

Anforderungsdokument

Ampelanlage an einer T-Kreuzung mit hochfrequentierter Hauptstraße
und einseitiger Fußgängerampel im Rahmen eines komplexen
Verkehrsführungskonzeptes



Version: 0.1

Datum der Erstellung: Februar 2020

Autor: Alexander Metzner

Einführung

Beschreibung des Entwicklungsgegenstands

Gegenstand dieses Anforderungsdokumentes ist die Erstellung einer Ampelanlage an einer T-Kreuzung. Die T-Kreuzung besteht aus einer viel befahrenen Hauptstraße (Tempolimit 70km/h) und einer weniger stark befahrenen Nebenstraße, die auf die Hauptstraße einmündet (ebenfalls Tempolimit 70km/h). Die Ampelanlage verfügt über jeweils eine Wechselleuchtanlage für jede Spur der Hauptstraße und über eine Wechselleuchtanlage für die auf die Hauptstraße mündende Nebenstraße. Zusätzlich befindet sich einer Fußgängerquerung an dem östlichen Ast der T-Kreuzung über die Hauptstraße, die durch eine Fußgängerampel gesichert werden soll (vgl. Abbildung 1). Sich von Süden oder Norden nähernde Fußgänger sollen die Möglichkeit haben, eine sichere Querung der Hauptstraße durch einen Bediener an der Ampelanlage einzuleiten.



Abbildung 1: Ampelverteilung T-Kreuzung

Der Verkehr auf der Hauptstraße soll flüssig und mit wenigen Unterbrechungen geführt werden. Der Verkehr auf der Nebenstraße darf gestoppt werden und soll nur bei Bedarf freigegeben werden. In der Nebenstraße sollen wartende Fahrzeuge die Sicherung der T-Kreuzung und freie Fahrt für die Nebenstraße bewirken können.

Bei der Entwicklung des in diesem Dokument niedergeschriebenen Konzeptes und der dazugehörigen Anforderungen wurden die erforderlichen Gesetze (StVO), Verwaltungsvorschriften (VwV zur StVO) und Normen (EN 50556, sowie VDE 0832-100) berücksichtigt.

Beschreibung der Verkehrseinbettung

Umfeld

Die T-Kreuzung liegt in der Verantwortung des Verkehrsleitsystems Regensburg-Prüfening-III, welches abhängig von der aktuellen Verkehrslage die Freigabe- und Sperrzeiten der Hauptstraße variiert. Die zu entwickelnde Ampelanlage soll an das Verkehrsleitsystem angebunden werden, insbesondere auch, um eine Grüne Welle für die Hauptstraße zu gewährleisten und damit den schnellen Abfluss von Verkehrsströmen zu Spitzenzeiten zu ermöglichen. Das Verkehrsleitsystem verwaltet die Streckenabschnitte der gesamten Verkehrsstrecke Regensburg-Prüfening-III und bietet Zugang zu den

einzelnen Steuerungen der an den Kreuzungen installierten Ampelanlagen. Abbildung 2 zeigt den prinzipiellen Aufbau des gesamten Systems.

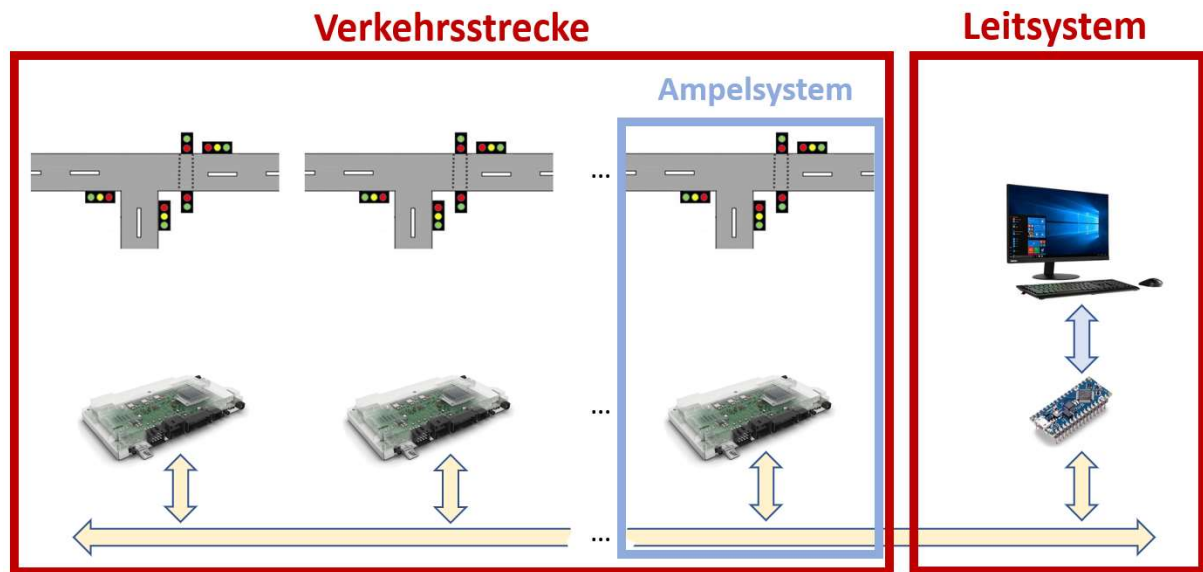


Abbildung 2: Verkehrsleitsystem inkl. einzelner Ampelsysteme an den Kreuzungen und dem Leitsystem

Der in diesem Dokument beschriebene Entwicklungsgegenstand enthält neben Entwurf und Implementierung eines Ampelsystems zusätzlich die Entwicklung einer Schnittstelle des Leitsystems zur gesamten Verkehrsstrecke (zu den einzelnen Ampelsystemen), sowie die Entwicklung einer prototypischen Anwendung (im folgenden Bedien-Anwendung genannt) auf einem Standard-PC (Windows 10), mit dem die einzelnen Ampelsysteme gesteuert, gewartet und schrittweise installiert werden können. Die Anwendung darf dem Bediener des Leitsystems eine text-basierte Schnittstelle anbieten.

Verkehrsstärke

Eine Messung der Frequentierung der Kreuzung pro Uhrzeit und Wochentag haben die in Tabelle 1 angegebenen Daten ermittelt:

Uhrzeit	Mo-Fr [Teilnehmer/h]			Sa [Teilnehmer/h]			So [Teilnehmer/h]		
	H-Str	N-Str	Ped	H-Str	N-Str	Ped	H-Str	N-Str	Ped
0 – 5	25	2	0	63	6	0	6	1	0
5 – 9	1300	76	65	120	22	8	34	5	21
9 – 13	530	38	52	374	28	43	214	12	54
13 – 16	490	25	38	402	34	46	379	32	11
16 – 18	1512	84	75	719	49	62	536	40	32
18 – 20	680	39	43	894	46	65	488	25	23
20 – 22	305	17	28	581	29	41	296	21	13
22 – 0	172	5	9	377	8	12	118	2	1

Tabelle 1 Verkehrsstärke im jährlichen Mittel pro Woche. H-Str bedeutet Fahrzeuge auf der Hauptstraße, N-Str bedeutet Fahrzeuge auf der Nebenstraße und Ped bedeutet Fußgänger, die die Hauptstraße queren

Die Ampelanlage soll eine Beschaltung der Wechselleuchanlage basierend auf den in Tabelle 1 erhobenen Daten und unter Berücksichtigung von möglichen Energieeinsparungen realisieren.

