLIDS Sensors in MITSU**

#### **3.6.4.1 Technische Änderungen des BLIDS für den Prototyp**

Im Zuge der Prototyperstellung wird das derzeitige GPRS-Modem durch ein 3G(UMTS)-Modem ersetzt, dies ist durch den modularen Aufbau der Hardware möglich. Der Grund hierfür besteht in der gleichzeitigen Übertragung der Bild- und Radardaten - dort wo vorhanden. Die Daten werden von der eingesetzten Verkehrskamera und dem Radarsensor geliefert. Damit wird nur ein Übertragungsmodul pro Aufstellungsort bzw. Messpunkt benötigt.

#### **3.6.4.2 Software-Erweiterung im BLIDS Server**

Für die Integration der BLIDS Server-Lösung werden unsere vorhandenen Datenbankstrukturen angepasst, um Bild- und Radardaten zu speichern. Ebenso wird die hierfür geeignete Schnittstelle (Web Service) auf die Bedürfnisse des Workflows (vergleiche ERGEBNISBERICHT MACHBARKEITSSTUDIE – WORKFLOW) angepasst.

## **3.7 AP 07: Livevideo des Verkehrsflusses**

### **3.7.1 Anforderungen**

Die Anforderungen an die Videokamera, die einen Live Stream des Verkehrsflusses zeigen soll, sind vielfältig und teilen sich in folgende Punkte auf:

#### **3.7.1.1 Gute Bildqualität bei Tag und Nacht**

Nachdem die Kameras bei allen Lichtverhältnissen eine vernünftige Bildqualität zur Verfügung stellen müssen, ist eine Tag- und Nachtauglichkeit gleichermaßen erforderlich.

Diese wird heute von fast allen am Markt erhältlichen Außenkameras erfüllt.

#### **3.7.1.2 Mechanische Robustheit und Wetterbeständigkeit**

Die mechanische Robustheit ist erforderlich, da die Kameras häufig auf- und wieder abgebaut werden. Um den Transport und die Lagerung der Kameras zu vereinfachen sowie das Verletzungsrisiko für das auf- und abbauende Personal möglichst gering zu halten, sollen möglichst wenige abstehende bzw. bewegliche Teile vorhanden sein.

Wetterbeständigkeit ist für entsprechend ausgestattete Außenkameras kein Problem.

#### **3.7.1.3 Gewicht und Größe**

Das Gewicht der Kamera hat großen Einfluss auf die Konstruktion des Mastes, der die Kamera tragen soll. Des Weiteren ist auf die Größe der einzusetzenden Kamera zu achten, da auch die Windangriffsfläche bei zunehmender Größe ansteigt und dadurch die gesamte Konstruktion beeinflusst wird.

Eine kompakte und leichte Kamera ist somit bevorzugt auszuwählen.

#### **3.7.1.4 Ausrichtung der Kamera auf das Verkehrsgeschehen**

Es ist gefordert, dass die Aufstellung der mobilen Überwachungseinheit möglichst einfach zu erfolgen hat und keine komplizierten Justierungen vorgenommen werden müssen.

Diese Anforderungen können am besten mit einer Kamera erfüllt werden, die die Wahl des gewünschten Bildausschnitts nach Aufstellung per Fernzugriff ermöglicht. Eine solche Funktion wird klassischerweise von Schwenk-/Neige-/Zoom-Kameras (auch PTZ bzw. Pan-Tilt-Zoom Kameras genannt) geboten.

#### **3.7.1.5 Einstellung der zu übertragenden Bandbreite**

Bei der Übermittlung des Video Streams über Mobilfunknetze kann es aufgrund von unterschiedlichen Empfangsbedingungen zu Einschränkungen der Bandbreite kommen.

Es ist daher unerlässlich, dass das auszuwählende Kamerasystem unterschiedliche Kompressionsmodi und Bildübertragungsraten (Bilder pro Sekunde) zur Verfügung stellt, die remote konfiguriert werden können.

### 3.7.2 Mögliche Kameratypen

Folgende Kameras wurden während der Machbarkeitsstudie eingehender betrachtet und auf ihre Tauglichkeit für das geplante Vorhaben geprüft.

#### 3.7.2.1 AXIS Q6034-E PTZ-Dome Kamera

Die AXIS Q6034-E ist eine PTZ-Dome-Außenkamera mit einem 18-fach optischen Zoom.



Abbildung 29: AXIS Q6034-E PTZ-Dome Kamera

Durch die „Dome“ Bauweise ist die Kamera ideal geschützt, durch die eingebaute 360° Schwenkfunktion kann jede Position im Umkreis der Kamera als Live Stream übertragen werden. Das einzige Hindernis hierbei ist der Mast, der konstruktionsbedingt einen Teil des Bildes verdeckt. Dieser Umstand muss bei der Aufstellung des Mastes entsprechend berücksichtigt werden.

Die Kamera hat einen 1 Megapixel Bildsensor, der für Tag- und Nachtbetrieb geeignet ist. Inklusive Gehäuse und Halter wiegt die Kamera ca. 4,5 kg, sie ist für einen Temperaturbereich von -40° bis +50° Celsius und Schutzklasse IP66 ausgelegt.

Das System wird mittels High-PoE (Power over Ethernet) mit Strom versorgt, für die Verkabelung wird somit lediglich ein CAT.5 Netzkabel benötigt. Da gegenwärtig keine

High-PoE Switches am Markt verfügbar sind, muss vor dem Netzwerk Port am Switch noch ein entsprechender Power-Injector (Mid-Span) vorgesehen werden.

### 3.7.2.2 AXIS P1347-E Fix-Kamera

Die AXIS P1347-E ist eine hochauflösende Kamera mit 5 Megapixel Bildsensor und Vario-Focal Objektiv (89° - 33° horizontaler Sichtwinkel).



