



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication DETEC
Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle comunicazioni DATEC

Bundesamt für Strassen

Office fédéral des routes

Ufficio federale delle Strade

Verkehrsregelungssysteme – Modernisierung von Lichtsignalanlagen

Modernisation des feux de signalisation

Modernisation of traffic control systems

**Grahl – Beratender Ingenieur für Systeme des
Schienen- und Strassenverkehrs, Basel**

Dr.- Ing. Stefan Grahl

Marty + Partner Ingenieurbüro AG, Zollikon

Ruedi Bütler

**Forschungsauftrag VSS 2008/303 auf Antrag des Schweizerischen
Verbandes der Strassen- und Verkehrsfachleute**

Oktober 2010

1309

Impressum

Forschungsstelle und Projektteam

Projektleitung

Stefan Grahl

Mitglieder

Ruedi Bütler

Christoph Hächler

Urs Reding

Federführende Fachkommission

Fachkommission 3: Verkehrstechnik

Begleitkommission

Präsident

Karl- Jürgen Heine

Mitglieder

Jürg Christen

Mauro Ferella Falda

Clemens Huber

Paolo Maltese

Georg Meng

Martin Schmid

Roger Siegrist

Antragsteller

Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute

Bezugsquelle

Das Dokument kann kostenlos von <http://partnershop.vss.ch> herunter geladen werden.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung.....	5
Résumé.....	6
Summary.....	7
1. Aufgabenstellung.....	8
1.1 Ausgangssituation	8
1.2 Auftrag.....	8
2. Methodisches Vorgehen - Leitfaden für den Forschungsbericht	9
3. Begriffe.....	9
4. Untersuchung von praktischen Beispielen	11
4.1 Einleitung.....	11
4.2 Beispieluntersuchungen.....	12
4.3. Verallgemeinerungen.....	16
5. Recherchen zum Stand der Technik und zu Entwicklungstendenzen	19
5.1 Einleitung.....	19
5.2 Nationale und internationale Recherchen	19
5.3 Vergleichbare Probleme und Lösungen in anderen technischen Disziplinen....	24
5.4 Schnittstellen	25
5.5 Migrationsstrategien.....	26
5.7 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	28
6. Wirtschaftliche Aspekte der Modernisierung	28
6.1 Grundlagen.....	28
6.2 Spezifische Bedingungen bei Lichtsignalanlagen.....	30
7. Erarbeitung eines Leitfadens	35
7.1 Einleitung.....	35
7.2 Organisatorischer Ablauf der Modernisierung	36
7.3 Grobbeurteilung zur Notwendigkeit der Modernisierung.....	38
7.4 Detailbeurteilung ausgewählter Kriterien.....	39
7.5 Entwicklung von Migrationsstrategien	44
7.6 Hinweise zur verkehrs- und betriebssicheren Modernisierung	44
8. Erarbeitung eines Normenvorschlags.....	46
9. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	46
Literaturnachweis	47
Glossar	49
Abkürzungen.....	50
Anlage 1 Checkliste Beispieluntersuchung LSA.....	51
Anlage 2 Beispiel LSA- Zustandserfassung	52
Anlage 3 Normenvorschlag	55
Projektabschluss.....	63
Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen	66

Zusammenfassung

Lichtsignalanlagen (LSA) sind ein wesentlicher Bestandteil der inner- und ausserörtlichen Verkehrsbeeinflussung. Ihre Bewirtschaftung umfasst neben Betrieb und Unterhalt auch die zeitgerechte Entscheidung über eine teilweise oder vollständige Erneuerung.

Modernisierung bedeutet Erneuerung von LSA oder deren Komponenten auf einer höheren Qualitätsstufe, wobei die neuen Ausrüstungen bessere Gebrauchswerte aufweisen als die bisher eingesetzten. Damit wird auch künftig ein verkehrssicherer, umweltfreundlicher und wirtschaftlich effizienter Anlagenbetrieb gewährleistet.

Bei Modernisierungsentscheidungen sind verschiedene Faktoren mit zu berücksichtigen, z. B. die lange Nutzungszeit einer LSA, die begrenzten finanziellen Mittel und mögliche technische Risiken.

Das Ziel der Forschung war, objektive und allgemein anwendbare Kriterien für den Entscheidungsprozess zur LSA- Modernisierung im Rahmen des Erhaltungsmanagements zu erarbeiten.

Zunächst wurde in mehreren Städten und Kantonen die gängige Praxis bei der Zustandserfassung/-beurteilung von LSA und daraus resultierende Entscheidungen zur Modernisierung hinterfragt. Es wurde deutlich, dass für die Erneuerung/ Modernisierung neben anlagenbezogenen Kriterien auch verkehrs- und städteplanerische Anforderungen massgeblich sind. Man kann das nach dem Bottom – up und dem Top – down – Ansatz differenzieren. Weiterhin wurde festgestellt, dass betreffs der Vorgehensweise bei LSA- Modernisierungen keine direkt verallgemeinerbaren Abläufe existieren. Diese Aufgabe wurde mit der Erstellung eines generellen Leitfadens gelöst.

Im zweiten Schritt wurde national und international der Stand der Technik und Entwicklungstendenzen in der Lichtsignalsteuerung des Strassenverkehrs recherchiert. Die vielfältigen Ergebnisse wurden übersichtlich zusammengefasst und die wesentlichen technischen Trends aufgezeigt. Daraus wird deutlich, dass noch umfängliche Potenziale für verkehrliche, technische, wirtschaftliche und ökologische Verbesserungen an herkömmlichen Lichtsignalanlagen bestehen. Darüber hinausgehende Entwicklungen zur „LSA der Zukunft“, zum Beispiel als Element in kooperativen Systemen, können gegenwärtig noch nicht als planungsrelevant bezeichnet werden.

Als Drittes wurden wirtschaftliche Aspekte bei LSA- Modernisierungen untersucht. Es wurde ein Kostenentwicklungsfaktor K für den Zusammenhang von Betriebs-, Reparatur- und Investitionskosten hergeleitet, der als ein Entscheidungskriterium genutzt werden kann. Des Weiteren wurde aus einer generalisierten Anlagenwertbetrachtung abgeleitet, dass es durchschnittlich zwei Zeitfenster für die Modernisierung gibt. Das eine tritt ungefähr zur Hälfte der Anlagenlebensdauer auf, wenn vor allem die elektronischen Komponenten auszutauschen sind. Das zweite Zeitfenster ist mehr oder weniger identisch mit dem Ende der normativen Nutzungsdauern der langlebigen Komponenten wie Maste und Kabelanlagen.