Anforderungen

Anwendungs-Anforderungen Leitsystem auf der Verkehrsstrecke Regensburg-Prüfening-III

Anforderung	Schaltung der Anlage an Werktagen (Mo-Fr)
ID	0.1
Beschreibung	An Werktagen (Mo-Fr) soll die Ampelanlage folgende Betriebsablauffliste abarbeiten (Betriebszustände gemäß Tabelle 3): <ul style="list-style-type: none">a) Von 0 Uhr bis 5 Uhr Zustand „Remote_freq_op“b) Von 5 Uhr bis 20 Uhr Zustand „High_freq_op“c) Von 20 Uhr bis 0 Uhr Zustand „Low_freq_op“
Begründung	Ermittlung der Verkehrsstärke (vgl. Tabelle 1) und Anwendung der VwV-StVO §37, Abschnitt 14 VI

Anforderung	Schaltung der Anlage an Samstagen
ID	0.2
Beschreibung	An Samstagen soll die Ampelanlage folgende Betriebsablauffliste abarbeiten (Betriebszustände gemäß Tabelle 3): <ul style="list-style-type: none">a) Von 0 Uhr bis 5 Uhr Zustand „Remote_freq_op“b) Von 5 Uhr bis 9 Uhr Zustand „Low_freq_op“c) Von 9 Uhr bis 22 Uhr Zustand „High_freq_op“d) Von 22 Uhr bis 0 Uhr Zustand „Low_freq_op“
Begründung	Ermittlung der Verkehrsstärke (vgl. Tabelle 1) und Anwendung der VwV-StVO §37, Abschnitt 14 VI

Anforderung	Schaltung der Anlage an Sonntagen
ID	0.3
Beschreibung	An Sonntagen soll die Ampelanlage folgende Betriebsablauffliste abarbeiten (Betriebszustände gemäß Tabelle 3): <ul style="list-style-type: none">a) Von 0 Uhr bis 9 Uhr Zustand „Remote_freq_op“b) Von 9 Uhr bis 13 Uhr Zustand „Low_freq_op“c) Von 13 Uhr bis 20 Uhr Zustand „High_freq_op“d) Von 20 Uhr bis 0 Uhr Zustand „Low_freq_op“
Begründung	Ermittlung der Verkehrsstärke (vgl. Tabelle 1) und Anwendung der VwV-StVO §37, Abschnitt 14 VI

Technische Anforderungen Leuchtsystem der Ampelanlage

Anforderung	Ausstattung Leuchtmittel
ID	1.1
Beschreibung	Die Leuchtmittel sollen mit herkömmlichen LEDs ausgestattet werden. Als Repräsentant für die streckenseitig verbauten großflächigen Leuchtmittel soll pro Ampelfarbe eine entsprechend farbige LED wahlweise der Größe 5mm oder 3mm verwendet werden.
Begründung	LEDs sind energiesparende Leuchtmittel. Der Entwicklungsgegenstand dient als Demonstrator für die tatsächlich streckenseitig einzubauende Anlage und soll die prinzipielle Funktionalität nachweisen. Hierfür genügen einzelne LEDs.

Anforderung	Aufbau Leuchtanlage Hauptstraße
ID	1.2
Beschreibung	Die Leuchtanlage Hauptstraße (2-fache Ausfertigung; einmal Westseite, einmal Ostseite) besteht aus einer roten, einer gelben und einer grünen LED. Die Reihenfolge der LED-Anordnung soll folgendermaßen aussehen: oben rot, in der Mitte gelb und unten grün.
Begründung	Farben und Anordnung vorgeschrieben gemäß StVO §37 (2)

Anforderung	Aufbau Leuchtanlage Nebenstraße
ID	1.3
Beschreibung	Die Leuchtanlage Nebenstraße (1-fache Ausfertigung an der Einmündung zur Hauptstraße) besteht aus einer roten, einer gelben und einer grünen LED. Die Reihenfolge der LED-Anordnung soll folgendermaßen aussehen: oben rot, in der Mitte gelb und unten grün.
Begründung	Farben und Anordnung vorgeschrieben gemäß StVO §37 (2)

Anforderung	Aufbau Leuchtanlage Fußgängerüberweg
ID	1.4
Beschreibung	Die Leuchtanlage Fußgängerüberweg Hauptstraße (1-fache Ausfertigung; auf der Ostseite der Hauptstraße, Leuchtmittel auf der Nordseite aufgestellt) besteht aus einer roten und einer grünen LED. Die Reihenfolge der LED-Anordnung soll folgendermaßen aussehen: oben rot und unten grün.
Begründung	Farben und Anordnung vorgeschrieben gemäß StVO §37 (2) Nr. 5

Technische Anforderungen Benutzerschnittstelle Ampelanlage

Anforderung	Fußgänger-bewirkte Sicherung der Fußgängerquerung der Hauptstraße
ID	2.1
Beschreibung	Zwecks Interaktion mit Fußgängern auf dem östlich der T-Kreuzung liegenden Fußgängerüberweg über die Hauptstraße soll an der Südseite und an der Nordseite der Hauptstraße östlich der T-Kreuzung jeweils ein Bedienfeld in Form eines Tasters angebracht sein. Zur Vereinfachung im Demonstrator kann auf das nördlich liegende Bedienfeld verzichtet werden.
Begründung	Fußgänger, die die Hauptstraße östlich der T-Kreuzung queren möchten, müssen die Möglichkeit haben, den Verkehrsfluss auf der Hauptstraße zeitweise manuell zu stoppen.

Anforderung	Fahrzeug-bewirkte Sicherung der T-Kreuzung für Einfahrt von der Nebenstraße		
ID	2.2	Referenzen:	ID X.Y
Beschreibung	Unterhalb der der östlichen Fahrbahn der Nebenstraße direkt vor der Ampel der Nebenstraße soll ein Magnet-Sensor verbaut werden.		
Begründung	Wartende Fahrzeuge auf der Nebenstraße müssen die Möglichkeit haben, den Verkehrsfluss auf der Hauptstraße zu stoppen. Eine Detektion von wartenden Fahrzeugen muss automatisch erfolgen, damit keine direkte Interaktion mit den Bedienern der wartenden Fahrzeuge notwendig ist.		

Funktionale Anforderungen Bedien-Anwendung des Leitsystems

Anforderung	Verwaltung der angeschlossenen Ampelsysteme
ID	3.1
Beschreibung	Die Bedien-Anwendung soll die an das Leitsystem angeschlossenen Ampelsysteme kennen. Die Anzahl der angeschlossenen Ampelsysteme soll nicht begrenzt sein.
Begründung	Von der Bedienanwendung des Leitsystems aus müssen Ampelanlagen konfiguriert und auch installiert/deinstalliert werden können. Hierzu muss über die Bedien-Anwendung auf die einzelnen Ampelsysteme zugegriffen werden können. Das Leitsystem muss möglichst allgemein ausgelegt werden und ist nicht auf die Verkehrsstrecke des Pilotprojektes festgelegt. Daher ist auch die Anzahl der anschließbaren Ampelanlagen variabel zu halten.