Abbildung 30: AXIS P1347-E Fix-Kamera

Bei diesem System kann die grundsätzliche Wahl des Bildausschnittes bereits bei der Installation erfolgen, die Einstellung muss jedoch vor Ort händisch geschehen. Mittels Systemeinstellungen kann dann remote ein Bildausschnitt gewählt werden, der übertragen werden soll. Ebenso kann für diesen Bildausschnitt eine beliebige Auflösung gewählt werden.

Die Kamera ist für Tag- und Nachtbetrieb geeignet und wird mittels PoE (Power over Ethernet) mit Strom versorgt. Da bei diesem Kameratyp Standard PoE verwendet wird, kann ein entsprechend PoE-tauglicher Ethernet-Switch zur Stromversorgung verwendet werden.

Die Kamera hat ein Gewicht von 3,5 kg und eine Schutzklasse von IP66. Der Temperatureinsatzbereich liegt bei -30° bis +50° Celsius mit Standard PoE, bei Verwendung von High-PoE kann dieser auf -40° Celsius erweitert werden.

### 3.7.2.3 MOBOTIX MX-M12D-Sec-DNIGHT Fix-Kamera mit virtuellem PTZ

Die MOBOTIX MX-M12D-Sec-DNIGHT verfügt über eine Auflösung von 3 Megapixel auf beiden Bildsensoren, wobei ein Sensor für Tag und ein Sensor für Nacht optimiert ist.

Durch die hohe Auflösung kombiniert mit einem entsprechenden Weitwinkelobjektiv ist es möglich, einen Bildausschnitt mittels digital stufenlosem Zoomen, Schwenken und Neigen

zu wählen und diesen dann mit der Standardauflösung von 640 x 480 Pixel zu übertragen. Dieses Verfahren entspricht also einer virtuellen PTZ-Funktion.

Kombiniert mit der Methode der automatischen Kamerakonfiguration (siehe AP 10) ist es daher möglich, den oben beschriebenen Bildausschnitt vollautomatisch vorzuselektieren.



**Abbildung 31: MOBOTIX MX-M12D-Sec-DNight**

Die Kamera wird über PoE mit Strom versorgt, wodurch auch hier die Verkabelung denkbar einfach mittels CAT.5 Netzwerkkabel erfolgen kann. Der hierfür benötigte PoE Ethernet Switch ist bei einigen Anbietern am Markt verfügbar.

Das System ist wetterfest nach Schutzklasse IP65 und kann in einem Temperaturbereich von -30° bis +60°C Celsius betrieben werden. Das Gewicht beträgt etwa 600 g.

### 3.7.3 Kameraauswahl

Aufgrund der in Kapitel 3.7.1 ff beschriebenen Anforderungen wurde folgende Tabelle als Hilfsmittel zur Ermittlung der idealen Kamera verwendet:

Kameratype	Mechanik	Gewicht & Größe	Ausrichtung	Bandbreite
AXIS Q6034-E PTZ-Dome Kamera	-	-	+	o
AXIS P1347-E Fix-Kamera	o	o	o	o
MOBOTIX MX-M12D-Sec-DNight Fix-Kamera mit virtuellem PTZ	+	+	o	+

Zur Erläuterung der obigen Tabelle:

Die AXIS Q6034-E ist aufgrund ihrer 360° drehbaren und 18-fach zoombaren Optik erste Wahl für eine flexible Ausrichtung, fällt aber aufgrund ihres Gewichts, der Größe und der vielen mechanischen Teile aus.

Die AXIS P1347-E ist als fix montierte Kamera schon etwas leichter, ist aber durch die teilweise mechanische Einstellmöglichkeit des Bildausschnitts mittels Vario-Objektiv doch sehr eingeschränkt. Für die Einstellung des Bildausschnittes als Teilbereich des 5 Megapixel Bildes muss dieses komplett übertragen werden, wodurch Probleme bei einer langsamen Netzwerkanbindung entstehen können. Bei der Tag/Nachtumschaltung wird mechanisch ein IR-Filter bewegt, wodurch ebenfalls Probleme hervorgerufen werden könnten.

Die empfohlene Kamera ist die MOBOTIX MX-M12D-Sec-DNight. Sowohl Größe als auch Gewicht sind bei diesem Modell sehr gut. Mit ihrem virtuellen PTZ bietet die Kamera eine gute und einfache Möglichkeit, den gewünschten Bildausschnitt zu wählen. Positiv ist außerdem, dass für die Auswahl des Bildausschnittes nicht das gesamte Bild übertragen werden muss, sondern lediglich der aktuelle Teilbereich angezeigt und übertragen wird (Einsparung an Bandbreite). Durch die zwei Bildsensoren für Tag und Nacht und den fix montierten Objektiven gibt es keinerlei anfällige bewegliche Mechanik.

## 3.8 AP 08: Ansteuerung von mobilen Anzeigen

### 3.8.1 Geforderte Ergebnisse

Beschreibung des Konzeptes, wie mobile Anzeigen in das Verkehrsmanagement von Baustellen und Events einfach eingebunden werden können.

### 3.8.2 Anforderungen

Die mobilen Anzeigen sollen kurze und einfach zu verstehende Textmitteilungen und Piktogramme (wie bspw. Pfeile) darstellen können, um die VerkehrsteilnehmerInnen zu informieren. Es sollen keine Verkehrszeichen wie z.B. Geschwindigkeitsbeschränkungen oder Gefahrenzeichen angezeigt werden.

Aufgrund der Tatsache, dass die Anzeigen auch auf Schnellstraßen aufgestellt werden sollen, auf denen sich Fahrzeuge mit bis zu 130 km/h nähern, muss gewährleistet sein, dass die Textanzeigen auch aus einer Distanz von ca. 100 m gut erkennbar sind. Die Höhe der angezeigten Buchstaben muss somit mindestens 200 mm betragen.

Die mobilen Anzeigen sollen unabhängig von den fest installierten Anzeigetafeln der ASFINAG funktionieren.

