ingenieur
wissenschaften
htw saar

Hochschule für
Technik und Wirtschaft
des Saarlandes
University of
Applied Sciences

EmRoLab

Technische Dokumentation

Projekt "Smart-Car"

Baris Usluoglu, Daniel Shapiro, Steven Haupenthal

Saarbrücken, den 3. Februar 2026

Inhaltsverzeichnis

1 Systemuebersicht

1.1 Architekturprinzipien

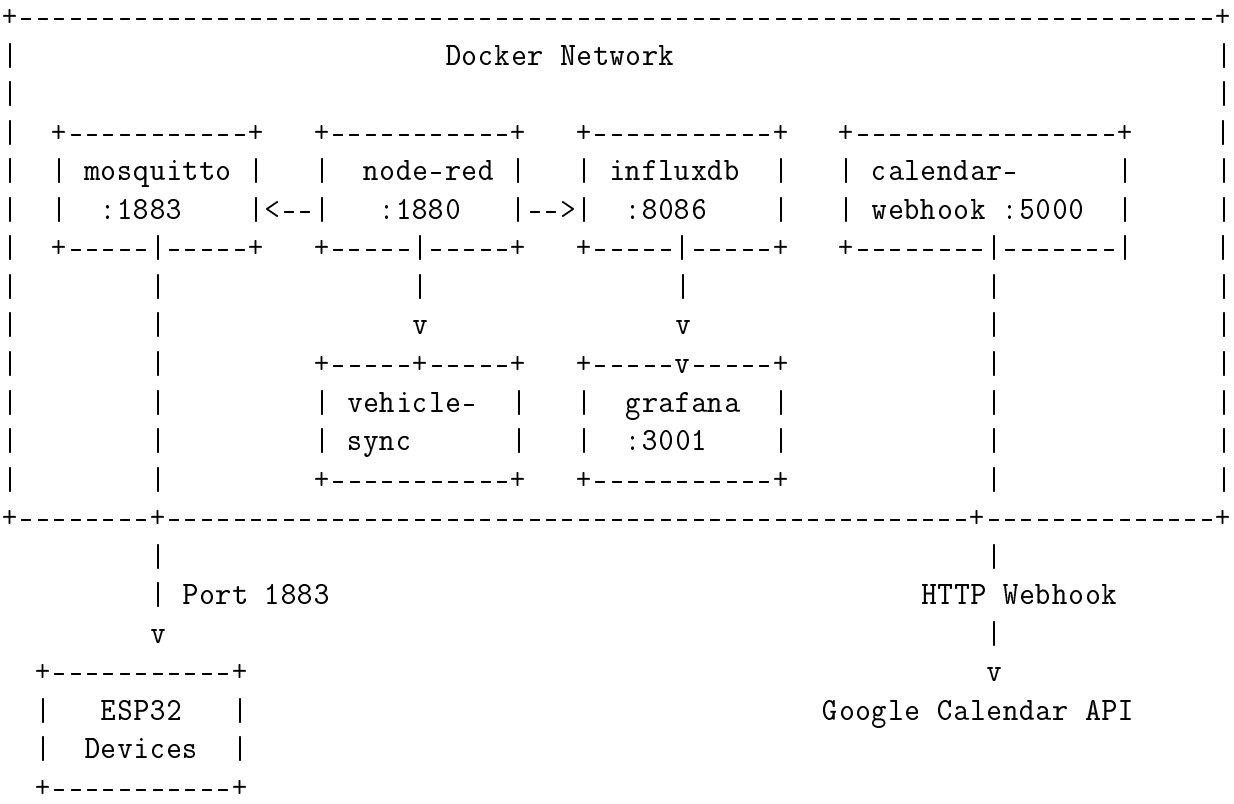
Das Smart-Car System folgt einer ereignisgesteuerten Microservice-Architektur:

- Lose Kopplung: Komponenten kommunizieren ueber MQTT.
- Skalierbarkeit: Jeder Service laeuft in eigenem Container.
- Ausfallsicherheit: Message Queue puffert bei Ausfaellen.
- Erweiterbarkeit: Neue Datenquellen einfach integrierbar.