Anforderung	Kennung der Ampelsysteme ändern
ID	3.2
Beschreibung	<p>Die Bedien-Anwendung soll die eindeutige Kennung eines vom Benutzer der Bedien-Anwendung angegebenen Ampelsystems ändern können. Eine neue eindeutige Kennung muss der Benutzer der Bedien-Anwendung eingeben. Die Bedien-Anwendung soll hierbei überprüfen, ob</p> <ul style="list-style-type: none"> a) das ausgewählte Ampelsystem über dessen Kennung erreichbar ist, b) die neue Kennung eindeutig für das Leitsystem ist.
Begründung	<p>Ampelsysteme müssen neu installiert oder getauscht werden können. Da die möglichen Werte für eindeutige Kennungen begrenzt sind, werden Ampelsysteme ab Werk mit einer Default-Kennung versehen. Nach Neuinstallationen eines Ampelsystems in eine Verkehrsstrecke muss daher die Kennung des neuen Ampelsystems auf eine Verkehrsstrecken-typische Kennung umkonfiguriert werden.</p>

Anforderung	Entfernung von Ampelsystemen
ID	3.3
Beschreibung	<p>Die Bedien-Anwendung soll ein Ampelsystem aus dem Datenbestand entfernen können. Der Benutzer des Bedien-Systems gibt dabei die Kennung des zu löschenden Ampelsystems an. Die Bedien-Anwendung soll die eingegebene Kennung mit dem Datenbestand der Verkehrsstrecke abgleichen und das Ampelsystem entfernen, wenn es Teil des Datenbestandes ist.</p>
Begründung	<p>Zum Tausch defekter Ampelsysteme muss es eine Möglichkeit geben, nach Entfernung des Ampelsystems aus der Strecke die Datenhaltung des Leitsystems zu aktualisieren. Nach der Neuinstallation eines Ersatz-Ampelsystems kann auf diese Weise die gleiche Kennung, wie bei dem defekten Ampelsystem verwendet werden.</p>

Anforderung	Zustandsabfrage eines angeschlossenen Ampelsystems
ID	3.4
Beschreibung	<p>Die Bedien-Anwendung soll von jedem angeschlossenen Ampelsystem den Systemzustand erfragen und dem Benutzer der Bedien-Anwendung das Ergebnis anzeigen. Die Ausgabe des Systemstatus eines Ampelsystems soll dabei enthalten:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) System_OK: Das Ampelsystem antwortet und signalisiert einwandfreien Zustand sowohl des Leuchtsystems als auch des Steuergerätes b) System_not_available: Ein Ampelsystem antwortet auf eine Anfrage über seine eindeutige Kennung nicht c) System_not_OK: Das Ampelsystem antwortet und signalisiert einen Fehlerzustand
Begründung	<p>Zwecks Fehlererkennung und Wartung muss das Leitsystem in der Lage sein, alle angeschlossenen Ampelsysteme zu überprüfen. Die Ampelsysteme selbst müssen dem Leitsystem mitteilen, ob ein reibungsloser Ablauf gewährleistet ist, oder ob Defekte während der Laufzeit aufgetreten sind, die ein Techniker beheben muss.</p>

Anforderung	Fehlerabfrage eines angeschlossenen Ampelsystems
ID	3.5
Beschreibung	Die Bedien-Anwendung soll von einem angeschlossenen Ampelsystem den Fehlercode auslesen. Der Benutzer der Bedien-Anwendung soll die eindeutige Kennung des abzufragenden Ampelsystems eingeben. Das Ampelsystem soll mit einem Fehlercode gemäß Tabelle 2 antworten. Die Bedien-Anwendung soll den Fehlercode und eine Beschreibung des Fehlercodes gemäß Tabelle 2 ausgeben.
Begründung	Wenn ein Ampelsystem in seinem Zustand auf einen aufgetretenen Fehler hinweist, muss der Benutzer den Fehler weiter eingrenzen und Aktionen zur Reparatur auslösen. Damit diese zielgerichtet ausfallen, muss der Fehler des Geräts bekannt sein.

Anforderung	Rücksetzen der Fehlercodes eines angeschlossenen Ampelsystems
ID	3.6
Beschreibung	Die Bedien-Anwendung soll dem Benutzer ermöglichen, den Fehlerspeicher eines Steuergerätes des Ampelsystems zu löschen. Der Benutzer gibt die eindeutige Kennung des Ampelsystems ein.
Begründung	Nach erfolgreicher Reparatur des Ampelsystems muss dieses wieder in einen neutralen, fehlerlosen Zustand versetzt werden können, um ggf. auftretende zukünftige Fehler detektieren zu können.

Anforderung	Selbsttest eines angeschlossenen Ampelsystems ausführen
ID	3.7
Beschreibung	Die Bedien-Anwendung soll dem Benutzer die Ausführung eines Selbsttests auf einem angeschlossenen Ampelsystem ermöglichen. Der Benutzer gibt die eindeutige Kennung des Ampelsystems ein.
Begründung	Um die Funktion eines Ampelsystems sicherzustellen und die angeschlossenen Ampelsysteme zu überprüfen, muss vom Leitsystem aus jedes Ampelsystem aufgefordert werden können, einen Selbsttest durchzuführen. Das Ergebnis des Selbsttests kann mit Anforderung 3.4 und 3.5 überprüft werden.

Anforderung	Einstellen des Betriebszustands eines angeschlossenen Ampelsystems
ID	3.8
Beschreibung	Die Bedien-Anwendung soll ein angeschlossenes Ampelsystem direkt in einen Betriebszustand gemäß Tabelle 3 setzen. Der Benutzer der Bedien-Anwendung soll die eindeutige Kennung des Ampelsystems eingeben.
Begründung	Zu Testzwecken und zu Systemstartzwecken muss der Benutzer am Leitsystem ausgewählte Ampelsysteme in einen der definierten Betriebszustände versetzen können.

Anforderung	Abfrage des Betriebszustands eines angeschlossenen Ampelsystems
ID	3.9
Beschreibung	Die Bedien-Anwendung soll den Betriebszustand eines angeschlossenen Ampelsystems ermitteln und ausgeben. Die Ausgabe des Betriebszustands erfolgt gemäß Tabelle 3. Der Benutzer der Bedien-Anwendung soll die eindeutige Kennung des Ampelsystems eingeben.
Begründung	Zur Kontrolle des Verkehrsabschnittes muss der Bediener des Leitsystems jederzeit einen Überblick über die Betriebszustände der einzelnen Ampelsysteme haben.

Anforderung	Auslesen der Betriebsablauffliste eines angeschlossenen Ampelsystems
ID	3.10
Beschreibung	<p>Die Bedien-Anwendung soll die Betriebsablauffliste eines angeschlossenen Ampelsystems auslesen und in einer für menschliche Betrachter lesbaren Form ausgeben. Die Anzahl der Einträge der Betriebsablauffliste soll maximal 20 betragen. Jedes Element der maximal 20 Einträge der Liste soll die folgenden Informationen enthalten:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Betriebszustand b) Wochentag gemäß Tabelle 1 (Mo-Fr, Sa, So) c) Startuhrzeit für den Betriebszustand in der Form (Stunde, Minute) als linke Grenze eines geschlossenen Intervalls d) Enduhrzeit für den Betriebszustand in der Form (Stunde, Minute) als rechte Grenze eines offenen Intervalls <p>Der Benutzer der Bedien-Anwendung soll die eindeutige Kennung des Ampelsystems eingeben.</p>
Begründung	Betriebsablaufflisten sind individuell – abhängig von der jeweiligen Verkehrsstärke auf den Kreuzungen – für jedes Ampelsystem einzustellen. Die Betriebsablauffliste soll immer als Ganzes zum oder vom Ampelsystem übertragen werden.

Anforderung	Änderung einer eingelesenen Betriebsablauffliste		
ID	3.11	Referenzen:	3.10
Beschreibung	Die Bedien-Anwendung soll es ermöglichen, dass der Benutzer ein Element einer von einem angeschlossenen Ampelsystem eingelesenen Betriebsablauffliste ändern kann. Der Benutzer soll das Element selektieren können. Anschließend soll der Benutzer die Daten gemäß Anforderung 3.9 individuell verändern können. Die Veränderung soll nur in der Bedien-Anwendung gespeichert sein.		
Begründung	Veränderungen der Verkehrsstärke bedingen auch Veränderungen der Betriebsablaufflisten, um einen möglichst flüssigen Verkehr zu erreichen. Die nur interne Speicherung der Veränderung in der Bedien-Anwendung dient dazu, die vollständige Veränderung der Betriebsablauffliste zunächst in der Bedien-Anwendung zu erledigen und vermeidet inkonsistente Betriebsablaufflisten auf dem Steuergerät des Ampelsystems.		

