



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Strassen ASTRA

RICHTLINIE
BELEUCHTUNGSANLAGEN

Ausgabe 2024 V1.14
ASTRA 13015

Impressum

Autoren / Arbeitsgruppe

Joseph Cédric	ASTRA SFS, Vorsitz
Berner Marcel	ASTRA I-FU
Bregy Valentin	ASTRA I-F2-EP
Dousse Francis	ASTRA I-FU
Gammeter Christian	ASTRA N-SSI
Morisoli Matteo	ASTRA I-FU
Wyss Martin	ASTRA I-B
Wenger Stefan	Kanton Wallis
Borremans Yves	UT II, Kanton Waadt
Chabloz Gregoire	BG Ingénieurs Conseils SA, Lausanne
Lehmann Hans	METAS
Prébandier Georges	BG Ingénieurs Conseils SA, Lausanne, Ausarbeitung
Rigamonti Alfredo	Officine Rigamonti, Contone
Schneider Cyril	BG Ingénieurs Conseils SA, Lausanne, Ausarbeitung

Übersetzung

Sprachdienste ASTRA, es gilt das Original in Französisch.

Herausgeber

Bundesamt für Strassen ASTRA
Abteilung Strassennetze N
Standards und Sicherheit der Infrastruktur SSI
3003 Bern

Bezugsquelle

Das Dokument kann kostenlos auf www.astra.admin.ch heruntergeladen werden.

© ASTRA 2024

Abdruck – ausser für kommerzielle Nutzung – unter Angabe der Quelle gestattet.

Vorwort

Die Beleuchtungsanlagen der Nationalstrassen stellen die notwendigen Sichtbedingungen für die Verkehrsteilnehmer sowohl in Tunneln und Galerien als auch auf offener Strecke sicher.

Die Beleuchtung der Tunnel und Galerien ist ein Hauptenergieverbraucher der Nationalstrassen. Aufgrund der geltenden Energiepolitik der Schweiz müssen Beleuchtungsanlagen sowohl Vorgaben bezüglich Energieverbrauch als auch hinsichtlich Sicherheit erfüllen. Deshalb muss die Dimensionierung der Beleuchtung den in dieser Richtlinie genannten Normen für die Dimensionierung entsprechen und die Steuerung der Beleuchtung muss so erfolgen, dass die vorgeschriebenen Leuchtdichten nicht überschritten werden.

Diese Richtlinie ist eine Zusammenfassung der geltenden Vorschriften, die aus der Normierung und den Beschränkungen hervorgegangen sind, welche die Beleuchtung von Tunneln oder Galerien und offenen Strecken betreffen.

Die Richtlinie legt die Kriterien für die verschiedenen Kategorien von Bauten fest, welche der Vereinheitlichung und Festlegung der Anforderungen an die Beleuchtungsanlagen dienen, ebenso wie die Standards, welche bei der Ausrüstung zu berücksichtigen sind.

Bundesamt für Strassen

Jürg Röthlisberger
Direktor

Inhaltsverzeichnis

	Impressum	2
	Vorwort.....	3
1	Einleitung	7
1.1	Zweck der Richtlinie	7
1.2	Geltungsbereich	7
1.3	Adressaten	7
1.4	Inkrafttreten und Änderungen	7
2	Zweck der Beleuchtung.....	8
3	Teilanlagen und ihre Aufgaben.....	10
3.1	Durchfahrtsbeleuchtung	10
3.2	Adaptationsbeleuchtung.....	11
3.3	Brandnotbeleuchtung	11
3.4	Optische Leiteinrichtung.....	11
3.5	Fluchtwegbeleuchtung	12
3.6	Strassenbeleuchtung	12
3.7	Ergänzende passive Massnahmen	12
4	Bauwerkskategorie und Ausrüstungsklassen	13
4.1	Bauwerkskategorie.....	13
4.1.1	Kriterium Objektgruppe	13
4.1.2	Kriterium Verkehrsart	13
4.1.3	Kriterium Verkehrsführung	14
4.1.4	Betriebsarten des Bauwerks	14
4.2	Ausrüstungsklassen	14
4.2.1	Kriterium Länge des Bauwerks	14
4.2.2	Kriterium Sichtbarkeit der Ausfahrt	14
4.2.3	Kriterium Geschwindigkeit < 80 km/h.....	15
4.2.4	Kriterium Stauhäufigkeit.....	15
4.3	Zusammenfassung.....	15
4.3.1	Bauwerkskategorie: Tunnel – motorisierter Verkehr – Richtungsverkehr.....	16
4.3.2	Bauwerkskategorie: Tunnel – motorisierter Verkehr – Gegenverkehr.....	17
4.3.3	Bauwerkskategorie: Tunnel – gemischter Verkehr – Richtungs- und Gegenverkehr.....	18
5	Eigenschaften der Beleuchtungsanlagen	19
5.1	Allgemein.....	19
5.1.1	Kriterien für die Wahl der Ausrüstungen	19
5.1.2	Konzipierung von Beleuchtungsanlagen.....	19
5.1.3	Auslegung der Beleuchtungsanlagen	19
5.2	Eigenschaften der Durchfahrtsbeleuchtung.....	20
5.2.1	Anordnung.....	20
5.2.2	Lichttechnische Anforderungen.....	20
5.2.3	Stromversorgung.....	20
5.2.4	Steuerung.....	20
5.3	Eigenschaften der Adaptationsbeleuchtung	21
5.3.1	Anordnung.....	21
5.3.2	Lichttechnische Anforderungen.....	21
5.3.3	Stromversorgung.....	22
5.3.4	Steuerung.....	23
5.4	Eigenschaften der Brandnotbeleuchtung	24
5.4.1	Anordnung.....	24
5.4.2	Lichttechnische Anforderungen.....	24

5.4.3	Stromversorgung.....	25
5.4.4	Steuerung.....	25
5.5	Eigenschaften der optischen Leiteinrichtung	25
5.5.1	Anordnung.....	25
5.5.2	Lichttechnische Anforderungen.....	25
5.5.3	Stromversorgung.....	25
5.5.4	Steuerung.....	25
5.6	Eigenschaften der Fluchtwegbeleuchtung	27
5.6.1	Anordnung.....	27
5.6.2	Lichttechnische Anforderungen.....	27
5.6.3	Stromversorgung.....	27
5.6.4	Steuerung.....	27
5.7	Eigenschaften der Strassenbeleuchtung	27
5.7.1	Anordnung.....	27
5.7.2	Lichttechnische Anforderungen.....	27
5.7.3	Stromversorgung.....	28
5.7.4	Steuerung.....	28
5.8	Ergänzende passive Massnahmen	28
5.9	Stromversorgung der Steuerung.....	28
6	Ausrüstungen.....	29
6.1	Allgemein.....	29
6.2	Durchfahrtsbeleuchtung	29
6.3	Adaptationsbeleuchtung.....	29
6.4	Brandnotbeleuchtung	29
6.5	Optische Leiteinrichtung.....	29
6.6	Fluchtwegbeleuchtung	29
6.7	Strassenbeleuchtung	29
6.8	Sensorik	30
6.8.1	Leuchtdichtesensor	30
6.9	Zähler Verkehrsdichte und zugelassene Geschwindigkeit	30
6.9.1	Verkehrsdichte	30
6.9.2	Zugelassene Geschwindigkeit	30
7	Betrieb und Unterhalt der Anlagen	31
7.1	Reparatur und Ersatz	31
7.2	Beobachtung	31
7.3	Inspektionen (Erhaltungsplanung)	31
	Glossar	33
	Literaturverzeichnis	35
	Auflistung der Änderungen.....	37

1 Einleitung

1.1 Zweck der Richtlinie

Die vorliegende Richtlinie legt fest, welche Regeln bei Planung, Auslegung, Realisierung und Betrieb von Beleuchtungsanlagen zu berücksichtigen sind.

Sie definiert, welche Typen von Ausrüstungen zu installieren sind, zudem die verlangten photometrischen Eigenschaften, die Betriebsarten bei normaler Nutzung und im Ereignisfall sowie die Stromversorgung.

1.2 Geltungsbereich

Die vorliegende Richtlinie gilt für den Bau, den Unterhalt und den Betrieb von Beleuchtungsanlagen der Nationalstrassen.

Die Beleuchtungsanlagen, welche Unterhaltsarbeiten oder die Baustellenbeleuchtung betreffen, werden in dieser Richtlinie nicht behandelt.

1.3 Adressaten

Die vorliegende Richtlinie richtet sich an alle Personen und Organisationen, welche mit der Planung, der Projektierung, der Realisation und dem Betrieb von Beleuchtungsanlagen beauftragt sind.

1.4 Inkrafttreten und Änderungen

Die vorliegende Richtlinie tritt am 01.02.2016 in Kraft. Die Auflistung der Änderungen befindet sich auf Seite 37.

2 Zweck der Beleuchtung

Die Beleuchtung sorgt für ausreichende Sichtbedingungen, um die Sicherheit der Verkehrsteilnehmer zu garantieren. Diese werden unter verschiedenen Aspekten betrachtet:

- Lenker eines Motorfahrzeugs (Strassenverkehrsteilnehmer);
- Lenker eines nicht motorisierten Fahrzeugs (Strassenverkehrsteilnehmer);
- Fussgänger, der sich in einem dafür vorgesehenen Bereich bewegt;
- Fussgänger, der sich zur Selbstrettung auf einem Fluchtweg bewegt.

Der zu beleuchtende Verkehrsraum beinhaltet sowohl Tunnel und Galerien als auch offene Strecken. Diese Typen von Verkehrsräumen stellen unterschiedliche Anforderungen an die Beleuchtung.

Die unterschiedlichen Teilanlagen von Beleuchtungsanlagen sind in Abb. 2.1 definiert.

Abb. 2.1 Übersicht über die Teilanlagen der Beleuchtungsanlage

N° AKS-CH ¹	Kürzel	Teilanlage	Definition
202	DB	Durchfahrtsbeleuchtung	Einrichtung, bestehend aus Lichtquellen, die für die Beleuchtung der Fahrbahn eines Tunnels oder einer Galerie verwendet werden.
203	AB	Adaptationsbeleuchtung	Einrichtung, die aus Lichtquellen besteht, die für die Beleuchtung der Einfahrts- und Übergangsstrecken von Tunneln oder Galerien verwendet werden.
204	BN	Brandnotbeleuchtung	Einrichtung, die aus punktuellen Lichtquellen besteht, die an den Seitenwänden auf der Seite der Notausgänge angebracht sind. Sind keine Notausgänge vorhanden oder gibt es ausnahmsweise Notausgänge auf beiden Seiten der Fahrbahn, so befinden sich die Lichtquellen auf beiden Seiten des Tunnels oder der Galerie.
205	OL	Optische Leiteinrichtung	Einrichtung, die aus punktuellen Lichtquellen besteht, die links und rechts der Fahrbahn entlang der Bankette im Randstein eingelassen sind.
206	FWB	Fluchtwegbeleuchtung	Einrichtung, bestehend aus punktuellen Lichtquellen, die in Sicherheitsstollen, Fluchttollen oder Querverbindungen installiert sind.
207	SB	Strassenbeleuchtung	Einrichtung, bestehend aus punktuellen Lichtquellen, die auf den offenen Strecken installiert sind.
-	-	Ergänzende passive Massnahmen	Ergänzende Massnahmen, welche einerseits die Sichtbedingungen im Verkehr verbessern und andererseits die Wirksamkeit der Beleuchtungsanlagen verstärken.