1.2 Technologie-Stack

Schicht	Technologie	Version	Zweck
Hardware	ESP32	-	Datenerfassung
Transport	MQTT (Mosquitto)	2.x	Nachrichtenuebertragung
Verarbeitung	Node-RED	3.x	ETL und Alarmierung
Speicherung	InfluxDB	2.x	Zeitreihendatenbank
Visualisierung	Grafana	10.x+	Dashboards
Integration	Google Calendar	v3	Kalender-Integration
Backend	Python/Flask	3.11	Calendar Webhook Server
Sync	Python Scripts	3.11	Fahrzeugdaten-Synchronisation
Orchestrierung	Docker Compose	3.8	Container-Management

1.3 Netzwerk-Topologie



2 Komponenten im Detail

2.1 Mosquitto MQTT Broker

Funktion: Zentrale Nachrichtenvermittlung zwischen ESP32 und Node-RED.
Konfiguration (`mosquitto/config/mosquitto.conf`):

```
# Unverschluesselter Port (nur intern)
listener 1883
protocol mqtt

# Anonyme Verbindungen erlaubt
allow_anonymous true
```

Ports:

Port	Protokoll	Verwendung
1883	MQTT	Kommunikation (Node-RED / ESP32)

2.2 Node-RED

Funktion: Datenverarbeitung, Transformation und Alarmierung.
Konfiguration (`node-red/settings.js`):

- Flow-Speicherort: /data/flows.json
- Credentials: /data/flows_cred.json

Flow-Funktionalitaet:

- CSV-Parsing von MQTT-Nachrichten
- Konvertierung zu InfluxDB Line Protocol
- HTTP-basiertes Schreiben nach InfluxDB

2.3 InfluxDB 2.x

Funktion: Speicherung und Abfrage von Zeitreihendaten.

Konfiguration:

Parameter	Wert
Organisation	vehicle_org
Bucket	vehicle_data
Retention	Standard (unbegrenzt)
Admin-Token	vehicle-admin-token

Wichtige Konzepte:

- Bucket: Container fuer Zeitreihendaten
- Measurement: Aequivalent zu SQL-Tabelle
- Tag: Indexierte Metadaten (z.B. vehicle_id)
- Field: Messwerte (z.B. fuel_l, battery_v)

2.4 Grafana

Funktion: Visualisierung und Alerting.
Provisioning-Struktur:

```
grafana/provisioning/
|-- dashboards/
|   |-- dashboards.yml          # Dashboard-Provider
|   |-- main-dashboard.json     # Hauptuebersicht
|   +-- vehicle-detail-dashboard.json # Einzelne Fahrzeugdaten
|-- datasources/
|   +-- datasources.yml         # Datenquellen
+-- alerting/
    |-- alert-rules.yml         # Alert-Regeln
    |-- contact-points.yml      # Benachrichtigungsziele
    +-- notification-policies.yml  # Benachrichtigungsrichtlinien
```

2.5 Calendar Webhook Server

Funktion: Google Calendar Integration fuer Alerts und Termine. Technologie: Python 3.11 + Flask.
Konfiguration:

- Service Account Key: /config/google-calendar-key.json
- Alerts Config: /config/alerts.json
- Port: 5000

API-Endpunkte:

Endpoint	Methode	Beschreibung
/health	GET	Health Check
/event	POST	Kalendereintrag erstellen
/test	GET	Test-Event erstellen

Anforderungen:

- Google Cloud Service Account mit Calendar API-Berechtigung
- Kalender muss mit Service Account geteilt sein

2.6 Vehicle Sync Service

Funktion: Periodische Synchronisation von Fahrzeugdaten mit InfluxDB. Technologie: Python 3.11.
Konfiguration (`config/vehicles.json`):