Basierend auf den vorgenannten Erkenntnissen wurde ein genereller Leitfaden für die LSA- Modernisierung erstellt. Er zeigt, wie diese in den Prozess des Erhaltungsmanagements einbezogen werden sollte. Es wird vorgeschlagen, zunächst grob zu beurteilen, ob eine Modernisierung notwendig bzw. zweckmässig wäre. Hierfür wurden verkehrliche, betriebliche, wirtschaftliche und technische Kriterien definiert und übersichtlich aufgelistet.

Für die detaillierte Beurteilung ausgewählter Kriterien wurden fünf Arbeitsschritte festgelegt und in ein Ablaufschema eingebunden. Dessen Anwendung sollte datenbankgestützt erfolgen. Für die abschnitts- oder gebietsweise LSA- Modernisierung sind oft Migrationsstrategien erforderlich. Für deren Aufstellung werden die wesentlichen Eckpunkte genannt. Der Leitfaden schliesst mit Hinweisen zur verkehrs- und betriebssicheren Modernisierung von LSA.

Aus dem Leitfaden heraus wurde ein Vorschlag für eine neue Norm zur LSA- Erneuerung (Modernisierung) erstellt.

Résumé

Les installations de signalisation lumineuse sont un élément essentiel de la régulation du trafic urbain et régional. Leur gestion comprend aussi, à côté de l'exploitation et de l'entretien, la décision, en temps opportun, d'un renouvellement partiel ou complet.

Modernisation signifie renouvellement de l'installation ou de ses composants à un niveau de qualité supérieur. Les nouveaux équipements ont une meilleure valeur d'usage que ceux utilisés auparavant. Cela résulte principalement des progrès rapides de la technique. Ceci assure aussi, au futur, une exploitation de l'installation plus sûre, plus écologique et plus économique.

La décision de modernisation dépend de divers facteurs tels que, par exemple, âge de l'installation, ressources financières limitées et risques techniques possibles.

Le but de cette étude était d'élaborer les critères objectifs et généraux du processus de décision de modernisation des installations de signalisation lumineuse dans le cadre de la gestion de l'entretien.

Pour résoudre cette tâche, un certain nombre de villes et de cantons ont été questionnés sur leur manière de procéder lors du relevé et de l'évaluation de l'état des équipements, ainsi que des décisions de modernisation qui en résultaient. Il est devenu évident, lors du renouvellement ou de la modernisation, qu'à côté des critères particuliers à l'installation, ceux de gestion du trafic et de planification urbaine étaient de grande importance. On peut les différencier par une approche Bottom-up et Top-down. Il a également été noté qu'il n'existait aucune procédure de modernisation des installations de signalisation lumineuse directement généralisable. Cette tâche a été résolue par la création d'un guide général.

En deuxième étape, une recherche a été conduite sur l'état, national et international, de la technique et des tendances de développement des installations de signalisation lumineuse. Les divers résultats ont été résumés et les principales tendances démontrées pour les feux de circulation et leurs composants. Il apparaît clairement qu'il existe encore un vaste potentiel d'améliorations pour le trafic, la technique, l'économie et l'environnement des installations de feux de circulation classiques. Par contre, l'évolution des développements pour les feux de circulation « du futur », par exemple en tant qu'éléments de systèmes coopératifs, ne peut pas encore être prise en compte dans les critères de planification.

Troisièmement, les aspects économiques de la modernisation des feux de circulation ont été recherchés. Un facteur de développement des coûts K , montrant l'interaction des coûts d'exploitation, d'entretien et d'investissement, en a été déduit. Il peut servir de critère de décision. D'autre part, à partir d'une observation généralisée de la valeur des installations, il apparaît qu'il existe, en moyenne, deux fenêtres temporelles pour la modernisation. La première se produit à environ la moitié de la durée de vie des feux de signalisation, lorsque les composants électroniques doivent être remplacés. La deuxième fenêtre est plus ou moins identique à la fin de la durée de vie normative des composants à longue durée tels que mâts ou câblage.

Sur la base des connaissances ci-dessus, un guide général pour la modernisation des installations de signalisation lumineuse a été élaboré. Il montre comment la modernisation doit être incluse dans la gestion de l'entretien (approche Bottom-up). Il propose d'apprécier, tout d'abord de manière globale, l'opportunité, respectivement la nécessité, d'une modernisation. A cet effet, les critères trafic, opérationnels, économiques et techniques ont été définis et énumérés en détail.

Les critères retenus pour l'analyse détaillée sont divisés en cinq étapes incluses dans un organigramme. Son application, en particulier pour les grandes (ou nombreuses) installations, devrait recourir à une base de données. La modernisation de feux de circulation par section ou par zone nécessite souvent des stratégies de migration. Les points importants pour leur développement sont décrits. Le guide se termine par des conseils sur la sécurité du trafic et de l'exploitation lors de la modernisation des installations de signalisation lumineuse.

Une proposition d'une nouvelle norme pour la rénovation (modernisation) des installations de signalisation lumineuse a été établie à partir du guide de modernisation. Elle contient, en plus des évaluations globales et détaillées mentionnées précédemment, des informations sur l'entretien trafic basées sur les résultats de la recherche VSS 2005/304.

Summary

Traffic lights (TL) are an essential part of the urban-and regional traffic control. Their management includes operation and maintenance and the timely decision on a partial or complete renovation.

Modernization means renewal of TL or its components to a higher level of quality. The new equipment has better practical value than by existing kits. This results mainly from the rapid technological progress. In such a way safe, environmentally friendly and economically efficient operation will be guaranteed in future.

When deciding to upgrade various factors are taken into account too, such as the long operating time of a TL, the limited financial resources and potential technical risks.

The objective of this research was to provide objective and criteria for the decision process to TL modernization as part of maintenance management.

To solve this problem a number of cities and cantons was questioned for their practice in state elevation and state assessment of TL and the resulting decisions to modernize. That showed for the renovation also transport and urban planning requirements are significantly, next to criteria related to technical equipment. One can distinguish bottom - up and top - down - approach. It was also noted that generalisable procedures doesn't exist concerning TL modernization. This task was solved by creation of a general guideline.

In the second step, national and international state of the art and development trends in traffic control devices for road traffic has been researched. The diverse results have been clearly summarized. For TL and its components, the main technical trends were demonstrated. It is clear that there is still potential for extensive on traffic, technical, economic and environmental improvements to conventional traffic lights are on. Any further developments on the "LSA of the future", such as an element in cooperative systems, can not be designated as a planning-present.