Jede mobile Anzeige soll seine GPS Position an die Einsatzzentrale übermitteln, damit diese lagerichtig in der Kartendarstellung angezeigt wird (siehe hierzu auch Kapitel 2.1 des Workflows).

Der anzuzeigende Text soll vom Operator bzw. Eventmanagement frei eingegeben werden können, wobei das System über die maximale Anzahl der Zeichen pro Zeile informiert.

### 3.8.3 Physischer und elektrischer Aufbau

Es gibt einige Hersteller von fertigen mobilen Anzeigen am Markt, welche aber meist sehr groß und schwerfällig sind daher fest auf einem Anhänger montiert werden müssen.



Abbildung 32:  
Mobile Anzeigeeinheit  
von MVMS Limited

MITSU hingegen ermöglicht durch seinen modularen Aufbau die Anbringung einer mobilen Anzeige als lediglich weitere Komponente am Basis-Stativ.



Abbildung 33:  
Mobile Anzeigeeinheit  
am MITSU Basis-Stativ

Die Auswahl der verwendeten Anzeigetafel selbst richtet sich letztendlich nach den Wünschen bzw. Spezifikationen des Kunden. Am Markt gibt es eine Vielfalt an Anzeigen mit unterschiedlichen Farben und Technologien. Viele Hersteller bieten kundenspezifische Anpassungen an Größe, Texthöhe und Farbe an. Bei einigen Herstellern gibt es darüber hinaus ein integriertes GSM Modul, um die Anzeige remote ansteuern zu können.

Schwieriger ist die Verfügbarkeit von Modellen mit einem eingebauten GPS Modul zur Positionsbestimmung. Alternativ wäre es möglich, das Display seriell anzusteuern und die Daten über die Basis-CPU im Sockel zu empfangen. Mit dieser Basiseinheit kann dann auch durch den integrierten GPS Empfänger die Position bestimmt werden.

Da der Stromverbrauch mobiler Anzeigen doch um einiges höher ist, als der der restlichen MITSU Komponenten, muss in dieser Einsatzvariante ein besonderes Augenmerk auf die angepasste Auslegung der Akkus gelegt werden.

### 3.8.4 Ansteuerung der mobilen Anzeigeeinheit

Generell ist die mobile Anzeigeeinheit in das MITSU Gesamtkonzept eingebunden, wie auch in Kapitel 2, Ergebnisbericht der Machbarkeitsstudie - Workflow gut zu sehen ist. Das bedeutet, dass nach der Basiskonfiguration in der Software mittels Zuteilung zu einem Event die Position auf der Karte angezeigt wird und so durch Anklicken auf diese Anzeigeeinheit Optionen zur Bearbeitung bzw. (Neu-)eingabe von Text geboten werden.

Die Ansteuerung der Anzeige muss auf jeden Fall vor Missbrauch mit entsprechenden Sicherheitsmechanismen geschützt werden. Denkbar wäre hier eine User/Passwort Kombination beim Web Interface oder auch die Einschränkung von IP Adressen, welche auf die Anzeige zugreifen dürfen. Außerdem wird in einem internen Log aufgezeichnet, zu welchem Zeitpunkt welcher Text von welchem Benutzer eingegeben, geändert oder gelöscht wurde.

## 3.9 AP 09: Fahrzeug Fingerabdruck

### 3.9.1 Problemstellung

Fahrzeugidentifikation an unterschiedlichen Standorten.

### 3.9.2 Nutzen aus Sicht der Ausschreibung

Reisezeitmessung in einem bestimmten Streckenabschnitt (festgelegt durch Anfangs- und Endpunkt).

### 3.9.3 Ziele

- » Beschreibung der möglichen Ansätze zur Fahrzeugidentifikation.
- » Beschreibung der benötigten Kamerageometrie und der -eigenschaften.

### 3.9.4 Abhängigkeiten

Die möglichen Bild-Algorithmen sind stark von den Kameraeigenschaften (Belichtungszeit, Auflösung, Bildwinkel, etc.) und der relativen Kameraposition zum Objekt abhängig.

### 3.9.5 Beschreibung der Lösungsansätze

Um die Entstehung eines Staus auf einem längeren Streckenbereich feststellen zu können, misst man die Reisezeit eines Fahrzeugs in einem bestimmten Streckenabschnitt zwischen zwei Punkten. Dazu muss jedes vorbeifahrende Fahrzeug beim Durchfahren des ersten Messpunktes erfasst und mit einem „Zeitstempel“ vermerkt werden. Beim zweiten Messpunkt muss das gleiche Fahrzeug eindeutig wiedererkannt werden. Die Zeitdifferenz ergibt die Reisezeit. Aus Datenschutzgründen wollen wir die Wiedererkennung nicht kennzeichenbasiert<sup>1</sup> durchführen. Stattdessen ist unsere Idee, die geforderten Übersichtskameras als Sensoren zur Reisezeitmessung zu verwenden. Die Wiedererkennung von Fahrzeugen soll aufgrund der eindeutigen äußeren Erscheinung mancher Fahrzeuge erfolgen. Unser Ansatz ist daher, hervorstechende Fahrzeugmerkmale zu vergleichen. In der Bildverarbeitung existieren unterschiedliche Methoden für die Detektion und Beschreibung (Detektoren und Deskriptoren) derartiger Merkmale – siehe dazu <sup>2</sup>, „Speeded up robust features“<sup>3</sup>, FERNS<sup>4</sup> (basierend auf

<sup>1</sup> z.B. ASFINAG Section Control: <http://www.asfinag.at/verkehrssicherheit/section-control>

<sup>2</sup> Z.B. K. Mikolajczyk, C. Schmid: A Performance Evaluation of Local Descriptors, IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 27:10, 1615-1630, 2005.

<sup>3</sup> H. Bay, A. Ess, T. Tuytelaars, and L. V. Gool. Surf: Speeded up robust features. CVIU, 10(3):346–359, 2008.