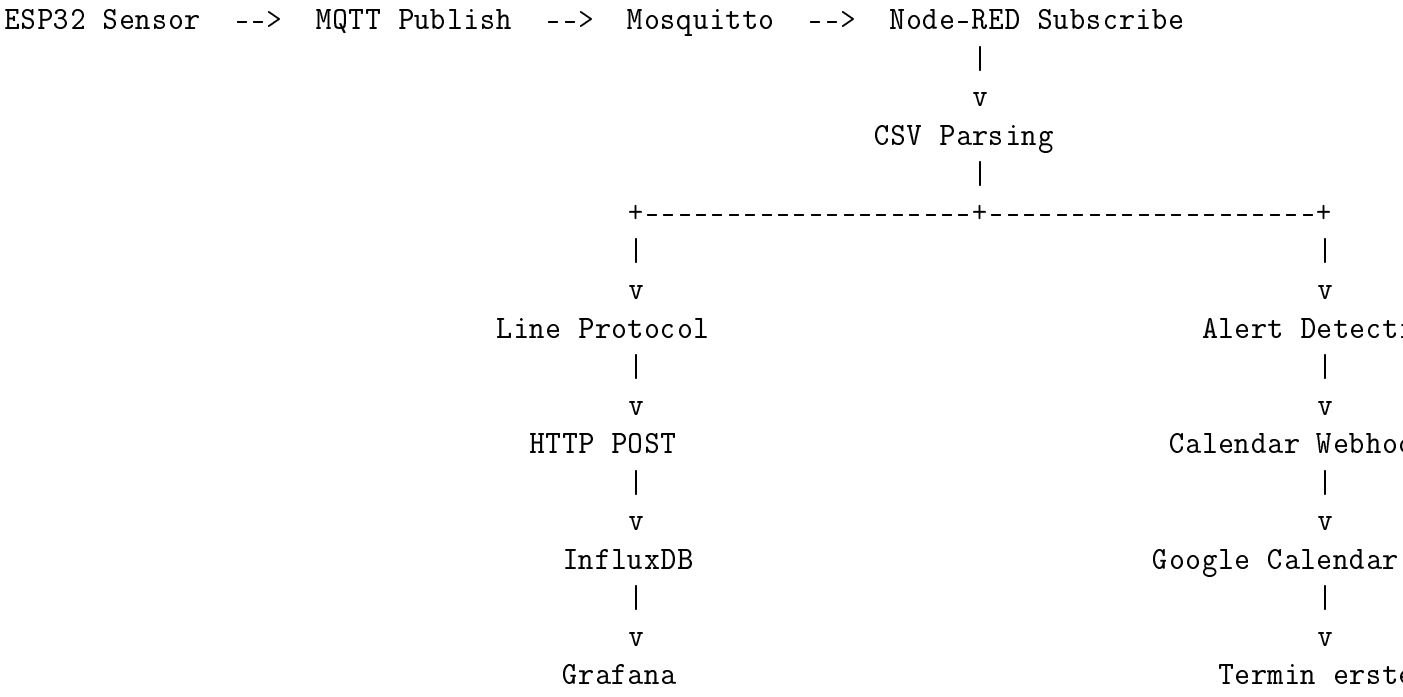
```
{
  "vehicles": [
    {
      "id": "F001",
      "name": "Fahrzeug 1",
      "fuel_capacity": 60.0,
      "battery_nominal": 12.0
    }
  ]
}
```

Funktionalitaet:

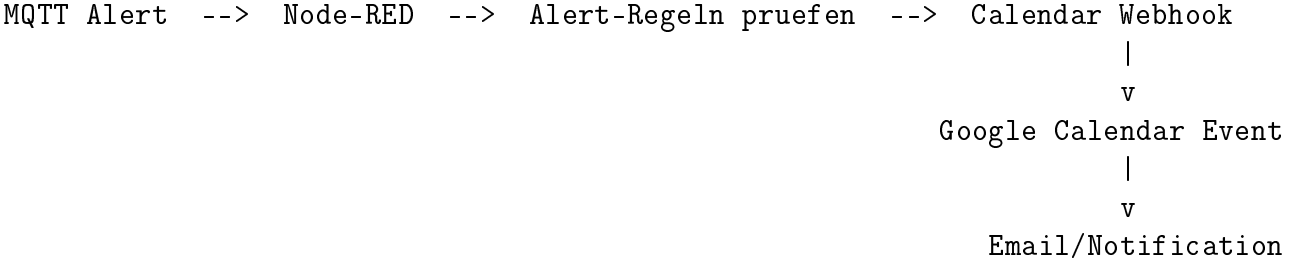
- Liest Fahrzeugkonfiguration aus JSON
- Schreibt initiale Daten in InfluxDB
- Stellt sicher, dass Fahrzeuge in InfluxDB vorhanden sind

3 Datenfluss

3.1 End-to-End Flow



3.2 Alert-Workflow



3.3 Latenz-Erwartungen

Strecke	Erwartete Latenz
ESP32 –> Mosquitto	10-50ms (WLAN)
Mosquitto –> Node-RED	< 5ms
Node-RED –> InfluxDB	5-20ms
Node-RED –> Calendar Webhook	10-50ms
Calendar Webhook –> Google API	100-500ms
InfluxDB –> Grafana	50-200ms (Query)
Gesamt (Telemetrie)	< 300ms
Gesamt (Alarm mit Kalender)	< 600ms

4 MQTT-Protokoll

4.1 Topic-Struktur

`smartcar/{vehicle_id}`

Alle Nachrichtentypen werden auf diesem Topic publiziert.

4.2 Nachrichtenformate

Fahrzeugstatus (state)

`state,{vehicle_id},{state_name},{fuel_l},{battery_v}`

Feld	Typ	Beschreibung	Beispiel
vehicle_id	String	Fahrzeug-Kennung	CAR001
state_name	String	Fahrzeugzustand	driving, parked
fuel_l	Float	Kraftstoff in Litern	45.5
battery_v	Float	Batteriespannung	12.8

Fahrt-Zusammenfassung (trip)

`trip,{vehicle_id},{trip_id},{duration_s},{fuel_used},{max_acc},{max_brake}`

Feld	Typ	Beschreibung
trip_id	String	Eindeutige Fahrt-ID
duration_s	Integer	Fahrtdauer in Sekunden
fuel_used	Float	Verbrauchter Kraftstoff
max_acc	Float	Maximale Beschleunigung
max_brake	Float	Maximale Bremsung

Fehler (error)

`error,{vehicle_id},{error_code},{active}`

Feld	Typ	Beschreibung
error_code	String	OBD-II Fehlercode (z.B. P0420)
active	Integer	1 = aktiv, 0 = geloest

GPS-Position (gps)

`gps,{vehicle_id},{latitude},{longitude},{speed_kmh}`

Feld	Typ	Beschreibung
latitude	Float	Breitengrad
longitude	Float	Laengengrad
speed_kmh	Float	Geschwindigkeit in km/h

Alarm (alert)

`alert,{vehicle_id},{alert_type},{message}`

Feld	Typ	Beschreibung
alert_type	String	Alarm-Typ (z.B. fuel_low)
message	String	Alarm-Nachricht

4.3 QoS-Level

Level	Beschreibung	Empfehlung
QoS 0	At most once	Nicht empfohlen
QoS 1	At least once	Standard fuer Telemetrie
QoS 2	Exactly once	Empfohlen fuer Fehler