Zweck der Beleuchtungsanlagen

- B1. Reduktion der störenden Effekte, welche bei der Einfahrt in einen Tunnel oder eine Galerie auftreten.
- B2. Sicherstellung einer ausreichenden Sichtbarkeit von Hindernissen.
- B3. Sicherstellung einer ausreichenden Sichtbarkeit des Verkehrsraums im Normalbetrieb.
- B4. Sicherstellung einer ausreichenden Sichtbarkeit des Fluchtwegs im Ereignisfall.
- B5. Sicherstellung von ausreichenden Sichtbedingungen, um die Funktionen der Videoüberwachungsanlage und der automatischen Ereignisdetektion im Innern von Tunneln und Galerien zu gewährleisten.

¹ Vgl. ASTRA Richtlinie 13013 «Struktur und Kennzeichnung der Betriebs- und Sicherheitsausrüstungen (AKS-CH)» [3].

Der Beitrag, den die verschiedenen Teilanlagen der Beleuchtungsanlage zur Erfüllung dieser Zwecke leisten, ist in der Abb. 2.2 dargestellt. Die Aufgaben der einzelnen Teilanlagen sind dem Betriebszustand entsprechend unterschiedlich (Normalbetrieb oder Ereignisfall).

Abb. 2.2 Zweck und Aufgaben der verschiedenen Teilanlagen der Beleuchtungsanlage

Zweck	Aufgabe	Teilanlage						
		Durchfahrtsbeleuchtung	Adaptationsbeleuchtung	Brandnotbeleuchtung	Optische Leiteinrichtung	Fluchtwegbeleuchtung	Strassenbeleuchtung	Ergänzende passive Massnahmen
	Normalbetrieb							
B1	Stellt in der Einfahrtsstrecke und der Übergangsstrecke eines Tunnels oder einer Galerie ein genügendes und absteigendes, basiert auf der Annäherungsstrecke, Helligkeitsniveau sicher.		x					
B1	Reduktion der die Sicht störenden Effekte, welche bei der Einfahrt in einen Tunnel oder eine Galerie auftreten, durch Verringerung der Helligkeit um das Portal herum und in der Annäherungsstrecke.							x
B2	Erkennen von Hindernissen, welche sich im Innern eines Tunnels oder einer Galerie befinden können.	x						
B2	Antizipieren von Konfliktzonen.						x	x
B3	Sicherstellen einer ausreichenden Sichtbarkeit des Verkehrsraums in einem Tunnel oder einer Galerie.	x						
B3	Sicherstellung einer ausreichenden visuellen Wahrnehmung im Innern eines Tunnels oder Galerie, indem die Begrenzung der Fahrbahn erkennbar wird.				x			
B3	Sicherstellung von ausreichenden Sichtbedingungen in Bereichen mit gleichzeitigem Auftreten von Fussgängern und Fahrzeugen.						x	
B3	Verbesserung der Sichtbedingungen im Innern von Tunneln und Galerien mit Reduktion des Energieverbrauches von Beleuchtungsanlagen.							x
B5	Sicherstellen der nötigen Sichtbedingungen, damit die Videoüberwachungsanlage und die automatische Ereignisdetektion im Innern von Tunneln und Galerien funktionieren.	x						
	Betrieb im Ereignisfall							
B4	Sicherstellen einer ausreichenden visuellen Wahrnehmung des Fluchtwegs im Verkehrsraum	x		x	x			
B4	Sicherstellung einer ausreichenden Sichtbarkeit des Fluchtwegs ausserhalb des Fahrraums (Querverbindung, Fluchtstollen, Sicherheitsstollen (SiSto)).					x		
B4	Verbesserung der Sichtbedingungen des Fluchtwegs im Fahrraum.							x
B5	Sicherstellen der nötigen Sichtbedingungen, damit die Videoüberwachungsanlage und die automatische Ereignisdetektion im Innern von Tunneln und Galerien funktionieren.	x						

3 Teilanlagen und ihre Aufgaben

Die Beleuchtung besteht aus mehreren Teilanlagen, welche spezifische Aufgaben erfüllen. Die einzelnen Teilanlagen sind schematisch in Abb. 3.1 dargestellt.

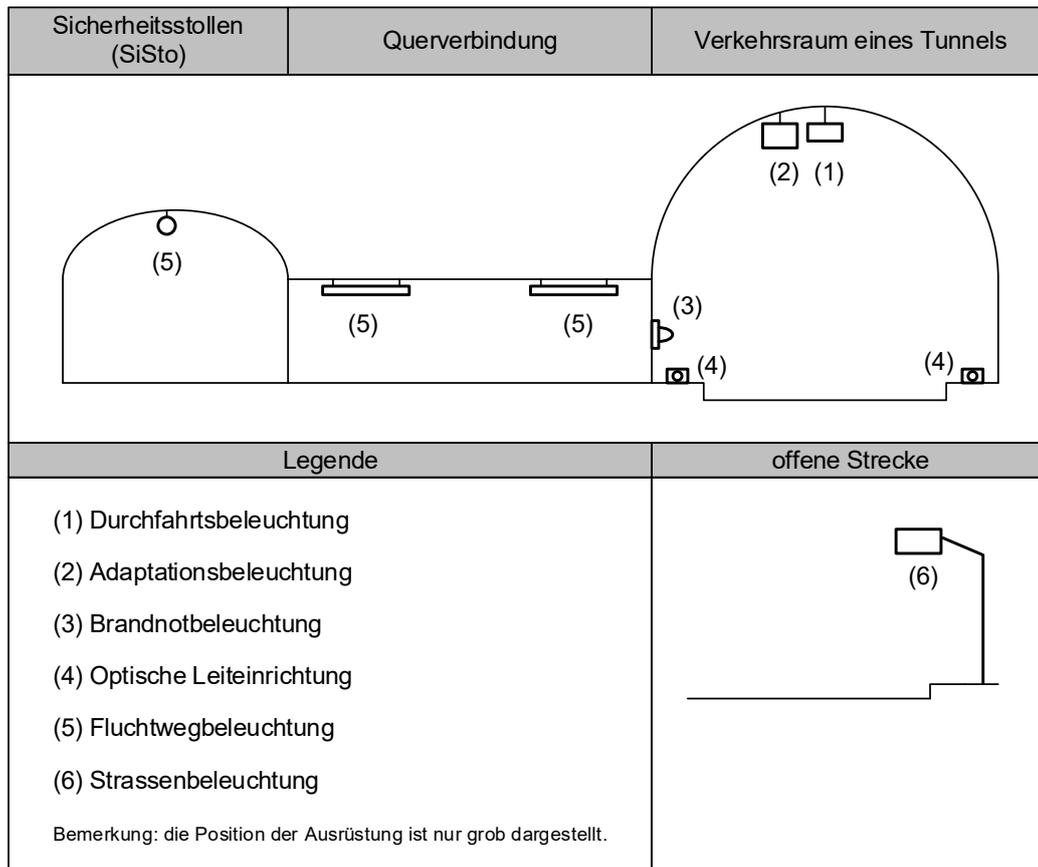


Abb. 3.1 Teilanlagen der Beleuchtung

3.1 Durchfahrtsbeleuchtung

Definition

Einrichtung, bestehend aus Lichtquellen, die für die Beleuchtung der Fahrbahn eines Tunnels oder einer Galerie verwendet werden.

Funktion im Normalbetrieb

- Sicherstellen einer ausreichenden Sichtbarkeit des Verkehrsraums in einem Tunnel oder einer Galerie.
- Erkennen von Hindernissen, welche sich im Innern eines Tunnels oder einer Galerie befinden können.
- Sicherstellen der nötigen Sichtbedingungen, damit die Videoüberwachungsanlage und die automatische Ereignisdetektion im Innern von Tunneln und Galerien funktionieren.

Funktion im Betrieb im Ereignisfall

- Sicherstellen einer ausreichenden visuellen Wahrnehmung des Fluchtwegs im Verkehrsraum.
- Sicherstellen der nötigen Sichtbedingungen, damit die Videoüberwachungsanlage und die automatische Ereignisdetektion im Innern von Tunneln und Galerien funktionieren.

3.2 Adaptationsbeleuchtung

Definition

Einrichtung, die aus Lichtquellen besteht, die für die Beleuchtung der Einfahrts- und Übergangsstrecken von Tunneln oder Galerien verwendet werden.

Funktion im Normalbetrieb

- Stellt in der Einfahrtsstrecke und der Übergangsstrecke eines Tunnels oder einer Galerie einen genügenden und graduellen Übergang, basiert auf den Helligkeitsniveaus in der Annäherungsstrecke sicher.
- Reduzierung der räumlichen und zeitlichen Fehladaptationen vermeidet unerwartete Reaktionen des Fahrzeuglenkers.

Funktion bei Betrieb im Ereignisfall

- Keine.

3.3 Brandnotbeleuchtung

Definition

Einrichtung, die aus punktuellen Lichtquellen besteht, die an den Seitenwänden auf der Seite der Notausgänge angebracht sind. Sind keine Notausgänge vorhanden oder gibt es ausnahmsweise Notausgänge auf beiden Seiten der Fahrbahn, so befinden sich die Lichtquellen auf beiden Seiten des Tunnels oder der Galerie.

Funktion im Normalbetrieb

- Keine.

Funktion bei Betrieb im Ereignisfall

- Sicherstellen einer ausreichenden visuellen Wahrnehmung des Fluchtwegs im Verkehrsraum

3.4 Optische Leiteinrichtung

Definition

Einrichtung, die aus punktuellen Lichtquellen besteht, die links und rechts der Fahrbahn entlang der Bankette im Randstein angebracht sind. Wenn keine Bankette vorgesehen sind, werden sie entlang der Unterseite der Seitenwände eingelassen.

Funktion im Normalbetrieb

- Sicherstellung einer ausreichenden visuellen Wahrnehmung im Innern eines Tunnels oder Galerie, indem die Begrenzung der Fahrbahn erkennbar wird.

Funktion bei Betrieb im Ereignisfall

- Sicherstellen einer ausreichenden visuellen Wahrnehmung des Fluchtwegs im Verkehrsraum.