<sup>4</sup> M. Ozuysal, M. Calonder, V. Lepetit, and P. Fua. Fast Keypoint Recognition using Random Ferns. PAMI, 2009.

beleuchtungsinsensitiven (binäre und lokale) Deskriptoren<sup>5</sup>), Binary Robust Independent Elementary Features (BRIEF)<sup>6</sup>, Histogram of oriented Gradients (HoG)<sup>7</sup> und Maximally Stable Extremal Regions (MSER)<sup>8</sup>. Des Weiteren stützt sich die Domäne der mobilen Anwendungen zunehmend auf bestimmte Erkenntnisse der Bildverarbeitung<sup>9</sup> die wir übernehmen und adaptieren könnten.

Wir nehmen an, dass eine eindeutige Wiedererkennung nur für einen geringen Anteil der Fahrzeuge möglich sein wird. Diese Einschränkung ist für die geforderte Anwendung der Reisezeitmessung aus folgendem Grund eher unwesentlich: Die Erkennungsrate legt lediglich das Zeitintervall fest, in dem die Reisezeitmessung aktualisiert werden kann. Aus einem geforderten Aktualisierungsintervall, der erwarteten Verkehrsdichte, und der erwarteten durchschnittlichen Fahrzeuggeschwindigkeit lässt sich die notwendige Erkennungsrate ableiten. Rechenbeispiel 1: Fahrzeuggeschwindigkeit = 60km/h, Verkehrsdichte = 5 Fahrzeuge pro 100m, gefordertes Aktualisierungsintervall = 1 min. → notwendige Erkennungsrate = 0,01 (jedes 100-ste Fahrzeug wird wiedererkannt). Rechenbeispiel 2: Fahrzeuggeschwindigkeit = 30km/h, Verkehrsdichte = 10 Fahrzeuge pro 100m, gefordertes Aktualisierungsintervall = 12 min. → notwendige Erkennungsrate = 0,0017 (jedes 600-ste Fahrzeug wird wiedererkannt). Soll im letzten Beispiel das Aktualisierungsintervall auf 1 min. gesenkt werden, müsste die Erkennungsrate auf 0,02 (jedes 50-ste Fahrzeug wird wiedererkannt) gesteigert werden.

Unser Ansatz zur Wiedererkennung von Fahrzeugen basiert auf der Wiedererkennung von menschlichen (biometrischen) Fingerabdrücken. Abbildung 34 zeigt dieses Prinzip: Links im Bild ist ein menschlicher Fingerabdruck (Biometrik) und in der Mitte sind besondere Merkmale dieses Fingerabdrucks, sogenannte Minutien (Minutia Points), identifiziert. Den Merkmalen wird über Abstandsmaße untereinander ein Verwandtschaftsverhältnis zugeordnet (ganz rechts: Minutia Map). Die Merkmale (Minutien) werden gemeinsam mit den Verwandtschaften zu einer eindeutigen Signatur (Repräsentation des Fingerabdrucks) zusammengefasst.

---

<sup>5</sup> C. Schmid and R. Mohr. *Local Grayvalue Invariants for Image Retrieval*. PAMI, 19(5):530–534, 1997.

<sup>6</sup> Calonder M., Lepetit V., Strecha C., Fua P.: *BRIEF: Binary Robust Independent Elementary Features*. ECCV 2010.

<sup>7</sup> N. Dalal and B. Triggs *Histograms of Oriented Gradients for Human Detection*. CVPR 2005.

<sup>8</sup> J. Matas et al.: *Robust wide baseline stereo from maximally stable extremal regions*. BMVC 2002.

<sup>9</sup> D. Wagner, G. Reitmayr, A. Mulloni, T. Drummond, and D. Schmalstieg. *Pose Tracking from Natural Features on Mobile Phones*. ISMAR 2008.

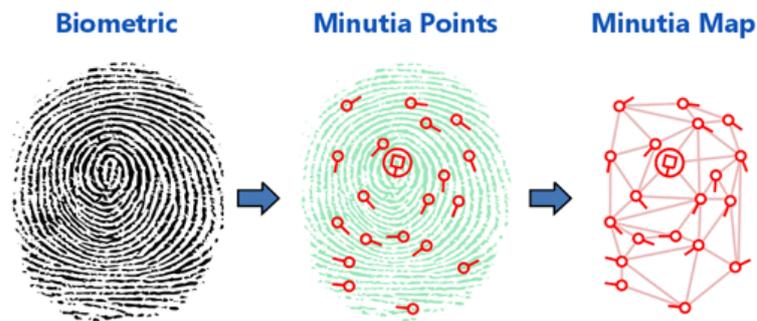


Abbildung 34: Prinzip des biometrischen Fingerabdrucks<sup>10</sup>

### 3.9.5.1 Graph Matching

Nach diesem obigen Fingerabdruck-Prinzip wollen wir eindeutige Merkmale von Fahrzeugen identifizieren, um einen sogenannten „Fahrzeug-Fingerabdruck“ zu erzeugen. Abbildung 35 verdeutlicht die Idee: Detail (a) zeigt einen Bildausschnitt einer Übersichtskamera. In Detail (b) sind einige Merkmale eines Fahrzeugs markiert. In Detail (c) sind letztlich die Beziehungen der Merkmale zu sehen.