5 Datenmodell (InfluxDB)

5.1 Measurements

vehicle_state

```
Measurement: vehicle_state
Tags:
  - vehicle_id (String)
  - state (String)
Fields:
  - fuel_l (Float)
  - battery_v (Float)
  - online (Integer)
```

trip_summary

```
Measurement: trip_summary
Tags:
  - vehicle_id (String)
  - trip_id (String)
Fields:
  - duration_s (Integer)
  - fuel_used (Float)
  - max_acceleration (Float)
  - max_braking (Float)
```

vehicle_errors

```
Measurement: vehicle_errors
Tags:
  - vehicle_id (String)
  - error_code (String)
Fields:
  - active (Integer)
```

vehicle_gps

```
Measurement: vehicle_gps
Tags:
  - vehicle_id (String)
Fields:
  - latitude (Float)
  - longitude (Float)
  - speed_kmh (Float)
```

alerts

```
Measurement: alerts
Tags:
  - vehicle_id (String)
  - alert_type (String)
Fields:
  - message (String)
```

5.2 Beispiel-Queries (Flux)

Letzte Fahrzeugzustaende:

```
from(bucket: "vehicle_data")
  |> range(start: -1h)
  |> filter(fn: (r) => r._measurement == "vehicle_state")
  |> filter(fn: (r) => r.vehicle_id == "CAR001")
  |> last()
```

Aktive Fahrzeuge zaehlen:

```
from(bucket: "vehicle_data")
  |> range(start: -1h)
  |> filter(fn: (r) => r._measurement == "vehicle_state")
  |> filter(fn: (r) => r._field == "online")
  |> group(columns: ["vehicle_id"])
  |> last()
  |> group()
  |> count()
```

Aktive Fehler:

```
from(bucket: "vehicle_data")
  |> range(start: -24h)
  |> filter(fn: (r) => r._measurement == "vehicle_errors")
  |> filter(fn: (r) => r._field == "active")
  |> group(columns: ["vehicle_id", "error_code"])
  |> last()
  |> filter(fn: (r) => r._value == 1)
```

6 Node-RED Flows

6.1 Hauptflows

```
Flow 1: MQTT --> InfluxDB
[MQTT In] --> [Function: CSV zu Line Protocol] --> [HTTP Request: InfluxDB] --> [Debug

Flow 2: Alert Detection --> Google Calendar
[MQTT In] --> [Function: CSV Parser] --> [Switch: Alert Filter] --> [Function: Event

Flow 3: Vehicle Sync Trigger
[Inject: On Start] --> [HTTP Request: vehicle-sync] --> [Debug]
```

6.2 CSV Parser Logik

- Topic wird per / getrennt, Fahrzeug-ID aus Teil 2 oder `UNKNOWN`.
- Payload wird getrimmt und per Komma gesplittet.
- Erster Wert bestimmt den Datentyp, wird in Kleinbuchstaben konvertiert.
- Zeitstempel in Nanosekunden: `Date.now() * 1000000`.

6.3 HTTP Request Konfiguration

InfluxDB Write URL: `http://influxdb:8086/api/v2/write?org=vehicle_org&bucket=vehicle`
Methode: POST, Header: Authorization Token.

Calendar Webhook URL: `http://calendar-webhook:5000/event`, Methode: POST, Header: Content-Type: application/json. Body:

```
{
  "summary": "[ALARM] Fahrzeug F001 - Kraftstoff niedrig",
  "description": "Kraftstoffstand unter 10 Liter. Fahrzeug: F001",
  "duration_minutes": 30,
  "colorId": "11"
}
```

6.4 Alert-Regeln Konfiguration

Datei: `config/alerts.json`

```
{
  "google_calendar": {
    "enabled": true,
    "calendar_id": "iotwssmartcar@gmail.com"
  },
  "alerts": {
    "fuel_low": {
      "enabled": true,
      "threshold": 10.0,
      "severity": "HOCH",
      "calendar_duration": 30
    },
    "battery_low": {
      "enabled": true,
      "threshold": 11.5,
      "severity": "MITTEL",
      "calendar_duration": 15
    },
    "error_detected": {
      "enabled": true,
      "severity": "KRITISCH",
      "calendar_duration": 60
    }
  }
}
```

7 Grafana Dashboards

7.1 Hauptdashboard (Flottenuebersicht)

UID: `smart-car-main`.