Anforderung	Übermitteln einer Betriebsablaufliste an ein angeschlossenes Ampelsystem		
ID	3.12	Referenzen:	3.10
Beschreibung	Die Bedien-Anwendung soll es ermöglichen, eine erstellte oder veränderte Betriebsablaufliste gemäß Anforderung 3.9 an ein angeschlossenes Ampelsystem zu übertragen. Der Benutzer der Bedien-Anwendung soll die eindeutige Kennung des Ampelsystems eingeben.		
Begründung	Die Betriebsablaufliste muss auf dem Steuergerät des Ampelsystems dauerhaft gespeichert werden, wird aber in der Bedien-Anwendung erstellt bzw. verändert. Um inkonsistente Elemente im Steuergerät des Ampelsystems zu vermeiden, wird jeweils nur eine vollständige Betriebsablaufliste übertragen.		

Anforderung	Auslesen des aktuellen Datums/der aktuellen Uhrzeit von einem Ampelsystem		
ID	3.13		
Beschreibung	Die Bedien-Anwendung soll es dem Benutzer ermöglichen, die aktuelle Uhrzeit und das aktuelle Datum eines Ampelsystems auszulesen. Der Bediener soll die eindeutige Kennung des Ampelsystems eingeben.		
Begründung	Um die Uhren der angeschlossenen Ampelsystem konsistent zu halten, muss der Benutzer das Paar (Datum, Uhrzeit) auslesen können und mit dem aktuellen Paar (Datum, Uhrzeit) auf dem PC vergleichen können.		

Anforderung	Ändern des aktuellen Datums/der aktuellen Uhrzeit auf einem Ampelsystem		
ID	3.14		
Beschreibung	Die Bedien-Anwendung soll es dem Benutzer ermöglichen, die aktuelle Uhrzeit und das aktuelle Datum eines Ampelsystems zu ändern. Der Benutzer soll Datum, Uhrzeit und eindeutige Kennung des Ampelsystems eingeben.		
Begründung	Für die Erstinstallation, Sommerzeit-Umstellungen und auch für kurzfristige Tests muss es möglich sein, aus dem Leitsystem heraus Datum und Uhrzeit anpassen zu können.		

Anforderung	Auslesen der Firmware-Version eines Ampelsystems		
ID	3.15		
Beschreibung	Die Bedien-Anwendung soll es dem Benutzer erlauben, die Firmware-Version eines angeschlossenen Ampelsystems auszulesen und anzuzeigen. Der Benutzer soll die eindeutige Kennung des Ampelsystems eingeben.		
Begründung	Beim Einspielen einer neuen Version der Firmware auf ein Ampelsystem ist es aus kompatibilitätsgründen notwendig, die Versionen in der Firmware der anderen angeschlossenen Ampelsysteme zu ermitteln.		

Anforderung	Update der Firmware eines Ampelsystems
ID	3.16
Beschreibung	Die Bedien-Anwendung soll es dem Benutzer erlauben, einzelne Ampelsysteme mit einer neuen Firmware zu versorgen. Der Benutzer soll die eindeutige Kennung des Ampelsystems sowie die Datei, die die Firmware enthält, eingeben.
Begründung	Wartungsarbeiten an Software-Ständen (Verbesserungen, Fehlerbeseitigung) sind Teil des Lebenszyklus der Firmware. Upgrades der Firmware müssen nach Stabilisierung auf die Steuergeräte aufgespielt werden können, ohne dass diese physikalisch aus dem Ampelsystem entfernt werden müssen.

Technische Anforderungen Schnittstellen des Leitsystems

Anforderung	Kommunikation zwischen Ampelsystemen und Bedien-Anwendung
ID	4.1
Beschreibung	Die Bedien-Anwendung soll über eine USB-Verbindung mit den Ampelsystemen kommunizieren.
Begründung	Das Leitsystem muss auf handelsüblichen PCs mit Windows Betriebssystem ablauffähig sein um Kosten zu sparen.

Anforderung	Kommunikation von Ampelsystemen
ID	4.2
Beschreibung	Die Ampelsysteme sollen mittels CAN-Bus Protokoll mit dem Leitsystem kommunizieren.
Begründung	Störungsreiche Umgebungen entstanden durch Nachbarschaft zu sich bewegenden Elektro- und Verbrennungsmotoren erfordern ein möglichst störungsresistentes Übertragungsprotokoll eines Feldbusses.

Anforderung	Signalumwandlung
ID	4.3
Beschreibung	Die Signalumwandlung von USB nach CAN soll über ein zwischen die beiden Signalübertragungsarten geschaltetes Steuergerät erfolgen. Dieses Steuergerät soll CAN-Nachrichten in serielle umwandeln oder CAN-Nachrichten, die vom PC über USB kommen, erzeugen. Das Steuergerät soll über eine serielle Schnittstelle mit dem PC kommunizieren.
Begründung	Spezielle PC-Karten zur Anbindung eines CAN-Busses an einen handelsüblichen PC sind teuer und unflexibel. Eine Speziallösung mittels eines Steuergerätes aus dem Niedrigpreissegment ist zu bevorzugen und zudem deutlich flexibler.

Funktionale Anforderungen Steuergerät Ampelanlage

Anforderung	Werkseinstellung Betriebsablauffliste		
ID	5.1	Referenzen:	0.1, 0.2, 0.3
Beschreibung	Bei Auslieferung des Steuergerätes soll eine Betriebsablauffliste gemäß Anforderungen 0.1 bis 0.3 vorinstalliert sein.		
Begründung	Steuergerät ist direkt nach Einbau betriebsbereit.		

Anforderung	Betriebszustände – normativer Ablauf		
ID	5.2	Referenzen:	5.1
Beschreibung	Das Steuergerät soll sich im normativen (fehlerfreien) Fall in einem der drei Betriebszustände „High_freq_op“, „Low_freq_op“ oder „Remote_freq_op“ (vgl. Tabelle 3) befinden. Der konkrete aktuelle Zustand soll aus der Betriebsablauffliste (vgl. Anforderung 5.1), dem aktuellen Wochentag und der aktuellen Uhrzeit bestimmt werden.		
Begründung	<p>Normales Verhalten bei Abwesenheit von Fehlern für die drei unterschiedlichen Szenarien:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) viel Verkehr → Nebenstraße oder Fußgänger können Kreuzung sichern b) wenig Verkehr → Fahrzeuge auf Nebenstraße und Fußgänger müssen sich reintasten, Nebenstraße wird durch gelbes Blinklicht gewarnt c) kaum Verkehr → Hauptstraße hat Vorfahrt, Nebenverkehr und Fußgänger müssen sich ohne Warnung reintasten. 		

Anforderung	Betriebszustände – degradierter Ablauf		
ID	5.3	Referenzen:	8.3, 8.4
Beschreibung	Das Steuergerät soll sich im kritischen Fehlerfall (vgl. Anforderungen 8.3 und 8.4) im Zustand „Degraded_op“ (vgl. Tabelle 3) befinden.		
Begründung	Im Fehlerfall muss die Kreuzung für die Hauptstraße gesichert sein.		

Anforderung	Verhalten im Betriebszustand „Degraded_op“
ID	5.4
Beschreibung	Im Betriebszustand „Degraded_op“ soll das Steuergerät alle Leuchtmittel ausschalten. Der Betriebszustand „Degraded_op“ soll nur durch einen Reset des Systems wieder verlassen werden.
Begründung	Nach einem kritischen Fehler soll das Steuergerät erst wieder in den normalen Ablauf gehen, wenn es manuell durch einen Techniker während der Wartung zurückgesetzt wird.