Third, economic aspects of modernization were examined. It was developed a cost factor K for context of operating, maintenance and investment costs, which can be used as a decision criterion. Derived from a generalized asset value approach two time slots for the modernization exist on average. First one occurs approximately one half of the plant life cycle when the electronic components are replaced before. The second window is more or less identical with the end of the normative life cycle time of long-lived components such as masts and cable systems.

Based on the above results, a general guideline for TL modernization was created. He shows how this process should be included in maintenance management (bottom up - approach). It is proposed to be assessed primarily rough, whether a modernization would be necessary or expedient. For this purpose operational, economic and technical criteria were defined and listed in detail.

For the detailed assessment of selected criteria, five work steps were determined and included in a flow chart. Their application should be integrated in a database, especially for larger stocks. Section or area TL modernization needs often migration strategies. For that cornerstones are mentioned. The guideline concludes with tips for safe traffic and operation during modernization of TL.

From the guideline a proposal was created for a new standard concerning TL- renewal (modernization). In addition to the previously mentioned coarse and detailed assessment, rule proposal also provides information on traffic- technical maintenance, based on research results in VSS 2005/304.

1. Aufgabenstellung

1.1 Ausgangssituation

„Es gibt nur wenige Dinge, die überall verstanden werden. Ampeln, die den Verkehrsfluss an Kreuzungen regeln, gehören zu den Dingen, die die Verkehrsteilnehmer weltweit verstehen. Die einfache Zeichensprache der Verkehrslichtsignalanlagen ist zu einem universellen Standard geworden. Und jeder weiss sie zu deuten.“ (Geleittext des SWARCO– Internetauftritts zu Signalgebern, 2009)

Lichtsignalanlagen (LSA) sind ein wesentlicher Bestandteil der inner- und ausserörtlichen Verkehrsbeeinflussung. Die Bewirtschaftung des sehr umfänglichen Anlagenbestandes gehört zu den Kernaufgaben der Betreiber (Werkeigentümer). Sie umfasst neben Betrieb und Unterhalt auch die teilweise oder vollständige Erneuerung von LSA oder deren Komponenten.

Im Forschungsprojekt VSS 2005/304 „Verkehrsregelungssysteme – Grundlagen des Erhaltungsmanagements“ wurden Erhaltungsaufgaben und Erhaltungstätigkeiten für Anlagen zur Lichtsignalsteuerung des Strassenverkehrs definiert und in einer Rahmenmethodik sowie in Typenregeln verankert. Aus diesem Projekt ergaben sich weitere Fragen, die mit der vorliegenden Forschungsarbeit untersucht werden sollen: Welche verkehrstechnischen und wirtschaftlichen Kriterien sind bei der Modernisierung von LSA zu berücksichtigen und wie können sie praktisch angewendet werden?

Mit dieser Thematik werden die Betreiber regelmässig konfrontiert. Die Notwendigkeit von Erneuerungen ist im Wesentlichen unbestritten und hängt vom tatsächlichen Zustand der LSA und ihrer Funktionserfüllung sowie von wirtschaftlichen Aspekten ab. So kann es von einem bestimmten Zeitpunkt an zweckmässig sein, Komponenten zu erneuern als sie kostenaufwändig zu unterhalten. Anlagenzustand und Wirtschaftlichkeit stehen dabei meistens im Zusammenhang mit der bisherigen Nutzungsdauer.

Modernisierung heisst Erneuerung von Komponenten bzw. Anlagen auf einer höheren Qualitätsstufe. Damit ist gemeint, dass die neuen Ausrüstungen andere Eigenschaften aufweisen als die vorhandenen. Hintergrund hierfür sind der rasche technische Fortschritt und die mit ihm verbundenen Möglichkeiten eines verkehrlich, technisch und wirtschaftlich besseren und umweltfreundlicheren Anlagenbetriebs.

1.2 Auftrag

Angesichts der Vielfalt immer neuer technischer Lösungen besteht die Aufgabe des Forschungsprojekts nunmehr darin, möglichst objektive und allgemein anwendbare Entscheidungs- und Bewertungskriterien zu entwickeln. Mit diesen soll geprüft werden können, ob eine Modernisierung der LSA unter den jeweils konkreten örtlichen Bedingungen technisch erforderlich und wirtschaftlich vertretbar ist. Dabei muss berücksichtigt werden, dass erneuerte LSA über viele Jahre hinweg im Einsatz sind und dabei den verkehrlichen und betrieblichen Anforderungen gerecht bleiben sollen.

Neue technische Lösungen müssen nicht in jedem Falle sofort und zwingend eingeführt werden. Oftmals brauchen sie längere Zeit bis zur Praxistauglichkeit und ein innovationsfähiges Umfeld. Deshalb werden praktische Hinweise zur verkehrs- und betriebssicheren Einführung neuer Komponenten erarbeitet.

Das Forschungsprojekt und seine Ergebnisse sollen vor allem den Entscheidungsprozess im LSA- Erhaltungsmanagement unterstützen. Für das Verständnis werden bei den Leserinnen und Lesern Fachkenntnisse und Erfahrungen auf dem Gebiet der elektromechanischen und verkehrstechnischen Grundlagen von Lichtsignalsteuerungen vorausgesetzt. Insoweit trägt der Forschungsbericht nicht den Charakter eines Handbuchs für die technische Projektierung und Realisierung von LSA– Erneuerungen.

2. Methodisches Vorgehen - Leitfaden für den Forschungsbericht

Entsprechend der Zielstellung des Forschungsprojekts, Entscheidungsprozesse im LSA-Erhaltungsmanagement zu unterstützen, ist der Forschungsbericht wie folgt aufgebaut:

- Kapitel 3 erläutert bzw. definiert zugehörige Begriffe.
- Kapitel 4 beschreibt die Ergebnisse praktischer Untersuchungen von LSA-Modernisierungen in Städten und Kantonen und zeigt die Vielfalt des Vorgehens auf. Daraus werden Verallgemeinerungen abgeleitet und im Leitfaden (Kapitel 7) weitergeführt.
- Kapitel 5 recherchiert national und international den Stand der Technik und zeigt Entwicklungstendenzen bei der Lichtsignalisierung des Strassenverkehrs auf.
- Kapitel 6 beschreibt grundlegende wirtschaftlichen Aspekte der Modernisierung und spezifische Bedingungen bei LSA. Es handelt sich dabei um Kosten – Nutzen – Analysen, Lebenszykluskosten von LSA und ihre monetäre Anlagenbewertung.
- Kapitel 7 enthält einen Leitfaden für die LSA – Modernisierung, der auf den Ergebnissen der vorgängigen Kapitelbearbeitungen beruht.
- Kapitel 8 setzt den Leitfaden in einen Normenvorschlag zur LSA- Erneuerung (Modernisierung) um. Dieser gehört zur geplanten Normengruppe „Betrieb und Unterhalt von LSA“.
- Kapitel 9 fasst die Forschungsergebnisse mit ihren Schlussfolgerungen zusammen