3.5 Fluchtwegbeleuchtung

Definition

Einrichtung, bestehend aus punktuellen Lichtquellen, die in Sicherheitsstollen, Fluchtstollen oder Querverbindungen installiert sind.

Funktion im Normalbetrieb

- Die erste Leuchte hinter der Notausgangstüre ist immer eingeschaltet.
- Die weiteren Leuchten im Sicherheitsstollen sind ausgeschaltet.

Funktion bei Betrieb im Ereignisfall

- Sicherstellung einer ausreichenden Sichtbarkeit des Fluchtwegs ausserhalb des Fahr-raums (Querverbindung, Fluchtstollen, Sicherheitsstollen (SiSto)).
- Beim Öffnen der Notausgangstüre wird die Beleuchtung im Sicherheitsstollen eingeschaltet.

3.6 Strassenbeleuchtung

Definition

Einrichtung, bestehend aus punktuellen Lichtquellen, die auf den offenen Strecken installiert sind.

Funktion im Normalbetrieb

- Sicherstellung von ausreichenden Sichtbedingungen in Bereichen mit gleichzeitigem Auftreten von Fussgängern und Fahrzeugen.
- Antizipieren von Konfliktzonen.

Funktion bei Betrieb im Ereignisfall

- Keine.

3.7 Ergänzende passive Massnahmen

Definition

Ergänzende Massnahmen, welche einerseits die Sichtbedingungen im Verkehr verbessern und andererseits die Wirksamkeit der Beleuchtungsanlagen verstärken.

Funktion im Normalbetrieb

- Reduktion der die Sicht störenden Effekte, welche bei der Einfahrt in einen Tunnel oder eine Galerie auftreten, durch Verringerung der Helligkeit um das Portal herum und in der Annäherungsstrecke.
- Verbesserung der Sichtbedingungen im Innern von Tunneln und Galerien mit Reduktion des Energieverbrauches von Beleuchtungsanlagen.

Funktion bei Betrieb im Ereignisfall

- Verbesserung der Sichtbedingungen des Fluchtwegs im Fahrraum.

4 Bauwerkskategorie und Ausrüstungsklassen

Die Bauwerkskategorie dient dazu die erforderliche Ausrüstungsklasse der Beleuchtungsanlage im betrachteten Bauwerk zu bestimmen.

4.1 Bauwerkskategorie

Die Bauwerkskategorie wird aufgrund der folgenden Kriterien bestimmt:

- Objektgruppe;
- Verkehrsart;
- Verkehrsführung.

4.1.1 Kriterium Objektgruppe

Abb. 4.1 Die 2 zu unterscheidenden Objektgruppen für Beleuchtungsanlagen

Objektgruppe ²	Objekttyp ²
1) Tunnel	bergmännischer Tunnel Tagbautunnel
2) Galerie	Galerie

Tunnel

Ein Tunnel ist aus beleuchtungstechnischer Sicht ein komplett geschlossenes Bauwerk, dessen Beleuchtung vollständig künstlich ist.

Galerie

Eine Galerie, deren Öffnung gegen aussen kleiner als 1 m² pro Fahrstreifen und Meter Tunnellänge ist, wird beleuchtungstechnisch als Tunnel betrachtet. Im gegenteiligen Fall wird das Bauwerk als Galerie betrachtet.

Eine Galerie ist aus beleuchtungstechnischer Sicht ein teilweise geschlossenes Bauwerk, dessen Beleuchtung durch natürliches Tageslicht ergänzt wird. Eine Adaptionsbeleuchtung nach Norm ist nicht erforderlich. Eine Reduzierte Adaptionsbeleuchtung oder Verstärkung der Durchfahrtsbeleuchtung ist nur nötig, wenn das vorhandene Tageslicht nicht reicht. Dabei ist nur die fehlende Lichtstärke zu installieren.

Auf eine Tages Durchfahrtsbeleuchtung kann ganz verzichtet werden.

Aufeinander folgende Bauten

Falls auf einer kurzen Strecke mehrere Tunnel und Galerien aufeinander folgen, soll in der Planung auf eine Abstimmung der verwendeten Ausrüstungen und deren Funktionsweise geachtet werden.

Im zweiten angrenzenden Bauwerk kann auf eine Adaptionsbeleuchtung verzichtet werden, in Funktion der Länge der Galerie und dem Einfall des Tageslichts.

4.1.2 Kriterium Verkehrsart

Es werden zwei Verkehrsarten unterschieden:

- Motorfahrzeuge (umfasst nur Motorfahrzeuge);
- gemischt (umfasst Motorfahrzeuge und den Langsamverkehr).

² vgl. Richtlinie ASTRA 1B001 «Inventarobjekte» [5].

4.1.3 Kriterium Verkehrsführung

Für den motorisierten Verkehr werden zwei Typen der Verkehrsführung unterschieden:

- Richtungsverkehr;
- Gegenverkehr.

Folgende Verkehrsführungen werden unterschieden:

- Verkehrsführung mit ständigem Richtungsverkehr;
- Verkehrsführung mit temporärem Gegenverkehr;
- Verkehrsführung mit ständigem Gegenverkehr.

4.1.4 Betriebsarten des Bauwerks

Jede Art der Verkehrsführung ist in den folgenden beiden Betriebsarten zu betrachten:

- Normalbetrieb;
- Betrieb im Ereignisfall.

4.2 Ausrüstungsklassen

Eine Ausrüstungsklasse ist eine Kombination der verschiedenen Teilanlagen von Beleuchtungen, die im Kapitel 3 definiert sind.

Jede Bauwerkskategorie wird anhand von 4 Kriterien unterteilt, wie unten definiert:

- Länge des Bauwerks;
- Sichtbarkeit der Ausfahrt;
- Geschwindigkeit < 80 km/h;
- Stauhäufigkeit.

Diese Kriterien, welche die Tunnel spezifizieren, bestimmen die zu installierenden Teilanlagen der Beleuchtungsanlage.

4.2.1 Kriterium Länge des Bauwerks

Die Gesamtlänge des Bauwerks wird berücksichtigt.

Für Tunnel mit abgeschrägten Portalen, wird die Länge ab dem Punkt gemessen, an dem alle Fahrbahnen komplett überdeckt sind.

Wenn die Länge des Bauwerks innerhalb von 25 m des Grenzwerts zwischen zwei Längenklassen liegt, soll die Ausrüstungsklasse für beide Längenklassen bestimmt werden. Falls das Ergebnis der Auswertung zu einer Änderung der Ausrüstungsklasse führt, ist diese zu begründen.

4.2.2 Kriterium Sichtbarkeit der Ausfahrt

Es wird berücksichtigt, ob die Ausfahrt des Bauwerks sichtbar ist oder nicht.

Die Ausfahrt wird als «sichtbar» bezeichnet, wenn die Ausfahrt aus einer Distanz vor der Einfahrt, die mindestens der Anhaltestrecke entspricht, vollständig sichtbar ist. Siehe Abb. 4.2.

Die Ausfahrt wird als «nicht sichtbar» bezeichnet, wenn die Ausfahrt aus einer Distanz vor der Einfahrt, die mindestens der Anhaltestrecke entspricht, nicht oder nur teilweise sichtbar ist.

Richtwerte für die anzunehmende Anhaltestrecke in Abhängigkeit von Strassentyp, Gefälle und Richtgeschwindigkeit finden sich in der Norm SN 640551-1 [7].

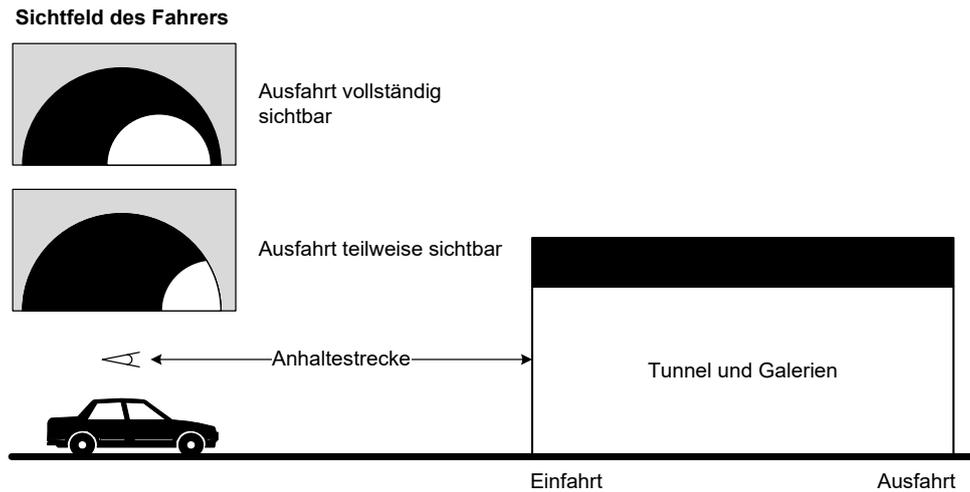


Abb. 4.2 Kriterium Sichtbarkeit der Ausfahrt.

4.2.3 Kriterium Geschwindigkeit < 80 km/h

Die zulässige Höchstgeschwindigkeit im Objekt ist < 80 km/h oder ≥ 80 km/h.

4.2.4 Kriterium Stauhäufigkeit

Staus im Innern des Bauwerks sind häufig. Staus werden als häufig bezeichnet, wenn sie täglich oder mehrmals pro Woche auftreten.