Anforderung	Verhalten im Betriebszustand „Remote_freq_op“
ID	5.5
Beschreibung	Im Betriebszustand „Remote_freq_op“ sollen alle Leuchtmittel abgeschaltet sein. Weder Fahrzeuge auf der Nebenstraße noch Fußgänger sollen die Ampelanlage beeinflussen können.
Begründung	In Phasen sehr geringer Verkehrsstärke hat die Hauptstraße immer Vorrang.

Anforderung	Verhalten im Betriebszustand „Low_freq_op“
ID	5.6
Beschreibung	<p>Im Betriebszustand „Low_freq_op“ sollen die Leuchtmittel auf der Hauptstraße abgeschaltet sein. Die Leuchtmittel der Fußgängerampel sollen ebenfalls abgeschaltet werden.</p> <p>Die Leuchtmittel für rot und grün in der Nebenstraße sollen abgeschaltet sein. Das Leuchtmittel für gelb in der Nebenstraße soll in einen Blinkmodus geschaltet werden. Der Blinkmodus soll die folgende Leuchtabfolge durchführen:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) 3 Sekunden gelbe Leuchte ausgeschaltet b) 1 Sekunde gelbe Leuchte angeschaltet
Begründung	Siehe VwV StVO §37, Abschnitt 16 VI

Anforderung	Verhalten im Betriebszustand „High_freq_op“
ID	5.7
Beschreibung	<p>Im Betriebszustand „High_freq_op“ soll initial die Hauptstraße freie Fahrt haben. Dazu sollen die Ampelfarben nach der VwV StVO §37, Abschnitt 17 IX (siehe Anhang) geschaltet werden.</p> <p>Bei einer Anfrage von der Nebenstraße über den Magnetsensor oder einer Anfrage von der Fußgängerampel über den Druckschalter soll die Ampel gemäß VwV StVO §37, Abschnitt 17 IX umschalten und der Nebenstraße freie Fahrt einräumen, die Fußgängerampel auf Grün stellen und die Hauptstraße stoppen.</p> <p>Eine Sperrung der Hauptstraße und Freigabe der Nebenstraße soll so erfolgen, dass die Hauptstraße mindestens die vorhergehenden 60 Sekunden freie Fahrt hatte.</p> <p>Die Nebenstraße hat 30 Sekunden freie Fahrt in die Kreuzung (ebenso die Fußgängerampel), danach wird die Ampel wieder gemäß VwV StVO §37, Abschnitt 17 IX auf freie Fahrt für die Hauptstraße geschaltet.</p>
Begründung	Vgl. rechtliche Vorschriften VwV StVO §37, Abschnitt 17 IX

Anforderung	Verhalten beim Wechsel des Betriebszustands
ID	5.8
Beschreibung	Das Steuergerät soll einen Wechsel zwischen Betriebszuständen nur dann durchführen, wenn die Hauptstraße freie Fahrt hat.
Begründung	Inkonsistente oder die Führer von Kraftfahrzeugen verwirrende Umschaltaktionen der Leuchtmittel müssen aus Gründen der Verkehrssicherheit vermieden werden, vgl. VwV-StVO §37, Abschnitt 17.

Anforderung	Leuchtstärke rote Leuchtmittel
ID	5.9
Beschreibung	Die Lichtstärke der roten Leuchtmittel soll im angeschalteten Zustand zu jeder Zeit auf maximale Stärke gestellt werden. Dies gilt für alle roten Leuchtmittel der Ampelanlage.
Begründung	Rote Leuchtmittel sind wesentliches Anzeigemittel zur Sicherung der Kreuzung. Blendeffekte sind aufgrund der Stopp-Wirkung von roten Lichtzeichen nicht relevant.

Anforderung	Leuchtstärke gelbe Leuchtmittel Hauptstraßenampel
ID	5.10
Beschreibung	Die Lichtstärke der gelben Leuchtmittel soll im angeschalteten Zustand zu jeder Zeit auf maximale Stärke gestellt werden. Dies gilt für beide (westliche und östliche) Ampeln der Hauptstraße der Ampelanlage.
Begründung	Gelbe Lichtzeichen sind Vorbereitungszeichen, zu denen ein Überqueren der Kreuzung nicht mehr erfolgen sollte. Daher sind Blendeffekte nicht relevant.

Anforderung	Leuchtstärke gelbe Leuchtmittel Nebenstraßenampel
ID	5.11
Beschreibung	<p>Die Lichtstärke der gelben Leuchtmittel soll im angeschalteten Zustand im Betriebszustand „High_freq_op“ zu jeder Zeit auf maximale Stärke gestellt werden.</p> <p>Die Lichtstärke der gelben Leuchtmittel soll im angeschalteten Zustand im Betriebszustand „Low_freq_op“ uhrzeit- und jahreszeitabhängig eingestellt werden. Während des Tages (nach der morgentlichen Dämmerung und vor der abendlichen Dämmerung, inklusive der Dämmerungsphasen) soll die Leuchtstärke wie im Betriebszustand „High_freq_op“ eingestellt werden. Während der Nachtzeiten soll die Leuchtstärke der gelben Leuchtmittel auf 50% der maximalen Stärke eingestellt werden. Die Zeiten der verminderten Leuchtstärke sollen gemäß Anhang 2 bestimmt werden.</p>
Begründung	<p>Im Betriebszustand „High_freq_op“ sind gelbe Leuchten Warnzeichen und eine Einfahrt in die Kreuzung sollte vermieden werden. Daher gilt die Begründung aus Anforderung 5.10.</p> <p>Im Zustand „Low_freq_op“ dienen die gelben Leuchtzeichen als Warnhinweise beim Reintasten in die Kreuzung. Bei hellem Tageslicht müssen sie gut sichtbar sein, daher größte Leuchtstärke. Während der Nacht führt eine zu hohe Leuchtstärke zu Blendeffekten aufgrund derer eine Einsicht in die Kreuzung erschwert wird, daher niedrigere Leuchtstärke.</p>

Anforderung	Leuchtstärke grüne Leuchtmittel für Haupt- und Nebenstraße
ID	5.12
Beschreibung	Die Lichtstärke der grünen Leuchtmittel soll im angeschalteten Zustand uhrzeit- und jahreszeitabhängig eingestellt werden. Während des Tages (nach der morgentlichen Dämmerung und vor der abendlichen Dämmerung, inklusive der Dämmerungsphasen) soll die Leuchtstärke auf maximale Stärke gestellt werden. Während der Nachtzeiten soll die Leuchtstärke der grünen Leuchtmittel auf 50% der maximalen Stärke eingestellt werden. Die Zeiten der verminderten Leuchtstärke sollen gemäß Anhang 2 bestimmt werden.
Begründung	Blendeffekte bei nächtlicher Einfahrt in die Kreuzung verhindern

Anforderung	Verhalten bei Stromausfall/Abschaltung
ID	5.13
Beschreibung	Bei einem Stromausfall soll das Steuergerät die Betriebsablauflisten und Fehlercodes dauerhaft speichern.
Begründung	damit ein einwandfreier Neustart auch nach kurzzeitigem Stromausfall möglich ist.

Anforderung	Energieverbrauch des Steuergerätes
ID	5.14
Beschreibung	Der Stromverbrauch des Steuergerätes soll minimal sein.
Begründung	Energieeinsparung senkt Betriebskosten.

Anforderung	Verhalten beim Upgrade der Firmware		
ID	5.15	Referenzen:	5.8
Beschreibung	Bei Signalisierung eines Firmware-Updates soll das Steuergerät zunächst in den Betriebszustand „Remote_freq_op“ übergehen, bevor das Update erfolgt. Für das Umschalten soll Anforderung 5.8 gelten.		
Begründung	Inkonsistente oder die Führer von Kraftfahrzeugen verwirrende Umschaltaktionen der Leuchtmittel müssen aus Gründen der Verkehrssicherheit vermieden werden, vgl. VwV-StVO §37, Abschnitt 17.		