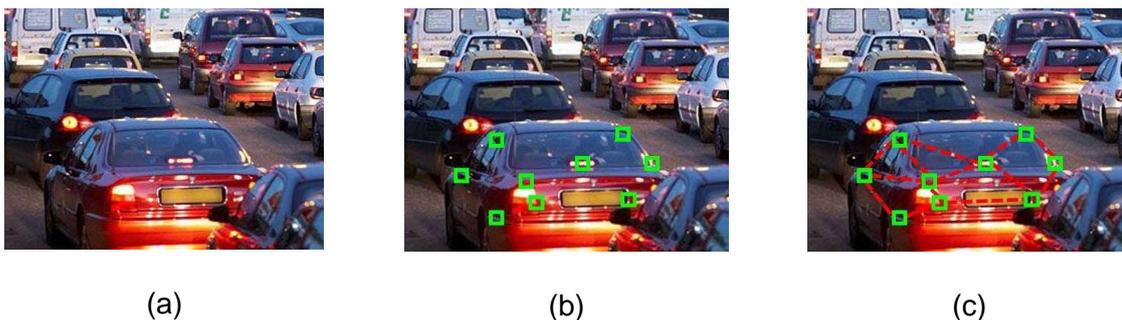


Abbildung 35: Fingerabdruck-Prinzip angewendet bei Fahrzeugen (vgl. Abbildung 34)

Um die Robustheit der generierten Fingerabdrücke zu erhöhen, sollen diese während einer Bildsequenz generiert werden – nur jene Merkmale, die während der gesamten Sequenz eindeutig erkennbar sind, sollen für den Fingerabdruck herangezogen werden. Die Relationen zwischen den Merkmalen müssen eine gewisse Elastizität aufweisen, damit geringe Verschiebungen bzgl. der exakten Merkmals-Positionen eine kleinere Rolle spielen. Der erstellte Fingerabdruck sollte zudem invariant sein gegenüber Größenänderungen, Verzerrungen und teilweisen Verdeckungen von Merkmalen.

Diese obigen Ideen werden auch von Cho und Lee (siehe <sup>11</sup> und <sup>12</sup>) verfolgt: Zum Vergleich von elastischen Graphen siehe Abbildung 36. Ein Anwendungsbeispiel für

<sup>10</sup> Quelle: <http://www.identityone.net>

<sup>11</sup> Minsu Cho and Kyoung Mu Lee. *Progressive Graph Matching: Making a Move of Graphs via Probabilistic Voting*. CVPR 2012.

<sup>12</sup> Minsu Cho and Kyoung Mu Lee. *Mode-Seeking on Graphs via Random Walks*. CVPR 2012.

Graphenvergleiche bei Fahrzeugen ist in Abbildung 37 zu sehen. Abbildung 38 zeigt die Möglichkeiten dieses Ansatzes bei starken perspektivischen Verzerrungen.

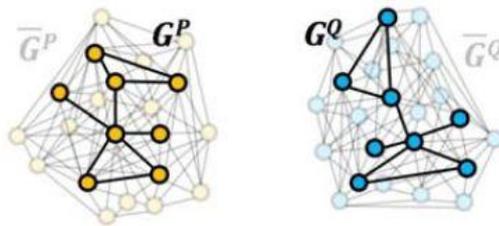


Abbildung 36: Progressive Graph Matching<sup>11</sup>



(a)

(b)

Abbildung 37: Graph Matching bei Fahrzeugen



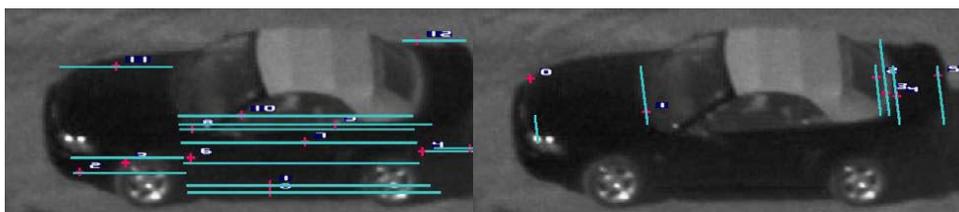
(a)

(b)

Abbildung 38: Graph Matching bei starker perspektivischer Verzerrung

### 3.9.5.2 Line Matching

In der Literatur findet sich ein ähnlicher Ansatz bei dem Fingerabdrücke von Fahrzeugen erstellt werden – siehe dazu Abbildung 39. Hier dienen identifizierte Linien in unterschiedlichen Ansichten als Maß für die Ähnlichkeit eines Fingerabdrucks. Die Abbildung 39 verdeutlicht in welcher unterschiedlichen Perspektiven Gemeinsamkeiten gefunden werden können.



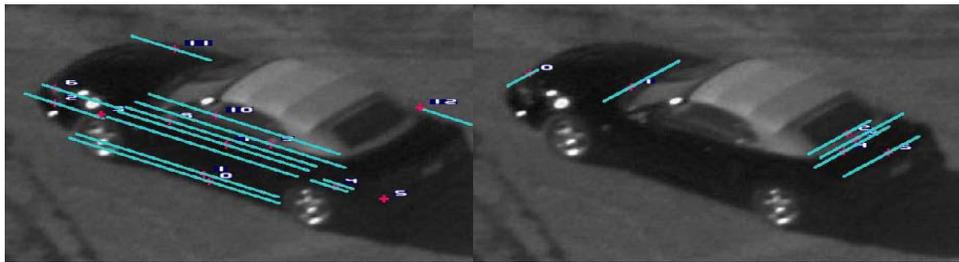


Abbildung 39: Fahrzeug-Fingerabdruck mittels Linien<sup>13</sup>

Abbildung 40 zeigt die extrahierten Linien-Deskriptoren auf denen der Vergleich basiert. Dabei werden in zwei unterschiedlichen Bildern des gleichen Fahrzeugs an gleichen Stellen Liniensegmente extrahiert. Die Ähnlichkeit der einzelnen Segmente, ist ein Maß dafür, wie ähnlich sich die beiden Bilder sind und demnach wie wahrscheinlich das Fahrzeug im einen Bild dem Fahrzeug im anderen Bild gleicht – also wiedererkannt wurde.