- **Aktive Fahrzeuge (Stat):** Zeigt Anzahl der aktiven Fahrzeuge
- **Aktive Fehler (Stat):** Anzahl nicht gelöster Fehler
- **Fahrten 7 Tage (Stat):** Anzahl der Fahrten in den letzten 7 Tagen
- **Fehler 7 Tage (Stat):** Anzahl der Fehler in den letzten 7 Tagen
- **Flottenstatus (Stat):** Gesamtstatus der Flotte basierend auf kritischen Werten
- **Kraftstoff niedrig (Stat):** Anzahl Fahrzeuge mit niedrigem Kraftstoff
- **Batterie niedrig (Stat):** Anzahl Fahrzeuge mit niedriger Batterie
- **Heutige Termine (Table):** Tabelle mit den anliegenden Aufgaben des aktuellen Tages
- **Letzte Fahrten (Table):** Tabelle der letzten Fahrten aller Fahrzeuge
- **Geschwindigkeitsverlauf (Time Series):** Zeitlicher Verlauf der Fahrzeuggeschwindigkeiten eines Trips

7.2 Detail-Dashboard (Fahrzeug Details)

UID: `smart-car-detail`.

- **Fahrzeug-ID (Dropdown Menue):** Anzeige der ausgewählten Fahrzeug-ID
- **Status (Stat):** Aktueller Fahrzeugstatus (Fahren, Parken)
- **Kraftstoff (Gauge):** Aktueller Kraftstoffstand in Litern
- **Batterie (Gauge):** Aktuelle Batteriespannung in Volt
- **Fahrten 7 Tage (Stat):** Anzahl der Fahrten in den letzten 7 Tagen
- **Kraftstoffverlauf (Time Series):** Zeitlicher Verlauf des Kraftstoffstands
- **Batterieverlauf (Time Series):** Zeitlicher Verlauf der Batteriespannung
- **Letzte Fahrten (Table):** Tabelle der letzten Fahrten des Fahrzeugs
- **Fahrzeugfehler (Table):** Tabelle der Fehler des Fahrzeugs

7.3 Dashboard-Provisioning

dashboards.yml

- Die Datei dient zur automatischen Bereitstellung von Dashboards in Grafana.
- Mit apiVersion: 1 wird festgelegt, welche Version der Provisioning-Schnittstelle verwendet wird.
- Unter „providers“ wird definiert, woher Grafana die Dashboards laden soll.
- Es wird ein Anbieter mit dem Namen „default“ angelegt.
- Die Dashboards werden in einem Ordner mit dem Namen „Smart-Car“ gespeichert und angezeigt.
- Der Typ „file“ bedeutet, dass die Dashboards aus Dateien im Dateisystem geladen werden.
- Unter „options“ wird der Speicherort der Dashboard-Dateien angegeben.
- Der Pfad /etc/grafana/provisioning/dashboards gibt an, in welchem Verzeichnis die JSON-Dashboard-Dateien liegen.
- Beim Start von Grafana werden alle Dashboards aus diesem Ordner automatisch eingelesen.
- Dadurch müssen Dashboards nicht manuell im Webinterface importiert werden, sondern stehen direkt zur Verfügung.

8 ESP32 Integration

8.1 Hardware-Setup

WLAN-Modul
Standard in ESP32 (802.11 b/g/n, 2.4 GHz).
LoRa-Modul (extern)
Empfohlene Module: SX1276 / SX1278, Frequenz 868 MHz (EU) / 915 MHz (US), Reichweite bis 10 km.

Pinbelegung:

LoRa Pin	ESP32 Pin
VCC	3.3V
GND	GND
SCK	GPIO 18
MISO	GPIO 19
MOSI	GPIO 23
NSS	GPIO 5
RST	GPIO 14
DIO0	GPIO 26

9 Sicherheit

Siehe urspruengliche Dokumentation. (Abschnitt 9 wurde im Ausgangstext genannt, aber ohne Detailinhalte.)