Technische Anforderungen Steuergerät Ampelanlage

Anforderung	Speicherbereich für dauerhaft gespeicherte Daten		
ID	6.1	Referenzen:	6.4
Beschreibung	Daten, die dauerhaft gespeichert werden müssen, sollen im On-Chip EEPROM gespeichert werden.		
Begründung	Die Verwendung externer zusätzlicher Speicher würde das Budget für Produktionskosten überschreiten.		

Anforderung	Speicherplatz für Firmware-Versionsnummer		
ID	6.2	Referenzen:	6.4
Beschreibung	Die Firmware-Versionsnummer soll im FLASH-Programm-Speicher niedergelegt sein.		
Begründung	Die Version der Firmware definiert den Softwarestand des Systems. Da der Softwarestand im FLASH abgespeichert ist, ist dies auch der bevorzugte Platz für die Speicherung der Versionsnummer.		

Anforderung	Verwendeter Mikrocontroller für Ampelsystem-Steuergerät		
ID	6.3		
Beschreibung	Das Steuergerät soll auf einem Mikrocontroller der Marke ATmega328P basieren. Der Prototyp soll eine Arduino Pro Mini Platine verwenden.		
Begründung	Bei der Leistungsklasse des Steuergerätes reicht ein 8-Bit Mikrocontroller aus. Der ATmega328P bietet für die Anwendung genügend FLASH, EEPROM und SRAM, für die Anwendung ist lediglich eine Genauigkeit im Zehntelsekundenbereich vonnöten. Zudem erlauben die Energiesparmodi des ATmega328P auch, den Stromverbrauch zu reduzieren.		

Anforderung	Treiberbaustein CAN-Bus für Ampelsystem-Steuergerät		
ID	6.4		
Beschreibung	Als Treiberbaustein für den CAN-Bus soll ein CAN-Modul auf Basis eines MCP2515 verwendet werden.		
Begründung	CAN-Module auf Basis des MCP2515 sind im unteren Preissegment angesiedelt. Sie bieten durch einen SPI-Anschluss eine einfache und performante Anbindung an den gewählten Mikrocontroller.		

Anforderung	Modul Real-Time-Clock
ID	6.5
Beschreibung	Für die Berechnung der aktuellen Uhrzeit und des aktuellen Datums soll ein Real-Time-Clock-Modul auf Basis eines DS3234 verwendet werden.
Begründung	RTC-Module bieten akkurate Datums- und Uhrzeit-Berechnungen, die zudem noch über eine Batteriepufferung mit sehr langer Lebensdauer verfügen. Der DS3234 wird über einen SPI-Bus mit dem Mikrocontroller verbunden, so dass Steuergeräte-seitig kein weiteres Kommunikationsprotokoll verwendet werden muss.

Technische Anforderungen Steuergerät Leitsystem

Anforderung	Verwendeter Mikrocontroller für Leitsystem-Steuergerät
ID	7.1
Beschreibung	Das Steuergerät soll auf einem Mikrocontroller der Marke ATmega328P basieren. Der Prototyp soll eine Arduino Pro Mini Platine verwenden.
Begründung	Bei der Leistungsklasse des Steuergerätes reicht ein 8-Bit Mikrocontroller aus. Der ATmega328P bietet für die Anwendung genügend FLASH, EEPROM und SRAM, für die Anwendung ist lediglich eine Genauigkeit im Zehntelsekundenbereich vonnöten. Zudem erlauben die Energiesparmodi des ATmega328P auch, den Stromverbrauch zu reduzieren.

Anforderung	Treiberbaustein serielle Verbindung auf USB im Leitsystem
ID	7.2
Beschreibung	Als Signalumwandler seriell zu USB soll ein Modul auf Basis eines FT232R verwendet werden.
Begründung	Module auf Basis eines FT232R sind im unteren Preissegment angesiedelt. Sie bieten durch einen USB-Anschluss eine einfache und performante Anbindung an den Standard-PC des Leitsystems und können in Form eines virtuellen COM-Ports auf einfache Art und Weise programmiert werden.

Anforderung	Treiberbaustein CAN-Bus für Leitsystem-Steuergerät
ID	7.3
Beschreibung	Als Treiberbaustein für den CAN-Bus soll ein CAN-Modul auf Basis eines MCP2515 verwendet werden.
Begründung	CAN-Module auf Basis des MCP2515 sind im unteren Preissegment angesiedelt. Sie bieten durch einen SPI-Anschluss eine einfache und performante Anbindung an den gewählten Mikrocontroller.

Technische Sicherheitsanforderungen Ampelanlage

Die gemäß DIN EN 50556 VDE 0832-100:2019-03 durchgeführte Sicherheitsanalyse ergibt die folgenden technischen Sicherheitsanforderungen

Anforderung	Überprüfung der angeschlossenen Ampelsystem		
ID	8.1	Referenzen	3.4
Beschreibung	Das Leitsystem soll dem Benutzer die Möglichkeit bieten, alle angeschlossenen Ampelsysteme auf Ihren Zustand hin zu überprüfen. Für jedes angeschlossene Ampelsystem soll dem Benutzer der Status angezeigt werden		
Begründung	Defekte Ampelsysteme müssen zeitnah repariert werden. Aus dem Leitsystem heraus müssen sie daher schnell erfasst werden.		

Anforderung	Fehlercodes der angeschlossenen Ampelsystem		
ID	8.2	Referenzen	3.5, 3.6
Beschreibung	Das Steuergerät eines Ampelsystems soll dem Leitsystem dedizierte Fehlercodes übermitteln können. Die Fehlercodes sollen gemäß Tabelle 2 kodiert sein. Fehlercodes sollen in einem Fehlerspeicherbereich im EEPROM gespeichert werden.		
Begründung	Defekte Ampelsysteme müssen zeitnah repariert werden. Detaillierte Fehlermeldungen beschleunigen diesen Prozess und geben Auskunft über die Kritikalität des aufgetretenen Fehlers.		

Anforderung	Selbsttest FLASH-Speicher		
ID	8.3	Referenzen	
Beschreibung	Das Steuergerät soll eine adäquate Methode für den Selbsttest des FLASH-Speichers zur Verfügung stellen. Bei der Detektion eines Fehlers im FLASH-Speicher soll das Steuergerät das Ampelsystem möglichst in den Betriebszustand „Degraded_op“ versetzen (vgl. Tabelle 2) und den Fehlercode gemäß Tabelle 3 im Fehlerspeicher setzen.		
Begründung	Fehler im FLASH-Speicher können durch Alterung und elektromagnetischen Stress erzeugt werden. Um eine korrekte Durchführung der Aufgaben auf dem Steuergerät zu gewährleisten, muss der FLASH-Speicher auf Fehler überprüft werden. Mittels des Betriebszustands „Degraded_op“ wird die Ampelanlage in einen sicheren Modus gebracht.		

Anforderung	Selbsttest SRAM-Speicher		
ID	8.4	Referenzen	
Beschreibung	Das Steuergerät soll eine adäquate Methode für den Selbsttest des SRAM-Speichers zur Verfügung stellen. Bei der Detektion eines Fehlers im SRAM-Speicher soll das Steuergerät das Ampelsystem möglichst in den Betriebszustand „Degraded_op“ versetzen (vgl. Tabelle 2) und den Fehlercode gemäß Tabelle 3 im Fehlerspeicher setzen.		
Begründung	Fehler im SRAM-Speicher können durch Alterung und elektromagnetischen Stress erzeugt werden. Um eine korrekte Durchführung der Aufgaben auf dem Steuergerät zu gewährleisten, muss der SRAM-Speicher auf Fehler überprüft werden. Mittels des Betriebszustands „Degraded_op“ wird die Ampelanlage in einen sicheren Modus gebracht.		