3. Begriffe

Modernisierung als eine Form der Erneuerung von LSA gehört zum Erhaltungsmanagement der technischen Ausrüstungen, die Teil des Gesamtsystems Strassenverkehrsanlagen sind. Die Begriffe des Erhaltungsmanagements werden in einem umfänglichen VSS - Normenwerk definiert. Nach SN 640 900a „Erhaltungsmanagement, Begriffe“ wird unterschieden in:

- Erhaltung Gesamtheit aller Massnahmen zur Gewährleistung der Betriebs- und Bauwerkssicherheit sowie der Sicherstellung von Anlagesubstanz und Anlagewert der Strassenverkehrsanlage.
- Erhaltungstätigkeiten Überwachung (Kontrolle, Inspektion, Beobachtung)
Betrieblicher Unterhalt (Reinigung/Pflege, Wartung, Instandhaltung, Kleinreparaturen)
Baulicher Unterhalt (Reparaturen, Instandsetzung, Erneuerung)
Veränderung (Erweiterung, Ausbau, Rückbau)
- Erhaltungsmanagement alle Führungsaufgaben, die zur Erhaltung und Bewirtschaftung der Strassenverkehrsanlagen notwendig sind. Dabei werden bautechnische, ökologische und ökonomische Kriterien berücksichtigt.

Dieser Führungsprozess umfasst folgende Stufen:

- Bestandserfassung und Inventarisierung
- Zustandserhebung und Zustandsbewertung
- Massnahmenplanung in den Teilsystemen
- Massnahmenmanagement
- Baustellenplanung

Anlagen Nach SN 640961 sind Anlagen funktionale Einheiten, die sich aus mehreren, verschiedenen Komponenten zusammensetzen. LSA sind vom Begriff und vom Gegenstand her eindeutig als Anlagen zu charakterisieren.

Komponenten sind die kleinsten Einheiten, die bewirtschaftet werden können. LSA untergliedern sich in die Komponenten

- Steuergerät (Gehäuse, Hardware, Software)
- Maste (Signalträger)
- Signalgeber (Gehäuse, Einsätze, Schuten)
- Detektoren
- Kabelanlagen.

Für das Erhaltungsmanagement der technischen Ausrüstungen (EMT) werden in den Normen SN 640 960 ff. die Erhaltungstätigkeiten bei technischen Ausrüstungen beschrieben.

1. Überwachung, Kontrolle, Wartung

sind Tätigkeiten und Massnahmen zur Aufrechterhaltung der Funktions- und Betriebssicherheit sowie zum Erkennen von sich abzeichnenden oder auftretenden Mängeln. Dazu gehören die:

Anlagenkontrolle Planbare Tätigkeiten zur Feststellung und Erfassung von Daten und Informationen bezüglich des Anlagenzustands

Funktionskontrolle dito, jedoch bezüglich der Funktionssicherheit

Inspektion Planbare periodische Tätigkeiten zur Grundlagenbeschaffung für eine gesamtheitliche Bewertung der Betriebs- und Funktionssicherheit. Mit den aufbereiteten Grundlagendaten können der Anlagenzustand oder die Zustandsentwicklung beurteilt werden.

Wartung Periodisch durchzuführende Tätigkeiten, die sich aus den Betriebsvorschriften der Anlagelieferanten ergeben und zur Garantiegewährung unbedingt auszuführen sind.

Mängelbehebung Eliminierung Mängeln, die sich bei Erhaltungstätigkeiten zeigen und dringlichen Ersatz bzw. Auswechslung erfordern.

2. Unterhalt

sind sorgfältig geplante Massnahmen betrieblicher, technischer und baulicher Art zur dauernden Gewährleistung der Betriebs- und Funktionssicherheit der Anlagen und der langfristigen Werterhaltung. Zu ihnen gehören die:

Walterhaltung Reparatur, Teilersatz, Auswechslung usw. von Anlagen oder Komponenten innerhalb der Zustandsgrenzen, nach wirtschaftlich Gesichtspunkten.

Erneuerung Ersatz, Wechsel und Neukonstruktion von Anlagen nach Ablauf der Lebensdauer bzw. bei Zuständen ausserhalb massgebender Grenzen.

3. Veränderung

sind einmalige bauliche und technisch notwendige Anpassungen und Erweiterungen der Ausrüstungen als Ganzes oder von Teilen (Anlagen) zur Erhöhung der Betriebs- und Verkehrssicherheit, der Leistungsfähigkeit und zur Gewährleistung von neuen gesetzlichen Vorgaben. Dazu gehören:

Erweiterung	von Anlagen um Funktionen, die bisher nicht erfüllt wurden
Ausbau	Neuausrüstung einer Strassenverkehrsanlage mit noch nicht vorhandenen Ausrüstungen oder Anlagen

Die Modernisierung von LSA würde gemäss vorgängigen Definitionen bei der Werterhaltung und Erneuerung sowie bei Veränderungen stattfinden. Im Weiteren wird Modernisierung als Form der Erneuerung von ganzen Anlagen oder von Komponenten mit einem verkehrlich, technisch bzw. wirtschaftlich höherem Qualitätsniveau verstanden.

Diese Definition ist auch beim Einsatz moderner Komponenten im Rahmen von Werterhaltungs- oder Veränderungsmaßnahmen gültig. Beispiel ist die Installation von LED-Einsätzen in vorhandene Signalgebergehäuse oder Softwareupdates.

Mitunter wird in der Praxis auch der Begriff Sanierung verwendet. Darunter versteht man im Allgemeinen die Wiederherstellung oder Modernisierung eines Bauwerks, um Mängel zu beseitigen oder den Standard zu erhöhen. Um vorhandene Mängel festzustellen, muss eine Voruntersuchung durchgeführt werden, aus der die Schadensursache, das Schadensbild sowie die vorgesehenen Sanierungsmaßnahmen hervorgehen. Eine Sanierung geht über die Instandhaltung und Instandsetzung hinaus und schließt oft die Modernisierung ein, einschliesslich Nutzungsanpassungen (Quelle: wikipedia.org).