10 Troubleshooting

10.1 Haeufige Probleme

Container startet nicht

```
# Logs pruefen
docker-compose logs <service>

# Container neu starten
docker-compose restart <service>
```

MQTT-Verbindung fehlgeschlagen

```
# Mosquitto-Status pruefen
docker exec mosquitto mosquitto_sub -t '$SYS/#' -C 1

# Verbindung testen
docker exec mosquitto mosquitto_pub -t test -m "hello"
```

Keine Daten in InfluxDB

1. Node-RED Debug-Panel pruefen
2. InfluxDB-Verbindung in Node-RED testen
3. Bucket-Berechtigung pruefen

Grafana zeigt keine Daten

1. Datenquelle testen (Data Sources –> Test)
2. Query im Explore-Modus testen
3. Zeitbereich pruefen

10.2 Log-Dateien

Service	Log-Zugang
Mosquitto	docker logs mosquitto oder ./mosquitto/log/
Node-RED	docker logs node-red
InfluxDB	docker logs influxdb
Grafana	docker logs grafana

10.3 Nuetzliche Befehle

```
# Alle Container neustarten
docker-compose down && docker-compose up -d

# Container-Status
docker-compose ps

# In Container einloggen
docker exec -it <container> sh

# Netzwerk pruefen
docker network inspect smartcar-network

# Ressourcenverbrauch
docker stats
```

11 API-Referenz

11.1 Calendar Webhook API

Base URL: http://calendar-webhook:5000 (intern) oder http://localhost:5000 (extern).

Health Check

```
curl http://localhost:5000/health
```

Response:

```
{
  "status": "ok",
  "google_api": true
}
```

Event erstellen

```
curl -X POST http://localhost:5000/event \
  -H "Content-Type: application/json" \
  -d '{
    "summary": "Test Event",
    "description": "Test-Beschreibung",
    "duration_minutes": 30
  }'
```

Erfolgs-Response:

```
{
  "success": true,
  "event_id": "abc123...",
  "link": "https://calendar.google.com/..."
}
```

Fehler-Response:

```
{
  "success": false,
  "error": "Fehlerbeschreibung"
}
```

Test-Event

```
curl http://localhost:5000/test
```

11.2 InfluxDB HTTP API

Health Check:

```
curl http://localhost:8086/health
```

Query (Flux):

```
curl -X POST http://localhost:8086/api/v2/query \
  -H "Authorization: Token vehicle-admin-token" \
  -H "Content-Type: application/vnd.flux" \
  -d 'from(bucket:"vehicle_data") |> range(start:-1h)'
```

Write (Line Protocol):

```
curl -X POST "http://localhost:8086/api/v2/write?org=vehicle_org&bucket=
    vehicle_data&precision=ns" \
  -H "Authorization: Token vehicle-admin-token" \
  -H "Content-Type: text/plain" \
  -d 'vehicle_state,vehicle_id=CAR001,state=idle fuel_l=45.5,battery_v=12.8,
      online=1i'
```

11.3 Grafana API

Dashboards auflisten:

```
curl -u admin:admin http://localhost:3001/api/search
```

Dashboard exportieren:

```
curl -u admin:admin http://localhost:3001/api/dashboards/uid/smart-car-main
```

11.4 Node-RED API

Flows exportieren:

```
curl http://localhost:1880/flows
```

11.5 Vehicle Sync Service

Fahrzeuge synchronisieren:

```
docker exec vehicle-sync python /app/sync_vehicles.py
```