4.3 Zusammenfassung

Die 5 zu berücksichtigten Bauwerkskategorien lauten wie folgt:

Abb. 4.3 Die 5 Kategorien, welche bei der Beleuchtung von Tunneln und Galerien zu berücksichtigen sind

Bauwerkskategorie			Ausrüstungsklasse Bemerkung
Objektgruppe	Verkehrsart	Verkehrsführung	
1) Tunnel	motorisierter Verkehr	Richtungsverkehr	Vgl. 4.3.1
2) Tunnel	motorisierter Verkehr	Gegenverkehr	Vgl. 4.3.2
3) Tunnel	gemischter Verkehr	Richtungs- und Gegenverkehr	Vgl. 4.3.3
Objektgruppe	Öffnungsfläche gegen aussen		
4) Galerie	< 1 m ² pro Fahrstreifen und Meter Länge		wird wie ein Tunnel behandelt
5) Galerie	> 1 m ² pro Fahrstreifen und Meter Länge		spezifische Untersuchung

Die Merkmale der Ausrüstungsklassen für jedes Bauwerk sind in den folgenden Tabellen definiert:

4.3.1 Bauwerkskategorie: Tunnel – motorisierter Verkehr – Richtungsverkehr

Abb. 4.4 Kategorie «Tunnel – motorisierter Verkehr – Richtungsverkehr»: Unterteilung der Tunnel und Galerien bzw. Einteilung in Ausrüstungsklassen

Länge des Bauwerks [m]	Sichtbarkeit der Ausfahrt	Geschwindigkeit < 80 km/h	Stauhäufigkeit	Ausrüstungsklassen
< 100	-	-	-	11
	ja	-	-	12
100-149	nein	ja	-	12
		nein	nein	12
		nein	ja	13
150-199	-	-	-	13
200-299	-	-	nein	14
			ja	15
≥ 300	-	-	-	16

Abb. 4.5 Kategorie «Tunnel – motorisierter Verkehr – Richtungsverkehr»: Eigenschaften der Ausrüstungsklassen

Teilanlage	Ausrüstungsklassen					
	11	12	13	14	15	16
Adaptationsbeleuchtung	-	-	-	-	x ¹	x
Gegeneinfahrtsbeleuchtung ¹	-	-	-	x ²	x ²	x ²
Reduzierte Adaptationsbeleuchtung oder Verstärkung der Durchfahrtsbeleuchtung	-	-	x	x	-	-
Durchfahrtsbeleuchtung Tag und Nacht	-	-	-	x	x	x
Durchfahrtsbeleuchtung Tag	-	x	x	-	-	-
Optische Leiteinrichtung	-	x	x	x	x	x
Brandnotbeleuchtung	-	-	-	-	-	x
Fluchtwegbeleuchtung	-	-	-	-	-	x

Legende

x vorzusehende Ausrüstung.

- nicht notwendige Ausrüstung.

1. Die Ausrüstung mit Leuchtkörper ist entsprechend der Tunnellänge 200-299 m zu überprüfen.

2. Adaptationsbeleuchtung in Gegenrichtung des gleichen Typs wie bei der Adaptationsbeleuchtung im Gegenverkehr, wenn die Verkehrsführung mit Gegenverkehr am Tag an mehr als 20 Tagen pro Jahr angewandt wird.

4.3.2 Bauwerkskategorie: Tunnel – motorisierter Verkehr – Gegenverkehr

Abb. 4.6 Kategorie «Tunnel – motorisierter Verkehr – Gegenverkehr»: Unterteilung der Tunnel und Galerien bzw. Einteilung in Ausrüstungsklassen

Länge des Bauwerks [m]	Sichtbarkeit der Ausfahrt	Geschwindigkeit < 80 km/h	Stauhäufigkeit	Ausrüstungsklassen
< 100	-	-	-	21
	ja	-	-	22
100-149	nein	ja	-	22
		nein	nein	22
	ja	nein	ja	23
		ja	ja	23
150-199	-	-	-	23
200-299	-	-	nein	24
			ja	25
≥ 300	-	-	-	26

Abb. 4.7 Kategorie «Tunnel – motorisierter Verkehr – Gegenverkehr»: Eigenschaften der Ausrüstungsklassen

Teilanlage	Ausrüstungsklassen					
	21	22	23	24	25	26
Adaptationsbeleuchtung	-	-	-	-	x ¹	x
Gegeneinfahrtsbeleuchtung	-	-	-	-	-	-
Reduzierte Adaptationsbeleuchtung oder Verstärkung der Durchfahrtsbeleuchtung	-	-	x	x	-	-
Durchfahrtsbeleuchtung Tag und Nacht	-	-	-	x	x	x
Durchfahrtsbeleuchtung Tag	-	x	x	-	-	-
Optische Leiteinrichtung	-	x	x	x	x	x
Brandnotbeleuchtung	-	-	-	-	-	x
Fluchtwegbeleuchtung	-	-	-	-	-	x

Legende

x vorzusehende Ausrüstung.

- nicht notwendige Ausrüstung.

1. Die Ausrüstung mit Leuchtkörper ist entsprechend der Tunnellänge 200-299 m zu überprüfen.

4.3.3 Bauwerkskategorie: Tunnel – gemischter Verkehr – Richtungs- und Gegenverkehr

Abb. 4.8 Kategorie «Tunnel – gemischter Verkehr – Richtungs- und Gegenverkehr»: Unterteilung der Tunnel und Galerien bzw. Einteilung in Ausrüstungsklassen

Länge des Bauwerks [m]	Sichtbarkeit der Ausfahrt	Ausrüstungsklassen
< 25	-	31
25-149	ja	32
	nein	33
150-199	-	33
200-299	-	34
≥ 300	-	35

Abb. 4.9 Kategorie «Tunnel – gemischter Verkehr – Richtungs- und Gegenverkehr»: Eigenschaften der Ausrüstungsklassen

Teilanlage	Ausrüstungsklassen				
	31	32	33	34	35
Adaptationsbeleuchtung	-	-	-	x ¹	x
Gegeneinfahrtsbeleuchtung ¹	-	-	-	x ²	x ²
Reduzierte Adaptationsbeleuchtung oder Verstärkung der Durchfahrtsbeleuchtung	-	-	x	-	-
Durchfahrtsbeleuchtung Tag und Nacht	-	x	x	x	x
Optische Leiteinrichtung	-	-	x	x	x
Brandnotbeleuchtung	-	-	-	-	x
Fluchtwegbeleuchtung	-	-	-	-	x

Legende

- x vorzusehende Ausrüstung.
 - nicht notwendige Ausrüstung.
1. Die Ausrüstung mit Leuchtkörper ist entsprechend der Tunnellänge 200-299 m zu überprüfen.
 2. Adaptationsbeleuchtung in Gegenrichtung des gleichen Typs wie bei der Adaptationsbeleuchtung im Gegenverkehr, wenn die Verkehrsführung mit Gegenverkehr am Tag an mehr als 20 Tagen pro Jahr angewandt wird.

5 Eigenschaften der Beleuchtungsanlagen

5.1 Allgemein

5.1.1 Kriterien für die Wahl der Ausrüstungen

Die Kriterien für die Wahl der Ausrüstung, insbesondere der Leuchten, basieren auf einer techno-ökonomischen Analyse über einen Lebenszyklus von 15 Jahren.

Diese Analyse soll folgende Punkte berücksichtigen:

- installierte Leistung;
- auf dem Markt verfügbare Leuchtmittel;
- lichttechnische Daten der Leuchten;
- Standardisierung der Komponenten der Leuchten;
- Steuerungsprinzip der Anlage;
- Energieverbrauch;
- Lebensdauer der Ausrüstung;
- Investitionskosten;
- Betriebskosten;
- Unterhaltskosten;
- Kosten des Verkehrsmanagements für den Unterhalt.

5.1.2 Konzipierung von Beleuchtungsanlagen

Bei der Projektierung (Montage und Anordnung) muss die Anlage so konzipiert sein, dass bei Arbeiten bezüglich Instandhaltung, Wartung und Erneuerung der Ausrüstung im Verkehrsraum die Beeinträchtigung des Verkehrs auf ein Minimum limitiert wird.

Aus diesem Grund muss berücksichtigt werden, dass die Anlagen modular, mit funktionalen und materiellen Trennungen pro Röhre und Teilanlage konzipiert werden.

5.1.3 Auslegung der Beleuchtungsanlagen

Bestimmung der Tunnelklasse (gemäß [6])

- Für die Bestimmung der Tunnelklasse sind die netzweit abgestimmten Verkehrsprognosen des ASTRA zu verwenden.

Leuchtdichte

- Die Längsgleichmässigkeit mit den projektabhängigen Vorgaben muss gewährleistet werden.

Alterungsfaktor

- Für den Alterungsfaktor sind die Angaben des Produkthe Herstellers zu verwenden. Falls vorhanden, ist für die Kompensation der Leuchtenalterung (CLO) der Wert 1 anzuwenden.

Betriebsfaktor (Verschmutzungsfaktor)

- Für den Betriebsfaktor ist 0.85 als maximaler Verschlechterungsfaktor zu verwenden.

Wartungsfaktor

- Der Wartungsfaktor ist das Produkt aus dem Alterungsfaktor und dem Betriebsfaktor. Dieser Wert ist für die Beleuchtungsdimensionierung zu verwenden.

5.2 Eigenschaften der Durchfahrtsbeleuchtung

5.2.1 Anordnung

Die Anordnung der Leuchten soll so vorgesehen werden, dass die Fahrbahn auf ihrer ganzen Breite (Fahrstreifen, Pannestreifen, Bankett) und die Seitenwände bis auf eine Höhe von 2 m beleuchtet wird. Über 2 m ist, ausser unter besonderen Umständen, keine Beleuchtung erforderlich. Die Blendung der Benutzer soll so weit wie möglich vermieden werden. Dies gilt insbesondere bei Kurven. Bei der Positionierung der Leuchten sind die Blendung und die betrieblichen Anforderungen zu berücksichtigen (z.B. die Zugangsmöglichkeit mit einer einspurigen Sperrung).

Die Durchfahrtsbeleuchtung ist auf der ganzen Länge des Tunnels installiert.

5.2.2 Lichttechnische Anforderungen

Die Durchfahrtsbeleuchtung muss den lichttechnischen Anforderungen der Norm SN 640551-1 [6] (Innenstrecke) entsprechen. Die Dimensionierung der Durchfahrtsbeleuchtung erfolgt mit der maximal zulässigen Geschwindigkeit und der maximalen Verkehrsdichte unter Verwendung der Tunnelklasse (1 bis 6).

Durchfahrtsbereiche mit sehr hellen, gleichmässigen Seitenwänden, deren Leuchtdichte mindestens dem 1.5-fachen derjenigen der Fahrbahn entspricht, dürfen mit 30 % tieferen Werten als in der Norm SN 640551-1 [6] gefordert betrieben werden.

In Tunneln und Galerien, welche Konfliktzonen enthalten (Einfahrten/Ausfahrten/Abzweigungen), müssen die Niveaus erhöht werden (in der Regel um 30%). Die Tag-Durchfahrtsbeleuchtung muss gemäss der Norm SN 640551-1 [6] geplant und dimensioniert werden.

Die Messmethoden und die Methoden zur Bestimmung der Qualitätsanforderungen sind in der Norm SN 640551-3 [8] beschrieben.

5.2.3 Stromversorgung

Die Leuchten, welche am Notstromnetz angeschlossen sind, entsprechen der Notbeleuchtung, deren Helligkeitsniveau mindestens 10 % der installierten Beleuchtung entspricht. Für Bauwerke mit einer Länge von weniger als 600 m können die Leuchten am normalen Netz angeschlossen werden.

5.2.4 Steuerung

Die Durchfahrtsbeleuchtung hat grundsätzlich folgende Betriebszustände, wobei es bei Tag und Nacht unterschiedliche Helligkeitsniveaus gibt, welche der «Reklassifizierung» Rechnung tragen:

- 1) Aus;
- 2) Notbeleuchtung (Minimum);
- 3) Nacht mit 2 Helligkeitsniveaus gemäss Reklassifizierung;
- 4) Tag mit 3 Helligkeitsniveaus gemäss Reklassifizierung und pro mögliche Höchstgeschwindigkeit (automatisch und manuell geschaltet);
- 5) Ereignisfall (Maximum).