4. Verkehrstechnische Erhaltung

Mit der Erarbeitung von Grundlagen für das Erhaltungsmanagement von Verkehrsregelungsanlagen in VSS 2005/304 wurde auch die verkehrstechnische Erhaltung als notwendige Erhaltungstätigkeit identifiziert und definiert. Sie umfasst alle Aufgaben, die mit der Erhebung und Bewertung des verkehrstechnischen Anlagenzustands sowie mit der Planung und Realisierung von Massnahmen zur Qualitätssicherung bei Betrieb und Instandhaltung einschliesslich der Dokumentation verbunden sind.

4. Untersuchung von praktischen Beispielen

4.1 Einleitung

Die Erneuerung von Lichtsignalanlagen und ihre Modernisierung gehören zu den Kernaufgaben der Betreiber. Mit dem Ziel, die theoretischen Grundlagen für einen Leitfaden und für die Normierung mit praktischen Erfahrungen abzustützen, wurden mit Verantwortlichen in mehreren Städten und Kantonen Interviews durchgeführt. Grundlage hierfür war eine Checkliste, die in Anlage 1 aufgeführt ist.

Die Gespräche wurden fachlich detailliert und beispielbezogen geführt und vermittelten einen guten Einblick in die Vorgehensweise bei der LSA- Modernisierung. Aus verständlichen Gründen war es jedoch nur eingeschränkt möglich, technische und finanzielle Projektunterlagen für die Weiterverbreitung in einem Forschungsbericht freizugeben.

Ergänzend zu den vorgenannten Untersuchungen wird über LSA- Modernisierungen in Berlin berichtet. Ausserdem werden Themen erfasst, die sich aus eigenen Projekterfahrungen der Forschungsstellen herleiten. Im dritten Abschnitt werden die Erkenntnisse aus den Beispielenuntersuchungen bzw. Erfahrungen verallgemeinert.

4.2 Beispieluntersuchungen

Stadt Zürich

Die Modernisierung von LSA ist Bestandteil des Erhaltungsmanagements, dass die Dienstabteilung Verkehr der Stadt Zürich systematisch betreibt.

Zurzeit sind ca. 380 LSA im Einsatz. Sie sind in eine ortsspezifische Zentralensteuerung mit drei Ebenen eingebunden. Die Steuergeräte stammen von fünf verschiedenen Lieferanten, die jedoch funktional gleichartig arbeiten.

350 LSA werden verkehrsabhängig gesteuert, 250 LSA sind in die ÖV- Bevorrechtigung eingebunden. In einer konzertierten Aktion wurden sämtliche LSA mit LED- Signalgebern ausgerüstet.

Die verkehrstechnischen und anlagenbezogenen Daten werden in einer UNIX- Datenbank gespeichert und bilden eine Basis für das Verkehrsanlagenmanagement, zu dem auch die Erneuerung/ Modernisierung gehören.

Jährlich werden ca. 20 LSA erneuert, so dass die durchschnittliche Lebensdauer 20 Jahre beträgt. Erneuerung bedeutet immer den Einsatz neuer Komponenten, also Modernisierung. Weitere Anlässe, bei denen die Modernisierung von Komponenten oder ganzen Anlagen geprüft wird, sind Anlagenbeschädigungen z. B. durch Unfälle, verkehrstechnisch bedingte Umbauten und strassenbauliche Veränderungen.

Bei Anlagenschäden hängt die Art der Wiederherstellung vom Umfang der Zerstörung ab und reicht von der Reparatur über Teilersatz bis zur vollständigen Erneuerung.

Werden Knotenpunkte mit LSA aus strassenbaulichen oder verkehrstechnischen Gründen verändert, so wird in der Regel ein Bauprojekt initiiert, mit dem Ziel, die jeweils zweckmässige städtebauliche und technische Lösung zu erarbeiten und umzusetzen. Das beginnt mit einem Koordinationscheck aller Leitungsverwaltungen (Strom, Telefon, Wasser etc.). Daraus resultieren Festlegungen inwieweit Kabel und Kabeltrassen zu erneuern sind. Ebenso werden die Signalträger auf Erneuerungsbedarf hin geprüft. Bei Standortänderungen kommen neue Signalträger zum Einsatz.

Sind Komponenten (z. B. Steuergeräte, Signalgeber) noch verwendungsfähig, kommen sie als Ersatzteile für andere Altanlagen in das Lager.

Zur Minimierung der verkehrlichen Einschränkungen während der Umbauten fungiert die alte Anlage als Baustellen- LSA, währenddessen die neue parallel montiert wird.

Werden LSA im Zuge von Umbauten erneuert, so kommen stets Ausrüstungen auf dem aktuellen Stand der Technik zum Einsatz, wobei die Kompatibilität von Steuergeräten und (LED-) Signalgebern gewährleistet bleiben muss (z. B. Anschluss an Verkehrsrechner, Signalgeberüberwachung). Dafür wurden zwei Beispiele genannt:

Umbau der LSA Bellerivestrasse

Neugestaltung einer Zufahrt mit zusätzlicher Abbiegemöglichkeit und angepasster Fussgängerquerung erforderte LSA- Umbau, hierbei wurden alle Komponenten erneuert auf dem aktuellen Stand der Technik

Umbau der LSA Hohlstrasse

Im Zuge einer strassenbaulichen Veränderung zugunsten der Busbeschleunigung entstand eine separate Rechtsabbiegefahrstreifen, die von den anderen Fahrbahnen mittel einer neuen Dreiecksinsel getrennt ist. Zu diesem Zweck mussten zwei Fussgängerquerungen verändert werden. Das gesamte LSA- Equipment wurde erneuert.

Für die beiden genannten LSA wurden vorgängig Planungsstudien erstellt, in denen auch der Leistungsfähigkeitsnachweis für alle Verkehrsströme bei der neuen Verkehrsführung und Signalisation erbracht wurde.

Stadt Basel

Für die LSA- Modernisierung im Zuge der Erneuerung sind folgende Gründe vorrangig:

- Erhöhung der Zuverlässigkeit
- Erhöhung der Qualität der Steuerung
- Senkung des Energieverbrauchs
- Ersatzteilverfügbarkeit nicht mehr gegeben

Die Entscheide über die zu planenden Massnahmen werden in der Regel LSA– spezifisch getroffen. Erneuerungen finden auf dem aktuellen Stand der Technik statt.