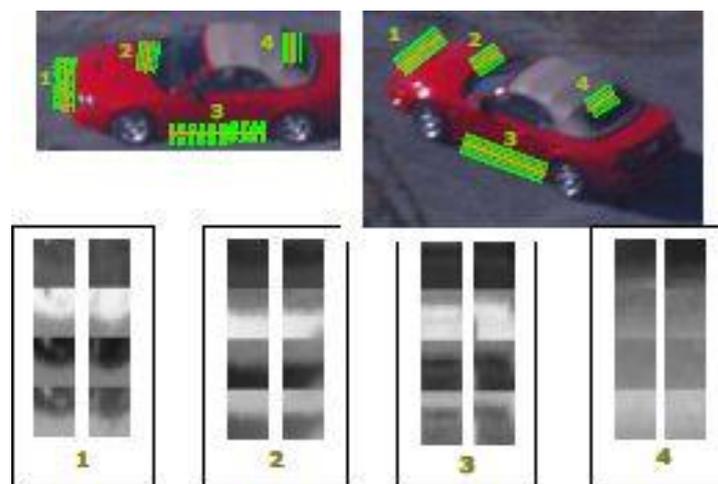


Abbildung 40: Linien-Deskriptoren beim Line Matching<sup>13</sup>

### 3.9.6 Benötigte Kamerageometrie und -eigenschaften

Um möglichst eindeutige Merkmale unterschiedlicher Fahrzeuge zu erhalten, sollten die Fahrzeuge im Bild von möglichst vielen Seiten gleichzeitig von der Kamera erfasst werden. Die Kamera sollte seitlich neben der Fahrbahn positioniert und in einem Winkel von etwa 45° zum Fahrbahnverlauf geneigt sein (in Fahrtrichtung oder entgegen – jedoch alle Kameras an verschiedenen Standorten einheitlich). Die mittlere Fahrzeughöhe (etwa 3m) sollte derart überragt werden, dass sowohl die Dach- als auch die Seitenfläche der Fahrzeuge unter dem gleichen Winkel abgebildet werden. Angenommen man wählt einen seitlichen Mindestabstand der Kamera zum nächst möglichen Fahrzeug von 2,5m, dann

<sup>13</sup> Y. Guo et.al. *Vehicle Fingerprinting for Reacquisition & Tracking in Videos*. In CVPR 2005.

folgt daraus und den obigen Forderungen eine Mindesthöhe der Kamera von 5,5m über Fahrbahnniveau.

Damit die oben beschriebenen Methoden zuverlässig funktionieren, müssen die Fahrzeuge möglichst ohne Bewegungsunschärfe abgebildet werden. Daraus ergeben sich eine kurze Belichtungszeit, ein lichtempfindlicher Bildsensor sowie eine lichtstarke Linse - alle drei Eigenschaften erhöhen den Kaufpreis einer entsprechenden Kamera.

### **3.9.7 Fazit**

Der hier beschriebene Ansatz nutzt vorhandene Informationen im Fahrzeugbild während der Ansatz per Bluetooth (Arbeitspaket AP 06 der Machbarkeitsstudie) die Eindeutigkeit der Bluetooth-Geräte nutzt, um Reisezeiten zu messen. Die Kamera-Anforderungen der bildbasierten Lösung aus Abschnitt 3.9.6 würden den technischen Aufwand des Gesamtsystems erhöhen. Deshalb erachten wir die Reisezeitmessung per Bluetooth vorerst als ausreichend, um den Anforderungen der Ausschreibung gerecht zu werden.

## 3.10 AP 10: Automatische Kamerakonfiguration

### 3.10.1 Problemstellung

Automatische Wahl eines „geeigneten“ Kamerabildausschnitts - Erkennen des relevanten Verkehrsbereichs.

### 3.10.2 Nutzen aus Sicht der Ausschreibung

Möglichst einfache und schnelle Aufstellung der mobilen Einheit (mit Kamera). Personen ohne besondere technische Schulung sollen die mobile Einheit zuverlässig und in kurzer Zeit in Betrieb nehmen können. Es ist keine manuelle Nachjustierung der Kamera nach erfolgter Aufstellung notwendig.

### 3.10.3 Ziele

- » Definition des „geeigneten“ zu suchenden Bildausschnitts - Kriterien für die Such-Algorithmen.
- » Beschreibung der Kamerageometrie
- » Korrekturmöglichkeiten für Linsenverzerrungen
- » Beschreibung der möglichen Ansätze zur Ausschnittswahl
- » Skalierung des Bildausschnitts (wegen Datenschutz und Übertragungsrate)

### 3.10.4 Abhängigkeiten

Die möglichen Bild-Algorithmen sind letztlich stark mit der gewählten Kamera gekoppelt. Daher setzt dieses Arbeitspaket das gewählte Kameramodell von Arbeitspaket AP 07 „Livevideo des Verkehrsflusses“ voraus.

### 3.10.5 Annahmen

Wir ziehen die Verwendung einer „echten“ Pan-Tilt-Zoom-Kamera, die elektromechanisch beweglich ist, nicht in Betracht. Die Gründe dagegen sind: Ein im Vergleich zu unbeweglichen Kameras erhöhtes Gewicht, die eher anfällige Mechanik sowie der erhöhte Energiebedarf. Daher wählen wir den Bildausschnitt „virtuell“ mit einer fest positionierten Kamera: Die eingesetzte Kamera liefert ein Bild, dessen Sichtfeld größer als der für die Anwendung relevante Bildbereich ist. Innerhalb dieses Bildes wird der relevante Bildbereich gesucht und letztlich nur dieser Ausschnitt des Gesamtbildes als Überblicksbild der Verkehrslage übertragen. Damit wird ein „virtuelles“ Schwenken und Zoomen erzielt – ein „virtuelles“ Neigen ist dadurch jedoch nicht möglich. Der Anwender (z.B. Straßenmeisterei) muss die aufgestellte Einheit vor der Inbetriebnahme grob auf die Fahrbahn ausrichten. Diese Aufstellungsbedingungen sind unter 3.10.6.2 beschrieben.

### 3.10.6 Beschreibung der Lösungsansätze

Basierend auf den Zielen (siehe 3.10.3) beschreiben wir im Folgenden die möglichen Lösungsansätze.