Zusätzlich ist der Alterungs- und Betriebsfaktor (Verschmutzung) in der Steuerung vorzusehen, z.B. durch eine einfache Schaltung/Programmierung durch das Betriebspersonal. Das Niveau Notbeleuchtung (Minimum) ist dauernd eingeschaltet; Dieses Niveau ist im Falle eines Ausfalls des normalen Stromnetzes (degradierte Betriebsart) eingeschaltet. Die Regelung der Beleuchtungsstärke erfolgt in Stufen oder gedimmt.

Normalbetrieb

Die Tunnelklassen, wie in der Norm SN 640551-1 [6] beschrieben, ergeben sich aus verschiedenen Parametern, im Speziellen demjenigen der Verkehrsdichte (Anzahl Fahrzeuge per Stunden). Das Bauwerk muss aufgrund der Verkehrsdichte in drei Grenzwerte von Tabelle 1 (Kapitel 9.4) von Norm [6] reklassifiziert werden (Helligkeitsniveaus).

Die zulässige Geschwindigkeit ist ebenfalls ein Parameter, der in die Bestimmung der Leuchtdichte eingeht.

Die Tag & Nacht-Umschaltung erfolgt über die Leuchtdichtemessung, durch eine astronomische Zeitschaltuhr oder durch das Rundsteuersignal des Netzbetreibers. Die Reduktion in der Nacht über die Zeitschaltuhr kann auch vom Schwerverkehr abhängig gemacht werden.

Die Steuerung der Helligkeitsniveaus bei Tag & Nacht erfolgt über, die Messung der Verkehrsstärke und/oder durch eine Zeitschaltuhr gemäss einer Standard-Ganglinie und pro Röhre individuell.

Im Falle eines Fehlers eines Leuchtdichtesensors wird die Durchfahrtsbeleuchtung durch den noch funktionierenden Leuchtdichtesensor gesteuert.

Betrieb im Ereignisfall

Das maximale Niveau der Beleuchtung wird in allen Röhren gemäss Reflexmatrix eingeschaltet. Die Reklassifizierung und Änderung der Leuchtdichte in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit gilt nicht bei einem Ereignisfall.

Betrieb bei einer Strommangellage (OSTRAL)

Bei einer Strommangellage und einer Kontingenzierung auf der Nationalstrasse müssen zwei Szenarien (BG 4) gemäss [1] bei den Tunneln geschaltet werden:

1) Szenarium 1 (80 km/h): Mit Reduktion von Geschwindigkeit und Beleuchtung:

Die zulässige Geschwindigkeit wird um eine Stufe reduziert (z.B. von 100 km/h auf 80 km/h). Gleichzeitig wird die Durchfahrtsbeleuchtung Tag um 50% reduziert.

2) Szenarium 2 (60 km/h): Mit Minimaler Geschwindigkeit und Beleuchtung:

Die zulässige Geschwindigkeit wird auf 60 km/h geschaltet oder vor Ort signalisiert. Gleichzeitig wird die Durchfahrtsbeleuchtung Tag und Nacht auf Nacht reduziert geschaltet.

5.3 Eigenschaften der Adaptationsbeleuchtung

5.3.1 Anordnung

Die Anordnung der Leuchten muss so sein, dass sie ausschliesslich die Fahrbahn beleuchten. Die Adaptationsbeleuchtung wird an der Einfahrt von Tunneln und Galerien installiert.

Eine Gegeneinfahrtsbeleuchtung kann auch in Richtungsverkehr geführten Tunneln installiert werden, wenn die Anzahl der Betriebstage mit Gegenverkehr 20 pro Jahr übersteigt.

Kurze Tunnel können mit einer reduzierten Adaptationsbeleuchtung oder nur mit einer verstärkten Durchfahrtsbeleuchtung ausgerüstet werden.

Die Anordnung der Zonen der Adaptationsbeleuchtung in Abhängigkeit von der Verkehrsführung ist in Abb. 5.1 beschrieben.

5.3.2 Lichttechnische Anforderungen

Die Adaptationsbeleuchtung muss den lichttechnischen Anforderungen der Norm SN 640551-1 [6] (Innenstrecke) entsprechen. Die Dimensionierung der Adaptationsbeleuchtung erfolgt mit der maximal zulässigen Geschwindigkeit, der maximalen Verkehrsdichte unter Verwendung der Tunnelklasse (1 bis 5) und der Art der Beleuchtung (symmetrisch, asymmetrisch, Gegenstrahl).

Die Planung der Adaptationsbeleuchtung muss entsprechend der Norm SN 640551-2 [7] durchgeführt werden.

Die Adaptationsbeleuchtung muss als Gegenstrahlbeleuchtung ausgeführt werden, um den Energieverbrauch zu minimieren.

Das zu installierende Leuchtdichte-Maximum richtet sich nach den über das Jahr gemessenen kumulierten L_{20} -Frequenzkurven am Portal.

Die Messung des L_{20} -Niveaus ist durch eine unabhängige Stelle durchzuführen.

Die Messmethoden und die Qualitätsanforderungen sind in der Norm SN 640551-3 [8] beschrieben.

Das zu installierende Leuchtdichte-Maximum richtet sich nach den über das Jahr berechneten kumulierten L_{20} -Frequenzkurven am Portal. Dieses Berechnungsergebnis ist mit den effektiven Leuchtdichte-Messungen an den Portalen über das Jahr hinweg zu vergleichen. Massgeblichen Differenzen sind zu analysieren und entsprechende Massnahmen zu definieren, damit eine korrekte Steuerung der Adaptationsbeleuchtung über den Sensor sichergestellt ist. Die Position, die Ausrichtung und die Kalibration des Sensors sind dabei zu überprüfen.

5.3.3 Stromversorgung

Die Versorgung der Adaptationsbeleuchtung wird über das normale Netz realisiert.

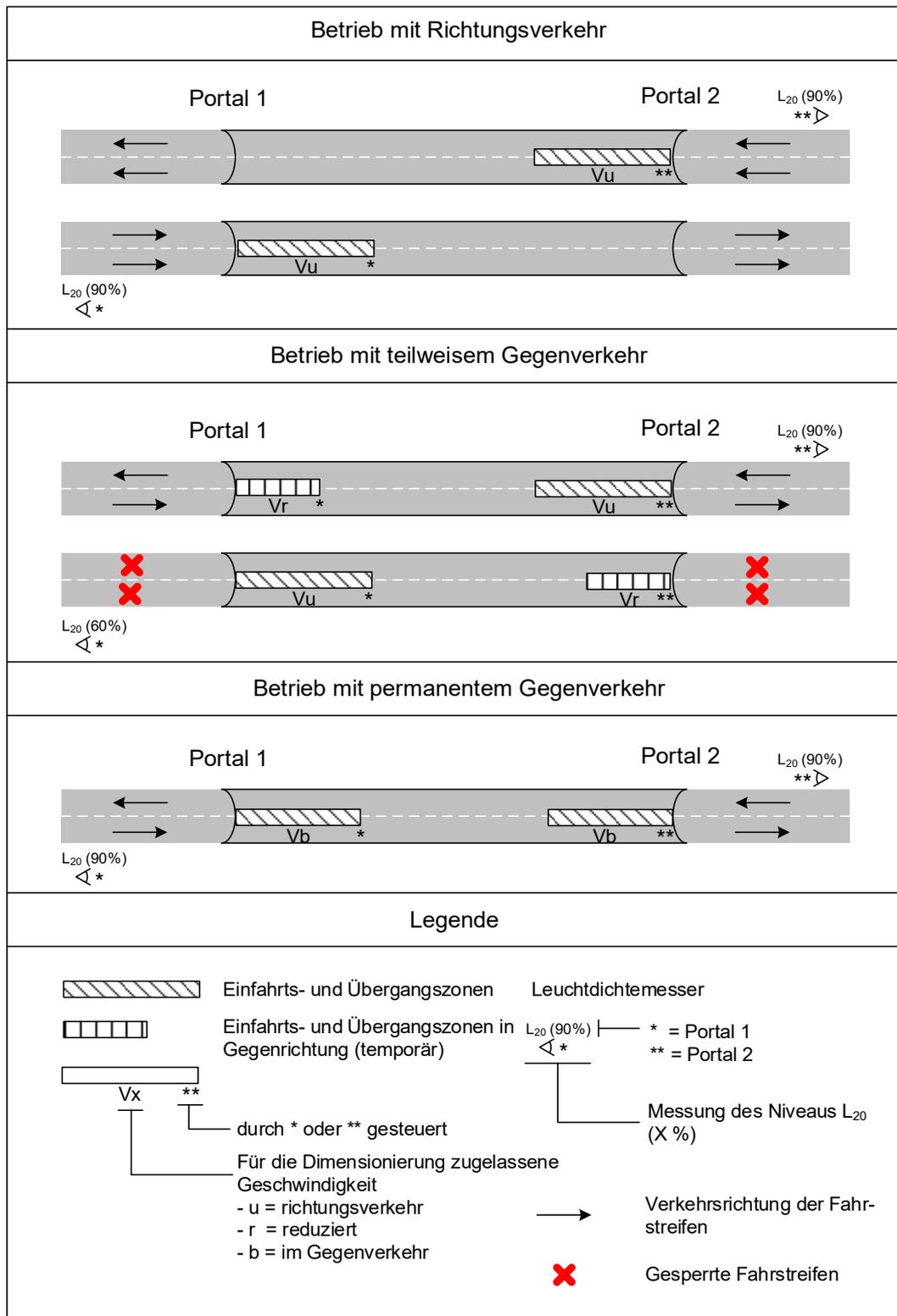


Abb. 5.1 Anordnung der Adaptationszonen in Abhängigkeit der Verkehrsführung.

5.3.4 Steuerung

Normalbetrieb

Die Tunnelklassen, wie in der Norm SN 640551-1 [6] beschrieben, ergeben sich aus verschiedenen Parametern, im Speziellen demjenigen der Verkehrsdichte (Anzahl Fahrzeuge per Stunden). Das Bauwerk muss aufgrund der Verkehrsdichte in drei Grenzwerte von Tabelle 1 (Kapitel 9.4) von Norm [6] reklassifiziert werden.

Die zulässige Geschwindigkeit ist ebenfalls ein Parameter, der in die Bestimmung der Leuchtdichte der Einfahrtstrecke eingeht.

Im Normalbetrieb wird die Adaptationsbeleuchtung aufgrund der L_{20} -Messung des entsprechenden Portals eingestellt, die mit dem Leuchtdichtepegel des einzuhaltenden Eingangsbereichs verglichen wird, der je nach Tunnelklasse und der tatsächlich zulässigen Geschwindigkeit variiert.