Anforderung	Selbsttest auf Stack-Overflow		
ID	8.5	Referenzen	
Beschreibung	Das Steuergerät soll eine adäquate Methode für den Selbsttest auf Stack-Overflow zur Verfügung stellen. Bei der Detektion eines Fehlers vom Typ Stack-Overflow soll das Steuergerät das Ampelsystem über einen Reset neu gestartet werden und den Fehlercode gemäß Tabelle 2 in den Fehlerspeicher schreiben.		
Begründung	Programmierfehler können dazu führen, dass der Stack seinen definierten Bereich überschreitet und in den Bereich der globalen Variablen gerät. Dies muss erkannt werden, um zukünftiges Fehlverhalten auszuschließen. Um einen reibungslosen Ablauf zu gewährleisten, wird das Steuergerät neu gestartet, da Stack-Overflow häufig Fehler sind, die nach längerer Laufzeit auftreten.		

Anforderung	Selbsttest-Aufruf-Frequenz		
ID	8.6	Referenzen	8.3, 8.4, 8.5, 3.7
Beschreibung	Die Selbsttestfunktion 8.3 bis 8.5 sollen bei jedem Wechsel des Betriebszustands durchgeführt werden. Die Selbsttestfunktionen sollen zusätzlich vom Leitsystem aus angestoßen werden können.		
Begründung	Zyklisches Überprüfen erkennt Fehler frühzeitig. Fehlererkennung zwischen den Übergängen der Betriebszustände vermeiden inkonsistente Situationen im Verkehrsfluss. Da Fehler, die aus Selbsttests gemäß den Anforderungen 8.3 bis 8.5 sporadisch und mit niedriger Häufigkeit auftreten, reicht eine Überprüfung alle paar Stunden, im Extremfall nur 2 mal pro Tag, aus.		

Anforderung	Vermeidung divergenter Code-Abschnitte		
ID	8.7	Referenzen	
Beschreibung	Divergente Schleifen oder ähnliche Konstrukte sollen von dem Steuergerät selbstständig erkannt werden. Bei der Detektion eines divergenten Code-Abschnitts soll das Steuergerät das Ampelsystem über einen Reset neu gestartet werden und den Fehlercode gemäß Tabelle 2 in den Fehlerspeicher schreiben.		
Begründung	Divergente Software-Anteile verhindern das sachgemäße Schalten der Ampel in den aktiven Modi und müssen erkannt und behoben werden.		

Anforderung	Einsatzperiode zur Vermeidung divergenter Code-Abschnitte		
ID	8.8	Referenzen	8.7
Beschreibung	Die Detektion divergenter Code-Abschnitte soll in den Betriebszuständen „High_freq_op“ und „Low_freq_op“ (vgl. Tabelle 3) durchgeführt werden.		
Begründung	In den Betriebszuständen „Remote_freq_op“ und „Degraded_op“ sind die Lichtanlagen ausgeschaltet, und divergente Code-Abschnitte richten keinen Schaden an. Ein nicht erfolgtes Ändern des Betriebszustands kann durch das Leitsystem aufgedeckt werden.		

Anforderung	Überprüfung der angeschlossenen Rot-Lichter auf der Hauptstraße		
ID	8.9	Referenzen	
Beschreibung	Die elektrische Verbindung zum roten Leuchtmittel der Hauptstraße (auf beiden Seiten) soll im Betriebszustand „High_freq_op“ überwacht werden, sobald das rote Leuchtmittel eingeschaltet wird. Wird eine fehlerhafte elektrische Verbindung festgestellt, soll das Steuergerät in den Betriebszustand „Low_freq_op“ wechseln und einen Eintrag in den Fehlerspeicher gemäß Tabelle 2 vornehmen.		
Begründung	Defekte Rot-Lichter müssen dazu führen, dass für die Nebenstraße die Kreuzung als nicht gesichert gilt. Da nur im Betriebszustand „High_freq_op“ die Hauptstraße die roten Leuchtmittel nutzt, ist auch nur in diesem Zustand eine Überprüfung notwendig.		

Anforderung	Überprüfung der angeschlossenen Rot-Lichter auf der Nebenstraße		
ID	8.10	Referenzen	
Beschreibung	Die elektrische Verbindung zum roten Leuchtmittel der Nebenstraße soll im Betriebszustand „High_freq_op“ überwacht werden, sobald das rote Leuchtmittel eingeschaltet wird. Wird eine fehlerhafte elektrische Verbindung festgestellt, soll das Steuergerät in den Betriebszustand „Low_freq_op“ wechseln und einen Eintrag in den Fehlerspeicher gemäß Tabelle 2 vornehmen.		
Begründung	Defekte Rot-Lichter müssen dazu führen, dass für die Nebenstraße die Kreuzung als nicht gesichert gilt. Da nur im Betriebszustand „High_freq_op“ die Nebenstraße die roten Leuchtmittel nutzt, ist auch nur in diesem Zustand eine Überprüfung notwendig.		

Anforderung	Überprüfung der angeschlossenen Gelb-Lichter auf der Nebenstraße		
ID	8.11	Referenzen	
Beschreibung	Die elektrische Verbindung zum gelben Leuchtmittel der Nebenstraße soll im Betriebszustand „Low_freq_op“ überwacht werden, sobald das gelbe Leuchtmittel eingeschaltet wird. Wird eine fehlerhafte elektrische Verbindung festgestellt, soll das Steuergerät in den Betriebszustand „Remote_freq_op“ wechseln und einen Eintrag in den Fehlerspeicher gemäß Tabelle 2 vornehmen.		
Begründung	Defektes Gelb-Lichter auf der Nebenstraße muss dazu führen, dass für die Nebenstraße die Kreuzung als nicht gesichert gilt.		

Anforderung	Überprüfung der angeschlossenen Rot-Lichter der Fußgängerampel		
ID	8.12	Referenzen	
Beschreibung	Die elektrische Verbindung zum roten Leuchtmittel der Fußgängerampel soll im Betriebszustand „High_freq_op“ überwacht werden, sobald das rote Leuchtmittel eingeschaltet wird. Wird eine fehlerhafte elektrische Verbindung festgestellt, soll das Steuergerät in den Betriebszustand „Low_freq_op“ wechseln und einen Eintrag in den Fehlerspeicher gemäß Tabelle 2 vornehmen.		
Begründung	Defekte Rot-Lichter müssen dazu führen, dass für Fußgänger die Kreuzung als nicht gesichert gilt. Da nur im Betriebszustand „High_freq_op“ die Ampelanlage die Kreuzung für Fußgänger sichern kann, ist auch nur in diesem Zustand eine Überprüfung notwendig.		

Anforderung	Fehler beim Einlesen des Datums/der Uhrzeit		
ID	8.13	Referenzen	
Beschreibung	<p>Bei einem nicht gelungenem Lesevorgang des Datums/ der Uhrzeit im Steuergerät soll:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Im Betriebszustand „High_freq_op“ in den Betriebszustand „Low_freq_op“ gewechselt werden b) Im Betriebszustand „Low_freq_op“ der Betriebszustand erhalten bleiben c) Im Betriebszustand „Remote_freq_op“ in den Betriebszustand „Low_freq_op“ gewechselt werden <p>Das Steuergerät soll den Fehler gemäß Tabelle 2 im Fehlerspeicher eintragen. Alle Leuchtmittel sollen im Betriebszustand „Low_freq_op“ mit maximaler Leuchtstärke betrieben werden.</p>		
Begründung	Wenn Datum und Uhrzeit nicht mehr festgestellt werden kann, ist die Nebenstraße zu sichern und dem Verkehr auf der Hauptstraße Vorrang einzuräumen. Um auch bei hohem Verkehrsaufkommen die Sicherheit zu erhöhen, wird die Variante mit gelbem Blinklicht auf der Nebenstraße gewählt.		