#### 3.10.6.1 Definition des „geeigneten“ Bildausschnitts

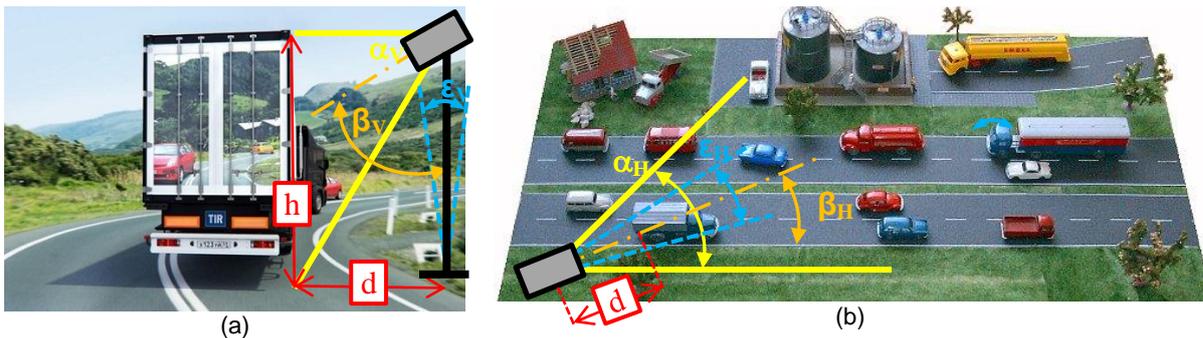
Wir definieren einen Bildausschnitt (siehe nachfolgende Abbildung 41) als „geeignet“, wenn im Kamerabild alle Verkehrsbewegungen sichtbar sind. Für Fälle, in denen keine Verkehrsbewegungen sichtbar sind, soll der Bildausschnitt aufgrund erkennbarer Fahrbahnmarkierungen festgelegt werden.



Abbildung 41: Bildausschnitt (Quelle: [www.asfinag.at/webcams](http://www.asfinag.at/webcams))

#### 3.10.6.2 Beschreibung der Kamerageometrie

Zur Ermittlung des erforderlichen Bildfelds betrachten wir zunächst den vertikalen Fall (vgl. Abbildung 42a): Die Kamera soll einen LKW mit einer Höhe  $h$  in einem Abstand  $d$  vollständig abbilden und benötigt daher ein vertikales Bildfeld  $\alpha_V$ , welches von der Höhe abhängt. In den beiden ungünstigsten Fällen befindet sich die Kamera entweder unmittelbar auf Fahrbahnniveau oder in der Höhe des LKW-Dachs, und das vertikale Bildfeld errechnet sich zu  $\tan \alpha_V = h/d$ . Nehmen wir  $h = 4 \text{ m}$  (Überhöhe vieler LKWs) und möchten diese Höhe in einer Entfernung  $d = 6 \text{ m}$  formatfüllend abbilden, so erhalten wir ein  $\alpha_V = 34^\circ$ . Daraus folgt eine vertikale Neigung der Kamera  $\beta_V = 73^\circ$ . Akzeptiert man bei der Aufstellung eine vertikale Toleranz der Einheit von  $\varepsilon_V = 10^\circ$ , dann ergibt sich ein vertikales Bildfeld der Optik  $(\alpha_V + \varepsilon_V)$  von etwa  $44^\circ$ .



**Abbildung 42: Geometrische Überlegungen Bildfeld - (a) vertikale, (b) horizontale Richtung**

Für den horizontalen Fall (siehe Abbildung 42b) nehmen wir an, dass die Kamera einen Bildwinkel  $\alpha_H = 45^\circ$  abdecken soll. Dann ergibt sich eine horizontale Neigung der Kamera (bzw. der gesamten Einheit) zum Fahrbahnverlauf von  $\beta_H = 22,5^\circ$ . Akzeptiert man bei der Aufstellung eine horizontale Toleranz der Einheit von  $\epsilon_H = 15^\circ$ , dann ergibt sich ein horizontales Bildfeld der Optik ( $\alpha_H + \epsilon_H$ ) von etwa  $60^\circ$ .

Die von Arbeitspaket 7 vorgeschlagene Kamera erfüllt die obigen Kriterien in der Optikvariante „L32 Weitwinkel“. In diesem Fall beträgt das Bildfeld  $60^\circ H \times 45^\circ V$ .

### 3.10.6.3 Korrekturmöglichkeiten für Linsenverzerrungen

Viele Weitwinkel-Objektive bilden in der Realität gerade Linien gekrümmt im Bild ab. Damit im Folgenden beschriebenen Algorithmen zum Finden der Fahrbahnlinien und deren Fluchtpunkte funktionieren können, muss das Bild entzerrt werden, so dass die Abbildung einer idealen Zentralprojektion entspricht, welche Geraden nicht gekrümmt abbildet.

Dazu genügt in erster Näherung der Ansatz, dass Bildwinkel innerhalb des Bildfeldes durch ein ideales Objektiv auf der Sensorfläche linear abgebildet werden, während bei einer Zentralprojektion gleiche Abstände linear mit dem Tangens des Bildwinkels zusammenhängen. Die X- und Y-Koordinaten jedes Bildpunktes werden entsprechend der Abhängigkeit Winkel  $\leftrightarrow$  Tangens des Winkels neu berechnet, wodurch der rechteckige Sensorbereich auf ein kissenförmig verzerrtes Rechteck abgebildet wird.

Es existieren auch halbautomatische Verfahren (wie z.B. <sup>14</sup>) die mit Hilfe von Kalibrierobjekten (Schachbrettmuster, Kalibrierkubus etc.) die intrinsischen Kameraparameter inklusive nichtlinearer Linsenverzerrungen exakter berechnen können. Mit Hilfe dieser Ergebnisse kann das Kamerabild entzerrt werden.