Für die Verkehrsführung mit temporärem Gegenverkehr wird die Adaptationsbeleuchtung des in Gegenrichtung verwendeten Portals gemäss dem Leuchtdichtesensor der anderen Röhre geregelt.

Falls ein Leuchtdichtesensor ausfällt, wird die Adaptationsbeleuchtung des betroffenen Portals entsprechend den Werten des anderen Portals geregelt.

Fallen beide Leuchtdichtesensoren aus, wird die Adaptationsbeleuchtung auf Tag/Nacht-Informationen oder zeitabhängig gesteuert.

Die Regelung der Beleuchtungsstärke erfolgt in Stufen oder gedimmt.

Betrieb im Ereignisfall

Die Lichtstärke der aktuellen Adaptationsbeleuchtung wird bei einem Ereignis nicht verändert.

Betrieb bei einer Strommangellage (OSTRAL)

Bei einer Strommangellage und einer Kontingentierung auf der Nationalstrasse müssen zwei Szenarien (BG 4) gemäss [1] bei den Tunneln geschaltet werden:

1) Szenarium 1 (80 km/h): Mit Reduktion von Geschwindigkeit und Beleuchtung:

Die zulässige Geschwindigkeit wird um eine Stufe reduziert (z.B. von 100 km/h auf 80 km/h). Gleichzeitig wird die Adaptionsbeleuchtung ab 50% blockiert, so dass die oberen Stufen nicht mehr geschaltet werden.

2) Szenarium 2 (60 km/h): Mit Minimaler Geschwindigkeit und Beleuchtung:

Die zulässige Geschwindigkeit wird auf 60 km/h geschaltet oder vor Ort signalisiert. Gleichzeitig wird die Adaptionsbeleuchtung ganz ausgeschaltet.

5.4 Eigenschaften der Brandnotbeleuchtung

5.4.1 Anordnung

Alle 50 m ist ein Element der Brandnotbeleuchtung auf der Seite der Notausgänge vorgesehen. Falls keine Notausgänge vorhanden sind oder sie sich auf beiden Seiten der Fahrbahn befinden, wird die Brandnotbeleuchtung auf beiden Seiten der Fahrbahn installiert.

Die Leuchten der Brandnotbeleuchtung werden in einer Höhe von ca. 0.5 m über dem Bankett angebracht.

Tunnel und Galerien mit einer Länge von weniger als 300 m werden nicht mit einer Brandnotbeleuchtung ausgestattet.

Falls die optische Leiteinrichtung (siehe Kapitel 5.5) eine ausreichende Sichtbarkeit des Fluchtwegs ermöglicht und das gleiche Sicherheitsniveau garantiert, kann von der Installation einer Brandnotbeleuchtung abgesehen werden (z. B. wenn die Leuchtmodule beide Beleuchtungsarten kombinieren).

5.4.2 Lichttechnische Anforderungen

Vgl. Kap. 6.4.

5.4.3 Stromversorgung

Die Versorgung der Brandnotbeleuchtung erfolgt über das Notstromnetz.

Die Versorgung der Brandnotbeleuchtung muss sicherstellen, dass beim Ausfall einer Leuchte, der Rest der Teilanlage weiter funktioniert.

5.4.4 Steuerung

Normalbetrieb

Die Brandnotbeleuchtung ist im Normalbetrieb ausgeschaltet.

Betrieb im Ereignisfall

Die Brandnotbeleuchtung wird im Ereignisfall gemäss Reflexmatrix eingeschaltet.

5.5 Eigenschaften der optischen Leiteinrichtung

5.5.1 Anordnung

Die optische Leiteinrichtung besteht aus punktuellen Lichtquellen, Leuchtmodule genannt.

Der Aufbau der Leuchtmodule erfolgt links und rechts der Fahrbahn entlang der Bankette im Randstein oder nahe an der Fahrbahn angebracht. Die optische Leiteinrichtung ist auf der ganzen Länge des Tunnels oder der Galerie installiert.

Die Anordnung der optischen Leiteinrichtung in Abhängigkeit der Tunnelkonfiguration ist in Abb. 5.2 dargestellt.

Für Tunnel mit einer Länge von weniger als 300 m werden die Leuchtmodule auf der ganzen Länge alle 12.5 m angebracht.

Die Leuchtmodule müssen aus beiden Fahrtrichtungen sichtbar sein.

Falls die optische Leiteinrichtung statt der Brandnotbeleuchtung verwendet wird (z. B. wenn die Leuchtmodule beide Beleuchtungsarten kombinieren), muss sichergestellt werden, dass beim Ausfall eines Leuchtmoduls der Rest der Teilanlage weiter funktioniert.

5.5.2 Lichttechnische Anforderungen

Die Leuchtdichte der optischen Leiteinrichtung muss die Sichtbarkeit von aussen sicherstellen und gleichzeitig ein Blenden im Innern des Bauwerks vermeiden.

5.5.3 Stromversorgung

Die optische Leiteinrichtung wird ausschliesslich über die Notstromversorgung gespeist. Bei Tunnel mit einer Länge von weniger als 300 m, können die Leuchten über das Normalnetz versorgt werden.

5.5.4 Steuerung

Die optische Leiteinrichtung ist im Tunnel ständig eingeschaltet. Dabei sind zwei Helligkeitsstufen vorgesehen:

- 1) reduziert;
- 2) maximal.

Normalbetrieb

Im Normalbetrieb ist die reduzierte Helligkeit ständig eingeschaltet.

Betrieb im Ereignisfall

Das maximale Niveau der Beleuchtung wird gemäss Reflexmatrix eingeschaltet.

Bei Verlust des Steuersignals wird das maximale Niveau der Beleuchtung für den betroffenen Teil eingeschaltet.

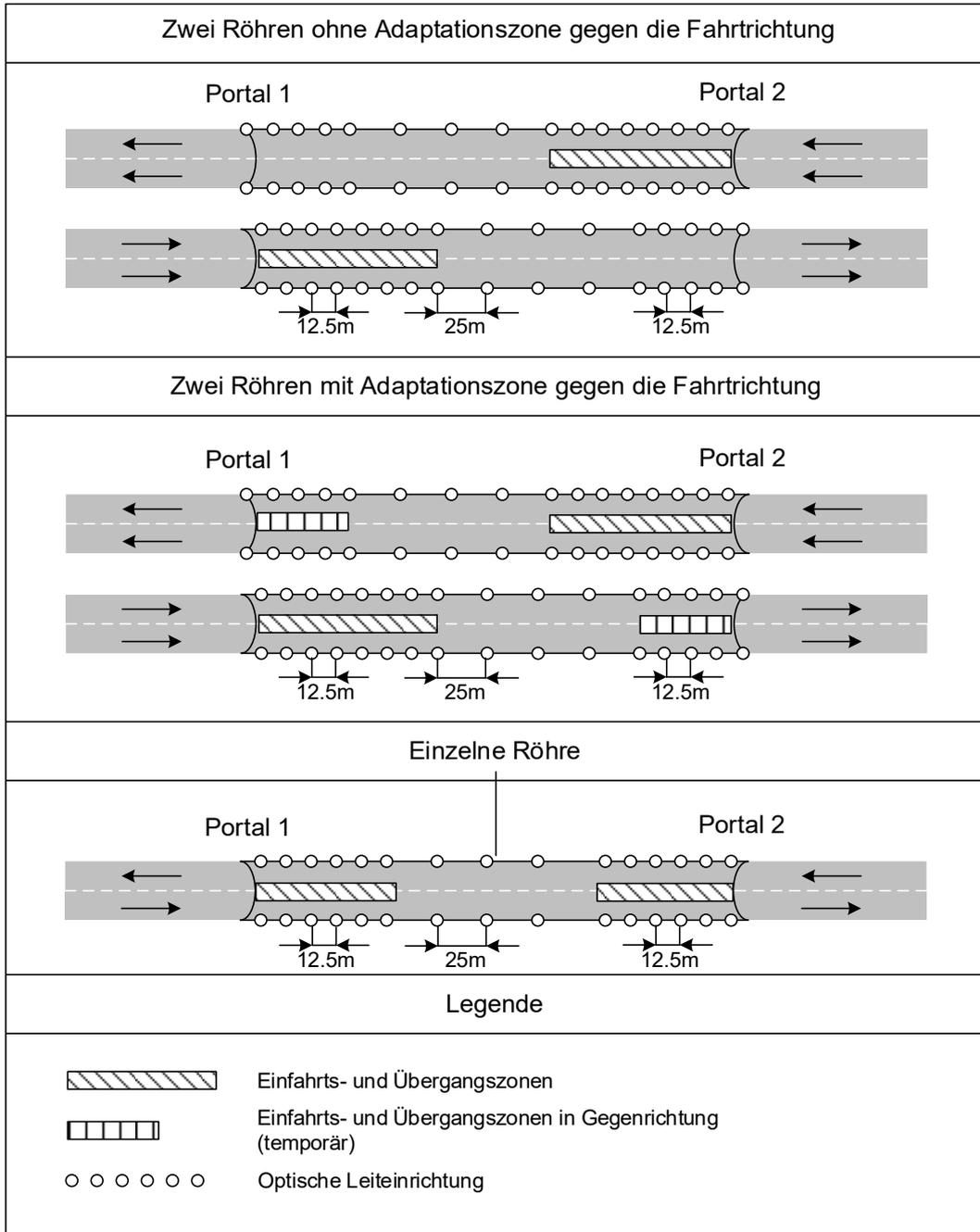


Abb. 5.2 Anordnung der optischen Leiteinrichtung in Abhängigkeit von der Tunnelkonfiguration.

5.6 Eigenschaften der Fluchtwegbeleuchtung

5.6.1 Anordnung

Die Fluchtwege verbinden die Notausgänge aus dem Verkehrsraum mit gesicherten Sammelpunkten durch Querverbindungen, Sicherheitsstollen oder Fluchtstollen.

Die eingebaute Fluchtwegbeleuchtung soll eine ausreichende Beleuchtung auf Bodenniveau entlang dem gesamten Fluchtweg und dessen Regelungsbreite sicherstellen.

5.6.2 Lichttechnische Anforderungen

Die mittlere horizontale Beleuchtungsstärke auf der Mindestbreite des Fluchtwegs muss 3 Lux in den Sicherheitsstollen, respektiv 20 Lux in den Querverbindungen und Fluchtstollen betragen. Gemessen wird dies in der Mitte des Fluchtwegs 80 cm über dem Boden.

5.6.3 Stromversorgung

Die Fluchtwegbeleuchtung wird an das Normalnetz und das Notnetz angeschlossen. Beim Normalnetzausfall muss eine Beleuchtungsstärke von mindestens 1 Lux, unter den gleichen Bedingungen wie oben beschrieben, sichergestellt werden.