Eine systematische Überprüfung von Altanlagen in Bezug auf Modernisierung findet jedoch im Zusammenhang mit der Erneuerung des Verkehrsrechners (VR) mit OCIT– Schnittstelle statt. Der Gateway befindet sich im Rechner und sorgt für den Anschluss der Steuergeräte mit Befä– Schnittstellen. Neue Steuergeräte werden eingesetzt, wenn dadurch die Überwachung und der Datenaustausch zwischen LSA und VR möglich werden.

Die Modernisierung von LSA zum Zwecke einer höheren Qualität der Steuerung beinhaltet vor allem die Ausrüstungen für Verkehrsabhängigkeit (Detektierung, Steuerung) inkl. der ÖV- Bevorzugung und den Einbezug weiterer Verkehrsarten in die Steuerung, z. B. die Signalisierung des Veloverkehrs.

Der Einsatz von LED– Signalgebern mit dem Ziel besserer Erkennbarkeit und Energiereduzierung erfolgt schwerpunktbezogen, nicht flächendeckend. Inwieweit LED– Signalgeber den betrieblichen Aufwand verringern (weniger Ausfälle als Normlampen) konnte noch nicht belastbar nachgewiesen werden.

Kanton Zürich

- Erneuerung LSA Alte Winterthurer-/ Schwarzacker-/ Friedenstrasse in Wallisellen

Die Lichtsignalanlage an der Alten Winterthurer- / Frieden- / Schwarzackerstrasse wurde im Jahr 1970 erstmals in Betrieb genommen. 1987 wurde das Steuergerät letztmals ersetzt. Verschiedene Anlagenteile stehen vor Ablauf ihrer vorgesehenen Einsatzdauer.

Im Rahmen des vorliegenden Projektes ist eine Erneuerung der Anlagen vorgesehen. Insbesondere sollen die Signalgeber auf energiesparende LED-Technik umgestellt werden. Die Knotengeometrie wird im Rahmen der Sanierung nicht verändert. Die Sanierung bezieht sich nur auf die Lichtsignalanlage. Der Signallageplan und eine Teilansicht der LSA sind in Abbildung 1 dargestellt.

Es führen zwei Buslinien über den Knoten. Sie erhalten auf Anmeldung eine bevorzugte Freigabezeit.

Für die Fussgänger bestehen für alle Beziehungen Übergänge mit den entsprechenden Anmeldeöglichkeiten bei der Lichtsignalanlage. Beim heutigen Phasenablauf geniessen die Fussgänger nicht auf allen Relationen einen Vollschutz. Dies soll mit der Sanierung verbessert werden. Für Velos sind in der alten Winterthurerstrasse Velostreifen markiert.

Die alte Winterthurerstrasse ist eine Ausnahmetransportroute vom Typ 2. Der Strassenraum darf deshalb gegenüber dem Ausgangszustand nicht verengt werden.

Das Steuergerät vom Typ Dynap stammt aus dem Jahr 1987 und wird komplett ersetzt. Der Gerätekasten wird wieder 2-teilig ausgeführt. Die Stromversorgung erfolgt auch künf-

tig über eine Kabelverbindung zur Energieeinspeisung des Steuergeräts am Nachbarknotenpunkt, d. h. es fallen keine zusätzlichen Kabelverlegearbeiten an.

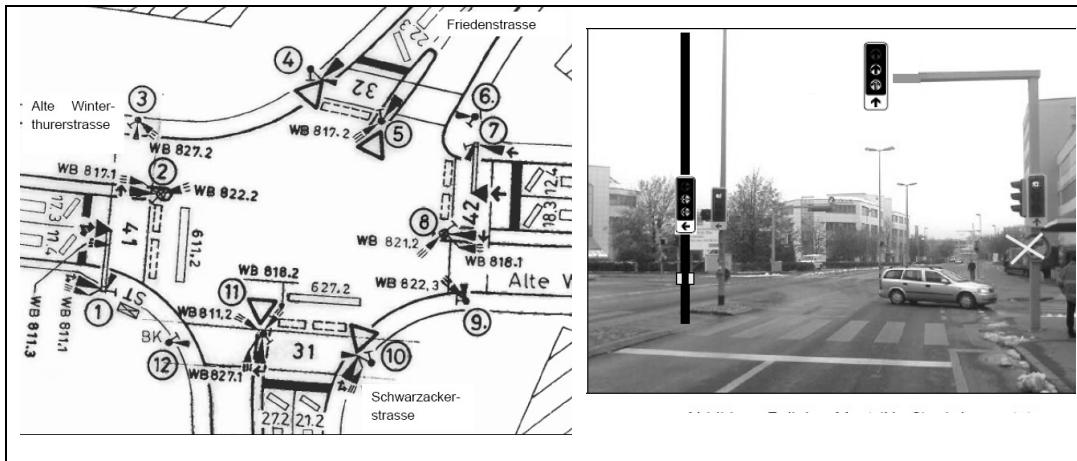


Abbildung 1 Signallageplan und Teilansicht LSA Wallisellen

Sämtliche Signalgeber werden komplett (inkl. Gehäuse und Kontrastplatten) durch neue, mit LED-Leuchten ausgerüstete Signalgeber ersetzt. Alle Signalträger (Masten und Ausleger) werden neu grundiert und schilfgrün gestrichen. Zwei Masten sind zugleich Beleuchtungsmasten und werden in die Fussgängereinsel versetzt. Damit können beidseitig Fussgängersignale und Anforderungstaster angebracht werden. Am Ende der Insel werden Inselschutzpfosten angebracht. Ein Mast wird neu an den Rand des Fussgängerübergangs gesetzt, so dass der neu zu montierende Taster auch von Behinderten erreicht werden kann. Die vorhandenen Induktionsschlaufen können beibehalten werden. Sämtliche Fussgängertaster werden durch solche mit Quittierung und Vibrationsplatte ausgerüstet. Die Kabel werden gemessen, um ihre Funktionsfähigkeit zu prüfen. Für neue Fussgängertaster sind neue Kabel einzuziehen.

- Erneuerung Verkehrsrechner (Gebietsrechner)

Die Wartbarkeit der alten Verkehrsrechner und deren Kommunikationsgeräte wurde immer schwieriger, Ersatzteile fehlen resp. sind direkt passend nicht mehr erhältlich; die Unterhaltskosten steigen stark an.

Bedingt durch den Technologiefortschritt war beim Anschluss neuer Knotensteuerungen die fortdauernde Nutzung von proprietären Schnittstellen im Vergleich mit dem Einsatz der offenen Zentralenschnittstelle (OZS2, OZS3) wesentlich teurer.