Fehlercodes des Ampelsystems

Das Ampelsystem soll bei einer Fehlercode-Abfrage die folgenden Fehlercodes liefern:

Fehlername	Code	Fehlerbeschreibung
No_error	0x00	Kein Fehler diagnostiziert
Red_light_MR	0x10	Überwachungsfehler auf dem spannungsführenden Teil des roten Lichtes auf der Hauptstraße
Red_light_SR	0x11	Überwachungsfehler auf dem spannungsführenden Teil des roten Lichtes auf der Nebenstraße
Red_light_P	0x12	Überwachungsfehler auf dem spannungsführenden Teil des roten Lichtes der Fußgängerampel
Yellow_light_SR	0x13	Überwachungsfehler auf dem spannungsführenden Teil des gelben Lichtes auf der Nebenstraße
Flash_error	0x20	Fehler bei der Überprüfung des Flash-Speichers diagnostiziert
SRAM_error	0x21	Fehler bei der Überprüfung des SRAM diagnostiziert
Stack_error	0x22	Stack-Overflow diagnostiziert
SW_error	0x80	Reset durch Software-Fehler ausgeführt
Time_error	0x81	Fehler beim Auslesen von Uhrzeit und Datum

Tabelle 2: Fehlercodes des Ampelsystems

Betriebszustände des Ampelsystems

Das Ampelsystem befindet sich in einem der folgenden Betriebszustände:

Betriebszustand	Beschreibung
High_freq_op	Normalbetriebe; Hauptstraße hat Vorfahrt, Nebenstraße und Fußgängerampel haben Stopp. Bei Anforderung nach Sicherung der Kreuzung von der Nebenstraße oder durch die Fußgängerampel wird die Hauptstraße Stopp bekommen, und Fußgänger und Nebenstraße erhalten für eine gewisse Zeit Freigabe.
Low_freq_op	Lichtanlage auf der Hauptstraße ist aus, Fußgängerampel ist aus, Lichtanlage auf Nebenstraße setzt gelbes Blinklicht
Remote_freq_op	Lichtanlagen alle ausgeschaltet
Degraded_op	Lichtanlagen alle ausgeschaltet, Zustand nur durch Reset wieder zu verlassen (Fehlerzustand)

Tabelle 3: Betriebszustände des Ampelsystems

Anhang 1 Gesetzliche Grundlage

Auszug aus der StVO §37 Wechsellichtzeichen, Dauerlichtzeichen und Grünpfeil

(1) [...]

(2) Wechsellichtzeichen haben die Farbfolge Grün – Gelb – Rot – Rot und Gelb (gleichzeitig) – Grün. Rot ist oben, Gelb in der Mitte und Grün unten.

[...]

5. Gelten die Lichtzeichen nur für zu Fuß Gehende oder nur für Rad Fahrende, wird das durch das Sinnbild „Fußgänger“ oder „Radverkehr“ angezeigt. Für zu Fuß Gehende ist die Farbfolge Grün-Rot-Grün; für Rad Fahrende kann sie so sein. Wechselt Grün auf Rot, während zu Fuß Gehende die Fahrbahn überschreiten, haben sie ihren Weg zügig fortzusetzen.

[...]

Auszug aus den VwV-StVO §37 Wechsellichtzeichen, Dauerlichtzeichen und Grünpfeil

[...]

4 II. Wechsellichtzeichen dürfen nicht blinken, auch nicht vor Farbwechsel.

[...]

10 II. Auf Straßenabschnitten, die mit mehr als 70 km/h befahren werden dürfen, sollen Lichtzeichenanlagen nicht eingerichtet werden; sonst ist die Geschwindigkeit durch Zeichen 274 in ausreichender Entfernung zu beschränken.

[...]

12 IV. Sind im Zuge einer Straße mehrere Lichtzeichenanlagen eingerichtet, so empfiehlt es sich in der Regel sie aufeinander abzustimmen (z.B. auf eine Grüne Welle). Jedenfalls sollte dafür gesorgt werden, dass bei dicht benachbarten Kreuzungen der Verkehr, der eine Kreuzung noch bei „Grün“ durchfahren konnte, auch an der nächsten Kreuzung „Grün“ vorfindet.

13 V. Häufig kann es sich empfehlen, Lichtzeichenanlagen verkehrsabhängig so zu schalten, dass die Stärke des Verkehrs die Länge der jeweiligen Grünphase bestimmt. An Kreuzungen und Einmündungen, an denen der Querverkehr schwach ist, kann sogar erwogen werden, der Hauptrichtung ständig grün zu geben, das von Fahrzeugen und Fußgängern aus der Querrichtung erforderlichenfalls unterbrochen werden kann.

14 VI. Lichtzeichenanlagen sollten in der Regel auch nachts in Betrieb gehalten werden; ist die Verkehrsbelastung nachts schwächer, so empfiehlt es sich, für diese Zeit ein besonderes Lichtzeichenprogramm zu wählen, das alle Verkehrsteilnehmer möglichst nur kurz warten läßt. Nächtliches Ausschalten ist nur dann zu verantworten, wenn eingehend geprüft ist, dass auch ohne Lichtzeichen ein sicherer Verkehr möglich ist. Solange die Lichtzeichenanlagen, die nicht nur ausnahmsweise in Betrieb sind, nachts abgeschaltet sind, soll in den wartepflichtigen Kreuzungszufahrten gelbes Blinklicht gegeben werden. Darüber hinaus kann es sich empfehlen,

negative Vorfahrtzeichen (Zeichen 205 und 206) von innen zu beleuchten. Solange Lichtzeichen gegeben werden, dürfen diese Vorfahrtzeichen dagegen nicht beleuchtet sein.

[...]

16 VIII. Die Schaltung von Lichtzeichenanlagen bedarf stets gründlicher Prüfung. Dabei ist auch besonders auf die sichere Führung der Abbieger zu achten.

17 IX. Besonders sorgfältig sind die Zeiten zu bestimmen, die zwischen dem Ende der Grünphase für die eine Verkehrsrichtung und dem Beginn der Grünphase für die andere (kreuzende) Verkehrsrichtung liegen. Die Zeiten für Gelb und Rot-Gelb sind unabhängig von dieser Zwischenzeit festzulegen.

Die Übergangszeit Rot und Gelb (gleichzeitig) soll für Kraftfahrzeugströme eine Sekunde dauern, darf aber nicht länger als zwei Sekunden sein. Die Übergangszeit Gelb richtet sich bei Kraftfahrzeugströmen nach der zulässigen Höchstgeschwindigkeit in der Zufahrt. In der Regel beträgt die Gelbzeit 3 s bei zul. $V = 50$ km/h, 4 s bei zul. $V = 60$ km/h und 5 s bei zul. $V = 70$ km/h. Bei Lichtzeichenanlagen, die im Rahmen einer Zuflussregelungsanlage aufgestellt werden, sind abweichend hiervon für Rot mindestens 2 s und für die Übergangssignale Rot und Gelb (gleichzeitig) bzw. Gelb mindestens 1 s zu wählen.

Bei verkehrsabhängigen Lichtzeichenanlagen ist beim Rücksprung in die gleiche Phase eine Alles-Rot-Zeit von mindestens 1 s einzuhalten, ebenso bei Fußgänger-Lichtzeichenanlagen mit der Grundstellung Dunkel für den Fahrzeugverkehr. Bei Fußgänger-Lichtzeichenanlagen soll bei Ausführung eines Rücksprungs in die gleiche Fahrzeugphase die Mindestsperrzeit für den Fahrzeugverkehr 4 s betragen.

[...]

Anhang 2 Sonnenuntergang und-aufgang Deutschland