Die erste Leuchte nach der Notausgangstüre (in der Fluchtwegrichtung) ist am Notnetz angeschlossen und dauernd eingeschaltet.

5.6.4 Steuerung

Der Teil der Fluchtwegbeleuchtung der Querverbindungen, welche an die Notstromversorgung angeschlossen ist, ist permanent eingeschaltet.

Der Teil der Fluchtwegbeleuchtung der Querverbindungen, welcher an das Normalnetz angeschlossen ist, wird im Ereignisfall gemäss Reflexmatrix oder manuell vor Ort eingeschaltet.

Die Fluchtwegbeleuchtung in den Sicherheitsstollen und in den Fluchtstollen wird im Ereignisfall gemäss Reflexmatrix oder manuell vor Ort eingeschaltet.

5.7 Eigenschaften der Strassenbeleuchtung

5.7.1 Anordnung

Generell sind Anlagen zur Strassenbeleuchtung nicht zugelassen. Indessen können offene Strecken mit Konfliktzonen wie, Anschlüsse, Mittelstreifenüberleitung, Fussgängerstreifen, und Stellen mit Fussgängerverkehr (Rastplätze, Raststätten, Warteräume und Abstellplätze für den Schwerverkehr) mit Strassenbeleuchtungen ausgerüstet werden.

In bereits beleuchteten, urbanen Zonen muss die Installation von Strassenbeleuchtungen mit den lokalen Akteuren koordiniert und in ein übergeordnetes Beleuchtungskonzept integriert werden.

5.7.2 Lichttechnische Anforderungen

Beleuchtungsanlagen auf offener Strecke müssen den Normen für Strassenbeleuchtungen entsprechen (SN R 13201-1 [10], SN EN 13201-2 [11], SN EN 13201-3 [12], SN EN 13201-4 [13] SN EN 13201-5 [14], SN EN 60598-2-3 und ESTI 244.

Für Fussgängerpassagen ist die Richtlinie SLG 202 anzuwenden [15].

5.7.3 Stromversorgung

Die Strassenbeleuchtung wird aus dem Normalnetz versorgt.

5.7.4 Steuerung

Die Strassenbeleuchtung wird nur nachts eingeschaltet. Dieser Befehl wird durch die Anlagen der Nationalstrassen oder durch Dritte erteilt.

In urbanen, bereits beleuchteten Zonen muss die Steuerung der Strassenbeleuchtung mit den lokalen Akteuren koordiniert und in ein übergeordnetes Beleuchtungskonzept integriert werden.

5.8 Ergänzende passive Massnahmen

Beispiel von Massnahmen zur Reduktion der die Sicht störenden Effekte, welche bei der Einfahrt in ein Bauwerk auftreten:

- Rasterdecke;
- Bepflanzung;
- dunklere Anstriche.

Beispiel von Massnahmen zur Verbesserung der Sichtbedingungen im Innern von Bauwerken:

- Anstrich der Seitenwände.

Beispiel von Massnahmen zur Verbesserung der Sichtbarkeit des Fluchtwegs im Fahrraum:

- Anstrich der Seitenwände und Sicherheitsausrüstungen.

5.9 Stromversorgung der Steuerung

Die Steuerung aller Installationen wird an das Notnetz angeschlossen.

6 Ausrüstungen

6.1 Allgemein

- Schutzart: IP65
- Ein Ausfall des Leuchtmittels darf nicht dazu führen, dass die ganze Leuchte ersetzt werden muss.

6.2 Durchfahrtsbeleuchtung

- Lichtfarbe: Mind. 4'000 K
angeglichen an die Lichtfarbe der Adaptationsbeleuchtung
- Lichtausbeute: Mind. 100 lm/W
- Lebensdauer: Mind. 80'000 h flimmerfreie Nutzlebensdauer

6.3 Adaptationsbeleuchtung

- Lichtfarbe: Mind. 4'000 K
angeglichen an die Lichtfarbe der Durchfahrtsbeleuchtung
- Lichtausbeute: Mind. 100 lm/W
- Lebensdauer: Mind. 80'000 h flimmerfreie Nutzlebensdauer

6.4 Brandnotbeleuchtung

- Das Leuchtmittel muss zuverlässig einschalten und sofort (in weniger als einer Sekunde) ihren vollen Lichtstrom abstrahlen.
- Lichtstrom: > 1000 lm.

6.5 Optische Leiteinrichtung

- Lichtfarbe: weiss, mind. 4'000 K
- Lichtstärke: $\geq 25 \text{ cd} \leq 100 \text{ cd}$ (bei 100 %)
- Lebensdauer: Mind. 80'000 h flimmerfreie Nutzlebensdauer
- Schutzart: IP68

6.6 Fluchtwegbeleuchtung

- Lebensdauer: Mind. 80'000 h flimmerfreie Nutzlebensdauer

6.7 Strassenbeleuchtung

- Lichtfarbe: Max. 4'000 K
angeglichen an die Lichtfarbe der angrenzenden Strassenbeleuchtungen
- Lichtausbeute: Mind. 100 lm/W
- Lebensdauer: Mind. 80'000 h flimmerfreie Nutzlebensdauer

6.8 Sensorik

6.8.1 Leuchtdichtesensor

Allgemein

Die Leuchtdichtesensoren müssen so vor den Portalen aufgestellt werden, dass sie eine optimale Sicht auf das Portal aufweisen (Vgl. [6]). Die an den Portalen gemessene Lichtstärke wird zur lokalen Steuerung der Adaptations-, Durchfahrts- und Strassenbeleuchtung genutzt.

- Für Galerien mit Tageslicht, wird ein Innensensor zur Optimierung der Steuerung montiert (Energie-Einsparung).
- Die Sensorik ist an das Normalnetz angeschlossen.

Messbereiche

Die Aussen-Leuchtdichtesensoren sind mit folgendem Messbereich ausgeführt:

- 0 - 10'000 cd/m²

Die Innen-Leuchtdichtesensoren sind mit folgendem Messbereich ausgeführt:

- 0 - 500 cd/m²

Messgenauigkeit : +/- 10%.

6.9 Zähler Verkehrsdichte und zugelassene Geschwindigkeit

Um Energieeinsparungen zu erreichen, verwendet die Beleuchtungsoptimierung die Funktion der Reklassifizierung des Tunnels und die Variation der zugelassenen Geschwindigkeit.

6.9.1 Verkehrsdichte

Die Tunnelklasse hängt von einem variablen Parameter ab: der Verkehrsstärke. Je tiefer die Tunnelklasse ist, desto geringer ist das erforderliche Helligkeitsniveau.

Die Reklassifizierung erfolgt auf der Grundlage der Verkehrsstärke. Je nach Projekt basiert die Verkehrsstärke auf statistischen Werten oder den aktuellen Messwerten.

Die Messung muss einen Wert bereitstellen, den die Verkehrsstärke pro Röhre darstellt.

6.9.2 Zugelassene Geschwindigkeit

Der in der SN 640551-1 [6] definierte Leuchtdichtegrenzwert für die Durchfahrts- und Adaptionsbeleuchtung ist nicht nur von der Tunnelklasse, sondern auch von der zulässigen Geschwindigkeit abhängig. Für die Dimensionierung ist die maximal zulässige Geschwindigkeit ausschlaggebend. Für den Betrieb (Steuerung) ist die Veränderung der zulässigen Geschwindigkeit in der Röhre zu berücksichtigen und der Schwellenwert für die Leuchtdichte entsprechend zu korrigieren.

Der Wert für die zulässige Geschwindigkeit in der Röhre muss der Beleuchtung zur Verfügung gestellt werden.

7 Betrieb und Unterhalt der Anlagen

Der Betrieb und die Erhaltungsplanung erfolgen gemäss [4]. Im Weiteren sind die folgenden Aspekte zu berücksichtigen.

7.1 Reparatur und Ersatz

Im Falle des Ausfalls eines Elements der Anlage wird aufgrund der minimalen Anforderungen entschieden, ob der Betrieb mit oder ohne Einschränkungen weitergeführt wird. Die minimalen Anforderungen sind im Dokument ASTRA 86053 [16] beschrieben.

7.2 Beobachtung

Das ASTRA erlaubt dem Betreiber, den Zustand der Anlage mit Hilfe einer dynamischen Tunnellichtmessung oder des L_{20} Verlaufs über ein Jahr zu verifizieren. Die Details einer dynamischen Tunnellichtmessung sind in der Dokumentation [17] beschrieben.

Weiter muss der Betreiber die L_{20} -Messungen mit den programmierten Werten der Steuerung vergleichen. Zu der Überprüfung gehört auch die Kontrolle der Position, die Ausrichtung und die Kalibrierung des L_{20} -Sensors.

Bei Differenzen oder Unstimmigkeiten sind diese mit dem ASTRA zu besprechen, damit die nötigen Korrekturen bestimmt werden können. Insbesondere:

- Korrektur der Helligkeit in der Beleuchtungssteuerung;
- Änderung der Reinigungsintervalle für die Tunnelreinigung;
- Anpassen der Parameter für die Adaptationsbeleuchtung gemäss den L_{20} -Messwerten.

7.3 Inspektionen (Erhaltungsplanung)

Die Adaptionsbeleuchtung und die Durchfahrtsbeleuchtung werden durch dynamische Messungen überprüft³. Diese Messungen müssen von einer unabhängigen Stelle durchgeführt werden. Sie werden bei der Abnahme einer neuen Anlage und in regelmässigen Abständen während des Betriebs durchgeführt, um die Leistung, Energiebedarf und korrekte Einstellung zu verifizieren.

Bei Bedarf sind die programmierten Werte der Steuerung mit den Messresultaten und der effektiven L_{20} -Messungen zu vergleichen. Bei Differenzen sind Korrekturmassnahmen zu definieren.