<sup>14</sup> Heikkilä, J, "Geometric Camera Calibration Using Circular Control Points, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 22, No. 10, pp. 1066-1077, Oct 2000.

### 3.10.7 Beschreibung der möglichen Ansätze zur Ausschnittswahl

#### 3.10.7.1 Fließverkehr auf der Fahrbahn beobachten

Die bevorzugte Lösung zur Findung eines geeigneten Bildausschnittes detektiert gerichtete Verkehrsflussbewegungen auf dem Kameravideo (siehe Abbildung 43).



Abbildung 43: Verkehrsbewegungen

Dieses Verfahren wird angewendet, wenn gerichtete Bewegungen erkennbar sind. Die Bestimmung der Bewegungsrichtungen kann durch das Trackingverfahren nach Kanade-Lucas-Tomasi (KLT: siehe <sup>15</sup> bzw. <sup>16</sup>) erfolgen. Aktive Verkehrsspuren werden durch Änderungshäufungen gerichteter (Verkehrs-) Bewegungen über einen gewissen Zeitraum im Kameravideo ermittelt. Anschließend wird ein Bildausschnitt ausgewählt, welcher alle zusammenhängenden aktiven Bildregionen enthält. Diese Berechnung findet laufend statt und kann daher den effektiven Bildausschnitt adaptieren. Das ist nützlich, falls die Einheit und damit die Kamera durch äußere Einflüsse verstellt wird. Bewegungen die nicht durch Straßenverkehr entstehen, können durch die Bestimmung der maximalen, gehäuften Bewegungsrichtungen ausgeschlossen werden.

#### 3.10.7.2 Fahrbahnmarkierungen finden

Ein geeigneter Bildausschnitt kann auch über Fahrbahnmarkierungen gefunden werden (siehe ). Dieses Verfahren wird angewendet, wenn über einen längeren Zeitraum keine gerichteten Bewegungen im Kamerabild erkennbar sind. Hierzu werden Linien im Bild gefunden, welche die Fahrbahn eingrenzen. Mittels eines Kantendetektors wird ein binäres Kantenbild des Kamerabildes erzeugt. Aus dieser Kantenmenge werden nun jene Kanten bestimmt, welche einer geraden Linie zuordenbar sind und eine bestimmte

<sup>15</sup> B. D. Lucas and T. Kanade. *An iterative image registration technique with an application to stereo vision*. Proc. International Joint Conference on Artificial Intelligence, pages 674–679, 1981

<sup>16</sup> C. Tomasi and T. Kanade. *Detection and tracking of feature points*. Carnegie Mellon University Technical Report CMU-CS-91-132, Pittsburgh, PA, 1991.

Mindestlänge überschreiten. Um dies zu erreichen wird eine Hough-Transformation<sup>17</sup> durchgeführt.



Abbildung 44: Fahrbahnmarkierungen

Von diesen Linien werden möglichst nur jene den Fahrbahnmarkierungen zugehörig bestimmt, welche durch einen gemeinsamen Fluchtpunkt gehen: Alle durch einen Schnittpunkt  $(x,y)$  gehenden Linien entsprechen Hough-transformierten Punkten, für die  $\rho = x \cos \vartheta + y \sin \vartheta$  gilt. Damit liegen diese Punkte alle auf einer sinusförmigen Kurve im Hough-Raum. Dominieren die auf den Fluchtpunkt der Straße zulaufenden Linien parallel zur Fahrbahn, so wird eine der Hough-Transformation ähnliche Operation eine Häufung bei den entsprechenden Parametern finden und die Lage des Fluchtpunktes identifizieren. Der Bildausschnitt wird derart gewählt, dass er die Bereiche der Fahrbahnmarkierungen umfasst.

Dieser Ansatz funktioniert nur dann, wenn Fahrbahnmarkierungen die klar dominierenden Linien im Bild darstellen. Aus Gründen der Robustheit zur Findung der Fahrbahn empfehlen wir die bewegungsbasierte Auswahl des Bildfeldes gemäß 3.10.7.1

### 3.10.8 Skalierung des Bildausschnitts

Zwei Gründe erfordern die Skalierung eines (Video-)Bildes vor dessen Übertragung:

- » Geringere notwendige Datenmenge, die übertragen werden muss: Dadurch können die Kosten für Datenverbindungen gesenkt werden.
- » Datenschutzgründe.

Datenschutzgründe erfordern, dass keine Nummernschilder im übertragenen Bild eindeutig erkennbar sind. Um das zu gewährleisten, wird die Bildauflösung bei Bedarf reduziert. Bei einem Kennzeichen sollte eine vertikale Pixelauflösung eines Zeichens 7 Pixel nicht überschreiten, was durch Skalierung des Bildes erreicht wird. Bei einer horizontalen Entfernung des Kennzeichens von  $d = 5\text{m}$  und aus einer vertikalen Höhe von  $h = 4\text{m}$  wird ein Zeichen von 8cm Höhe etwa als knapp 6cm hohes Zeichen abgebildet.

<sup>17</sup> R. O. Duda and P. E. Hart, *Use of the Hough transform to detect lines and curves in pictures*, *Communs Ass.comput. Mach.* 15, 11-15 (1975).

Das ergibt einen vertikalen Winkel von  $\alpha = 2 \cdot \tan^{-1}(6\text{cm}/5\text{m}) \approx 1,4^\circ$  der sich über höchstens 7 Pixel erstrecken soll. Somit müsste die effektive Auflösung des oben genannten Bildfeld  $60^\circ\text{H} \times 45^\circ\text{V}$  theoretisch auf etwa  $300 \times 225$  Pixel herunterskaliert werden. Diese Berechnung geht davon aus, dass ein Kennzeichen völlig ohne Bewegungsunschärfe abgebildet wurde – was in der Praxis nicht möglich sein wird. Daher wird in der Realität auch eine höhere effektive Auflösung möglich sein.