Oder via HTTP:

```
curl -X POST http://localhost:8080/sync
```

12 Anhang

12.1 Umgebungsvariablen

Variable	Dienst	Beschreibung
DOCKER_INFLUXDB_INIT_USERNAME	InfluxDB	Admin-Benutzer
DOCKER_INFLUXDB_INIT_PASSWORD	InfluxDB	Admin-Passwort
DOCKER_INFLUXDB_INIT_ORG	InfluxDB	Organisation
DOCKER_INFLUXDB_INIT_BUCKET	InfluxDB	Standard-Bucket
DOCKER_INFLUXDB_INIT_ADMIN_TOKEN	InfluxDB	API-Token
GF_SECURITY_ADMIN_PASSWORD	Grafana	Admin-Passwort
GOOGLE_KEY_FILE	calendar-webhook	Service Account Key Pfad
ALERTS_FILE	calendar-webhook	Alert-Konfiguration Pfad

12.2 Konfigurationsdateien

Datei	Beschreibung
config/alerts.json	Alert-Regeln und Calendar-Konfiguration
config/vehicles.json	Fahrzeugdaten und -konfiguration
config/google-calendar-key.json	Google Service Account Key
docker-compose.yml	Container-Orchestrierung
node-red/flows.json	Node-RED Flows
node-red/flows_cred.json	Verschluesselte Credentials
mosquitto/config/mosquitto.conf	MQTT Broker Konfiguration

12.3 Google Calendar Integration

Service Account Setup

1. Google Cloud Console: `https://console.cloud.google.com`
2. Projekt erstellen/auswaehlen
3. APIs & Services → Library → Google Calendar API aktivieren
4. IAM & Admin → Service Accounts → Service Account erstellen
5. Key erstellen (JSON) als `google-calendar-key.json` speichern
6. Kalender mit Service Account Email teilen (Aenderungen vornehmen und Freigabe verwalten)

Event-Farbcodes

colorId	Farbe	Verwendung
9	Blau	Standard-Alarme
6	Orange	HOCH Prioritaet
11	Rot	KRITISCH Prioritaet
10	Gruen	Erfolgreiche Aktionen

Troubleshooting Calendar

- Invalid JWT Signature: Key ungueltig oder abgelaufen → neuen Key erstellen, Container neu starten (docker restart calendar-webhook).
- Calendar not found: Kalender nicht mit Service Account geteilt → teilen.
- API not enabled: Google Calendar API nicht aktiviert → in Cloud Console aktivieren.

12.4 Backup und Wiederherstellung

InfluxDB Backup

```
# Backup erstellen
docker exec influxdb influx backup /backup -t vehicle-admin-token

# Backup aus Container kopieren
docker cp influxdb:/backup ./influxdb-backup
```

InfluxDB Restore

```
# Backup in Container kopieren
docker cp ./influxdb-backup influxdb:/restore

# Restore durchfuehren
docker exec influxdb influx restore /restore -t vehicle-admin-token
```

Grafana Dashboards Backup

```
# Alle Dashboards exportieren
curl -u admin:admin http://localhost:3001/api/search?type=dash-db | \
  jq -r '.[]␣|␣.uid' | \
  xargs -I {} curl -u admin:admin http://localhost:3001/api/dashboards/uid/{} >
      dashboard-{}.json
```

Node-RED Flows Backup

```
# Flows sichern
cp node-red/flows.json node-red/flows_backup_$(date +%Y%m%d).json
cp node-red/flows_cred.json node-red/flows_cred_backup_$(date +%Y%m%d).json
```

12.5 Referenzen

Service	Port (Host)	Port (Container)	Zugriff
Mosquitto (MQTT)	1883	1883	Intern/Extern
Node-RED	1880	1880	Web-UI
InfluxDB	8086	8086	API
Grafana	3001	3000	Web-UI
Calendar Webhook	5000	5000	API (intern)

12.6 Externe Dokumentationen

- InfluxDB 2.x: `https://docs.influxdata.com/influxdb/v2/`
- Grafana: `https://grafana.com/docs/grafana/latest/`
- Node-RED: `https://nodered.org/docs/`
- Eclipse Mosquitto: `https://mosquitto.org/documentation/`
- ESP32 Arduino Core: `https://docs.espressif.com/projects/arduino-esp32/`
- LoRa Library: `https://github.com/sandeepmistry/arduino-LoRa`