³ Dynamische Messung Tunnellichtmessung

Glossar

Begriff	Bedeutung
Adaptationsbeleuchtung	Einrichtung, die aus Lichtquellen besteht, die für die Beleuchtung der Einfahrts- und Übergangsstrecken von Tunneln oder Galerien verwendet werden.
Ausrüstungsklasse	Eine Ausrüstungsklasse ist eine Kombination der verschiedenen Teilanlagen von Beleuchtungen.
Bauwerkskategorie	Die Bauwerkskategorie dient dazu die erforderliche Ausrüstungsklasse der Beleuchtungsanlage im betrachteten Bauwerk zu bestimmen.
Beleuchtungsstärke <i>éclairage</i>	Die Beleuchtungsstärke bezeichnet den pro Flächeneinheit einfallenden Lichtstrom (Einheit: Lux [Lx]).
Brandnotbeleuchtung	Einrichtung, die aus punktuellen Lichtquellen besteht, die an den Seitenwänden auf der Seite der Notausgänge angebracht sind. Sind keine Notausgänge vorhanden oder gibt es ausnahmsweise Notausgänge auf beiden Seiten der Fahrbahn, so befinden sich die Lichtquellen auf beiden Seiten des Tunnels oder der Galerie.
CEN	Comité européen de normalisation – Europäisches Komitee für Normung
Durchfahrtsbeleuchtung	Einrichtung, bestehend aus Lichtquellen, die für die Beleuchtung der Fahrbahn eines Tunnels oder einer Galerie verwendet werden.
dynamische Tunnellichtmessung	Methode, um mit Hilfe eines rollenden Fahrzeugs die photometrischen Daten der Beleuchtung eines Tunnels unter Verkehr zu messen.
Ergänzende passive Massnahmen	Ergänzende Massnahmen, welche einerseits die Sichtbedingungen im Verkehr verbessern und andererseits die Wirksamkeit der Beleuchtungsanlagen verstärken.
Fluchtstollen	Stollen, der von einer Notausgangstür nach aussen führt.
Fluchtweg	Markierter Weg, der aus dem Fahrraum ins Freie führt. [SIA 197/2] Notgehweg (Begriff aus der «Richtlinie 2004/54/EG über Mindestanforderungen an die Sicherheit von Tunneln im transeuropäischen Strassennetz»)
Fluchtweg für Selbstrettung	Weg vom Standort eines Benutzers im Verkehrsraum bis an die Notausgangstür.
Fluchtwegbeleuchtung	Einrichtung, bestehend aus punktuellen Lichtquellen, die in Sicherheitsstollen, Fluchtstollen oder Querverbindungen installiert sind.
Gegeneinfahrtsbeleuchtung	Einfahrtsbeleuchtung am Ausgangsportal eines Tunnels mit Einrichtungsverkehr, falls die Tunnelröhre in Gegenverkehr benutzt wird.
Konfliktzonen	siehe SLG 202 Richtlinie – Öffentliche Beleuchtung
Langsamverkehr	Der Langsamverkehr umfasst alle Fortbewegungsarten, die auf Muskelkraft basieren: Fuss- und Veloverkehr, Wandern usw.
Leuchtdichte <i>luminance</i>	Die Leuchtdichte eines Objekts oder einer Quelle bezeichnet die durch ein Flächenelement in einer bestimmten Richtung ausgestrahlte Lichtstärke, welche auf die scheinbare Oberfläche dieses Elements relativ zu der Richtung bezogen ist (Einheit: Candela/m ² [Cd/m ²]).
Lichtstärke <i>intensité lumineuse</i>	Die Lichtintensität entspricht den pro Raumwinkeleinheit in einer gegebenen Richtung abgestrahlten Lichtstrom (Einheit: Candela [Cd]).
Lichtstrom <i>flux lumineux</i>	Der Lichtstrom ist die Lichtmenge, die pro Zeiteinheit emittiert wird (Einheit: Lumen [Lm]).
Notausgang	Ausgang, der auf einen geschützten Weg oder zu einem sicheren Ort führt. [AIPCR]
Notbeleuchtung	Die Notbeleuchtung soll in allen Tunnelstrecken ein Niveau von mindestens 10 % der installierten Leuchtdichte der Innenstrecke erreichen. Sie muss mit einer Notstromversorgung sichergestellt werden, wobei bei Ausfall des Netzes kein Unterbruch entstehen darf. Eine Notbeleuchtung für die Adaptationsbeleuchtung ist nicht erforderlich. [7]
Optische Leiteinrichtung	Einrichtung, die aus punktuellen Lichtquellen besteht, die links und rechts der Fahrbahn entlang der Bankette im Randstein eingelassen sind.
Querverbindung	Als Querverbindung werden Bauwerke bezeichnet, die zwei Tunnelröhren miteinander oder eine Tunnelröhre mit einem Sicherheitsstollen verbinden.
Räumliche Adaptationsprobleme	Räumliche Hell-dunkel-Adaptationsprobleme treten vor der Einfahrt in einen Tunnel oder eine Galerie auf. Dieser Effekt beruht auf einem für das Auge zu starken Kontrast zwischen dem Portal und der hellen Umgebung. Das Portal erscheint dem Fahrer als «schwarzes Loch».
Selbstrettung	Flucht aus einer Zone oder einer gefährlichen Situation durch den Tunnelbenutzer selbst, ohne professionelle Hilfe (Feuerwehr, Rettungsmannschaft, etc.) [PIARC].
SIA	Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein

Begriff	Bedeutung
Sicherheitsstollen (SiSto)	Als Sicherheitsstollen werden zum Tunnel parallel verlaufende Tunnel bezeichnet, die den Personen als Fluchtweg dienen.
SLG	Schweizer Lichtgesellschaft
Strassenbeleuchtung	Einrichtung, bestehend aus punktuellen Lichtquellen, die auf den offenen Strecken installiert sind.
Tunnelreflexe	Tunnelreflexe (welche ausschliesslich in der Prozessleitebene erfolgen) sind vordefinierte Kommunikationen zwischen den Betriebs- und Sicherheitsausrüstungen, die bei Ereignissen weitgehend direkt und ohne Benutzereingriffe ablaufen.
Werkleitungskanal (WELK)	Als Werkleitungskanal werden Bauwerke innerhalb von Brücken oder BSA in Tunnel bezeichnet, die zur Unterbringung von Leitungen der verschiedenen Werke (Wasser, Elektrizität etc.) genutzt werden. Ein Werkleitungskanal kann sich unterhalb, neben oder über dem Fahrraum befinden
Zeitliche Adaptationsprobleme	Zeitliche Hell-dunkel-Adaptationsprobleme treten bei der Einfahrt in einen Tunnel oder eine Galerie auf. Dieser Effekt beruht auf der Zeit, welche das Auge braucht, um sich der schwächeren Beleuchtung im Innern des Bauwerks anzupassen.

Literaturverzeichnis

Anweisungen und Richtlinien des ASTRA

-
- [1] Bundesamt für Strassen ASTRA, «**Strommangellage Umsetzung Betrieb und Projekte auf Nationalstrassen**», ASTRA Weisungen 73007, www.astra.admin.ch.

 - [2] Bundesamt für Strassen ASTRA, «**Signalisation der Sicherheitseinrichtungen in Strassentunneln**», ASTRA Richtlinie 13010, www.astra.admin.ch.

 - [3] Bundesamt für Strassen ASTRA, «**Struktur und Kennzeichnung der Betriebs- und Sicherheitsausrüstungen (AKS-CH)**», ASTRA Richtlinie 13013, www.astra.admin.ch.

 - [4] Bundesamt für Strassen ASTRA, «**Kontrollen und Tests der BSA**», ASTRA Richtlinie 13028, www.astra.admin.ch.

 - [5] Bundesamt für Strassen ASTRA, «**Inventarobjekte**», ASTRA Richtlinie 1B001, www.astra.admin.ch.

Normen

-
- [6] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (2012), «**Öffentliche Beleuchtung in Strassentunneln, Galerien und Unterführungen**; Teil 1: Lichttechnische Anforderungen, Begriffe und Gütemerkmale», SN 640551-1.

 - [7] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (2012), «**Öffentliche Beleuchtung in Strassentunneln, Galerien und Unterführungen**; Teil 2: Planung und Bemessung der Beleuchtungsanlage», SN 640551-2.

 - [8] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (2012), «**Öffentliche Beleuchtung in Strassentunneln, Galerien und Unterführungen**; Teil 3: Methoden zur Messung und Beurteilung der Gütemerkmale», SN 640551-3.

 - [9] Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein SIA (2004), «**Projektierung Tunnel - Strassentunnel**», SIA-Norm 197/2.

 - [10] Europäisches Komitee für Normung CEN (2004), «**Strassenbeleuchtung – Teil 1: Auswahl der Beleuchtungsklassen**», Technischer Bericht CEN/TR 13201-1.

 - [11] Europäisches Komitee für Normung CEN (2004), «**Strassenbeleuchtung – Teil 2: Gütemerkmale**», SN EN 13201-2.

 - [12] Europäisches Komitee für Normung CEN (2004), «**Strassenbeleuchtung – Teil 3: Berechnung der Gütemerkmale**», SN EN 13201-3.

 - [13] Europäisches Komitee für Normung CEN (2004), «**Strassenbeleuchtung – Teil 4: Methoden zur Messung der Gütemerkmale von Strassenbeleuchtungsanlagen**», SN EN 13201-4.

 - [14] Europäisches Komitee für Normung CEN (2004), «**Strassenbeleuchtung – Teil 5: Energieeffizienzindikatoren**», SN EN 13201-5.

 - [15] Schweizer Licht Gesellschaft SLG (2005), «**Öffentliche Beleuchtung: Strassenbeleuchtung. Ergänzungen zu SN TR 13201-1 und SN EN 13201-2 bis -4**», SLG Richtlinie 202:11-2005.

Dokumentationen

-
- [16] Bundesamt für Strassen ASTRA (2013), «**Minimale Anforderungen an den Betrieb – Strassentunnel - Leitfaden Operative Sicherheit Betrieb**», Dokumentation ASTRA 86053, V1.10, www.astra.admin.ch.

 - [17] Eidgenössisches Institut für Metrologie METAS «**Freie Fahrt für die Dynamische Tunnel-Licht-Messung**», METinfo, Vol. 21, No. 1/2014.

Auflistung der Änderungen

Ausgabe	Version	Datum	Änderungen
2024	1.14	13.02.2024	Anpassung Abbildungen 4.5, 4.7 und 4.9. Präzisierungen in den Kapitel 5.2.4, 5.3.2, 5.3.4 und 7.
2022	1.13	06.12.2022	Präzisierungen in den Kapitel Vorwort, 3.5, 4.1.1, 5.2.4, 5.3.1, 5.3.2, 5.3.4 und 6.9.
2017	1.12	20.03.2021	Formelle Anpassung der italienischen Version. Anpassung der Kapitel 5.1.3, 5.2.1, 5.5.3, 5.6.2, 5.6.3, 5.7.1, 6.7 und 6.8.1.
2017	1.12	20.03.2021	Formelle Anpassung der italienischen Version. Anpassung der Kapitel 5.1.3, 5.2.1, 5.5.3, 5.6.2, 5.6.3, 5.7.1, 6.7 und 6.8.1.
2017	1.11	20.03.2018	Anpassung Lichtfarbe im Kapitel 6.x.
2017	1.10	02.11.2017	Anpassungen im Kapitel 4, 5, 6 und 7 der Ausgabe 2016 (Originalversion in Französisch).
2016	1.00	01.02.2016	Inkrafttreten der Ausgabe 2016 (Originalversion in Französisch).