Aufgrund der limitierten Leistungsfähigkeit alter Rechner bestand für die Integration neuer Lichtsignalanlagen keine Anschlusskapazität mehr. Neue Funktionalitäten im Zusammenhang mit regionalen Verkehrssteuerungen oder Verkehrsmanagementaufgaben (Vernetzung der Systeme) werden nicht unterstützt, eine Nachrüstung ist mit hohen Kosten verbunden.

Aus diesen Gründen wurden folgende Massnahmen geplant und realisiert (Abbildung 2):

Realisierung Gebietsrechner (GR) Glatt mit vorgesehener Ablösung des GR Zürich Ost aus dem Jahr 1996. Ausbau der Kapazität von maximal 30 auf 70 Lichtsignalanlagen.

Realisierung Gebietsrechner Albis mit vorgesehener Ablösung des GR Urdorf (Jahrgang 1995) mit Kapazitätserhöhung für den Anschluss von maximal 70 Lichtsignalanlagen.

Die GR Albis und Glatt wurden in das Übergeordnete Leitsystem des Kantons Zürich (UeLS) integriert und mit Schnittstellen für den Signalaustausch mit benachbarten (Verkehrslenkung, Citylink) und übergeordneten Anlagen ausgerüstet. Dies ermöglicht das Einrichten von regionalen Verkehrssteuerungssystemen (RVS) und deren Einbindung in das Verkehrsmanagementsystem Zürich (VM ZH).

Die bestehenden Lichtsignalanlagen wurden mit den neueren Zentralanschnittstellen OZS2 und OZS3 nachgerüstet und so an die neuen Verkehrsrechner angeschlossen. Diese Modernisierung der zentralenseitigen Infrastruktur bietet die Möglichkeit, ältere Steuergeräte weiterhin einsetzen zu können.

Um die Wartbarkeit über Jahre zu gewährleisten, wurde so weit als möglich Standard-Hardware eingesetzt.

Die neuen Verkehrsrechner basieren auf den bewährten, nachvollziehbaren Steuerungsmechanismen, ungenutzte Funktionen wurden entfernt. Sie bieten eine erweiterte verkehrstechnische Funktionalität und mehr Komfort für die Bedienung (Konfiguration, verkehrstechnische Parametrierung, Auswertung aufgezeichneter Kriterien etc.). Die Bedienoberfläche ist benutzerfreundlich gestaltet, die Funktionen überblickbar, die Steuerungsmechanismen sind durch den Benutzer nachvollziehbar.

Die verkehrstechnische Versorgung der Knotensteuergeräte erfolgt kantonsweit über einen redundant ausgelegten Versorgungsserver.

Die offene Zentralanschnittstelle OZS verfügt über eine echtzeitnahe Signalvermittlung der Prozessdaten für das Realisieren von taktischen Eingriffen in den LSA– Steuerungsablauf. Diese wird für die Koordination der Knotensteuerungen auf der Strecke oder einem Gebiet z.B. für die Priorisierung des öffentlichen Verkehrs (OeV) und beim Auftreten spezieller Ereignisse angewendet.

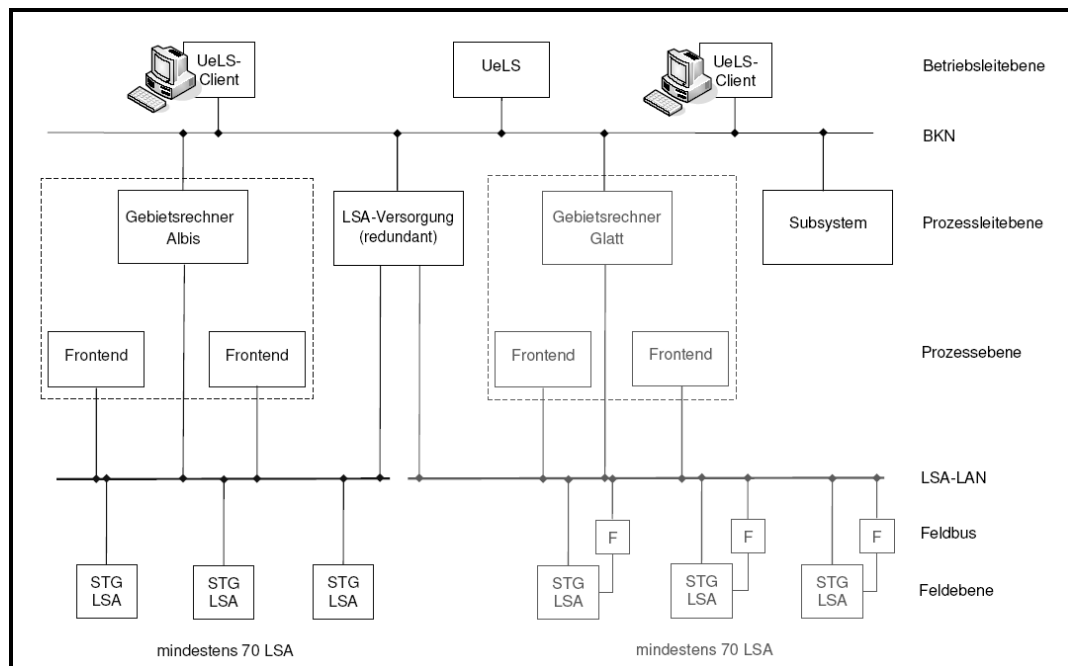


Abbildung 2 Systemübersicht neue Gebietsrechner Kanton Zürich

LSA– Modernisierung Berlin

Das Land Berlin betreibt ca. 2000 LSA und 20 Verkehrsrechner. Historisch bedingt existieren verschiedene Generationen von Steuergeräten und Signalgebern parallel, was die Zuverlässigkeit und Effizienz des Gesamtsystems beschränkt. Aus diesem Grund werden seit mehreren Jahren Modernisierungsprogramme geplant und umgesetzt. Diese unterscheiden sich von den ebenfalls realisierten Neu- und Ersatzbauten dadurch, dass sie nicht nur punktuell stattfinden, sondern strassen- oder gebietsweise.

Das Modernisierungsprogramm wurde zunächst durch die Notwendigkeit bestimmt, ältere Verkehrsrechnergenerationen mit LSA– Signalgruppenfernsteuerung abzulösen. Zu diesem Zweck mussten die örtlichen Schaltgeräte gegen moderne Steuergeräte ausgetauscht werden. Hierfür wurde im Jahre 2004 ein erstes Programm für 80 LSA aufgelegt.

Neben den Steuergeräten wurden auch alle Hochvoltsignalgeber gegen LED– Signalgeber ausgetauscht. Darüber hinaus fand ein selektiver Austausch nicht mehr standfester Signalmaste statt.

LSA im Zuge von Tram- oder Buslinien erhielten zusätzlich Ausrüstungen zur ÖV– Beschleunigung. In Abstimmung mit Behindertenverbänden wurden an mehreren LSA taktile und akustische Signalgeber installiert.

Bei der LSA– Modernisierung werden auch Massnahmen zur Erhöhung der Verkehrssicherheit realisiert, wenn sich Knotenpunkte als Unfallhäufungsstellen erwiesen und mittels einer angepassten LSA- Steuerung Verbesserungen zu erwarten sind. Dazu gehören u. a. die getrennte Signalisierung von Linksabbiegern, das Anbringen von Räum Pfeilen und/ oder gelben Warnsignalen vor Fussgängerfurten.

Das Modernisierungsprogramm für LSA und Verkehrsrechner wird zunächst bis Ende 2010 fortgesetzt.

Weitere Projekterfahrungen der Forschungsstellen

Aus umfänglichen Kenntnissen, die von den Forschungsstellen bei der Durchführung von Ingenieurleistungen für öffentliche Auftraggeber in der Schweiz und in Deutschland gewonnen wurden, können für die LSA– Modernisierung folgende verkehrstechnische Themen als relevant angesehen werden:

- Ersatz alter Steuergeräte, in der Regel solcher ab 15 Jahren Betriebsdauer, verbunden mit funktionalen Erweiterungen, z. B. verkehrabhängigen Steuerungen, und Fernüberwachung mit Meldungsübertragung an Entstörungsdienste
- Neu- oder Ersatzbeschaffung von Verkehrsrechnern zur übergeordneten Steuerung und Überwachung von LSA
- Kompatibilität von LSA und Verkehrsrechnern verschiedener Hersteller mit dem Ziel einer höheren verkehrlichen Funktionalität und betrieblichen Zuverlässigkeit
- Modularität der Hard- und Softwarekomponenten mit einsatzabhängiger Konfiguration. Flexible, erweiterbare, systemunabhängige und anpassungsfähige Steuerungsverfahren bilden die Voraussetzung für den Betrieb moderner LSA.
- Einsatz von Bedienprogrammen für die durchgängige Bearbeitung von der Projektierung bis zur Realisierung einer LSA (durchgehende verkehrstechnische Planung und Versorgung der Steuergeräte)
- Beschleunigung des Bus- und Tramverkehrs an LSA
- Unterstützung von Kindern, Älteren und Behinderten bei der sicheren Strassenquerung mittels LSA
- Förderung des Langsamverkehrs durch bessere Bedingungen für Fussgänger und Velofahrende
- Erhöhte Anforderungen des Umweltschutzes einschliesslich der Energieeinsparung, z. B. Einsatz energiesparender Technik wie LED– Signalgeber.

4.3. Verallgemeinerungen

Für die Erneuerung von Lichtsignalanlagen und ihre Modernisierung existieren unterschiedliche Auslöser. Man kann sie unterscheiden nach dem Top – down – Ansatz und dem Bottom – up – Ansatz.

Der Top – down – Ansatz besteht dann, wenn die LSA- Erneuerung/ Modernisierung durch übergeordnete stadt-/regional- bzw. verkehrsplanerische Massnahmen erforderlich werden. Das können z. B. Umgestaltungen von Verkehrsachsen oder Quartieren sein.

Der Bottom – up – Ansatz ergibt sich in der Regel aus der Zustandserfassung/-bewertung im Rahmen des Erhaltungsmanagements. Die Modernisierung der LSA erfolgt meist zu

einem Zeitpunkt, der hinsichtlich des Zustands der Komponenten zwingend eine Erneuerung erforderlich macht. Dabei werden neue Komponenten eingesetzt, die sowohl dem aktuellen Stand der Technik als auch den gültigen Gesetzen und Normen entsprechen. Die Anlagenerneuerung wird mitunter auch zur verkehrstechnischen Erhaltung genutzt und die Signalisierung für alle Verkehrsarten optimiert.

Diese beiden Ansätze werden in der nachstehenden Abbildung 3 dargestellt. In der Praxis geschieht es oft, dass mit der Erfüllung von übergeordneten Anforderungen auch die anstehenden Aufgaben des zyklischen Erhaltungsmanagements gelöst werden. So lassen sich z. B. allfällige LSA– Erneuerungsmassnahmen in die Realisierung von grösseren Strassenbauvorhaben einbinden.

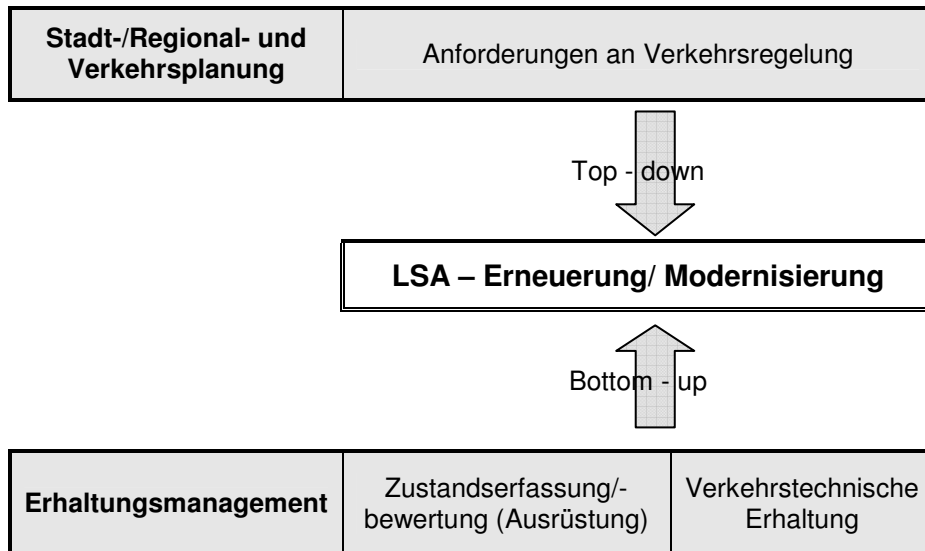


Abbildung 3 Top – down und Bottom – up – Ansatz bei der LSA - Erneuerung

Die Notwendigkeit zur Erneuerung/ Modernisierung von LSA bzw. Komponenten resultiert aus einer Vielzahl von Anforderungen. Der nachstehende Überblick fasst ohne Anspruch auf Vollständigkeit solche Anforderungen zusammen:

Verkehrliche Anforderungen

- Strassenbauliche Massnahmen bedingen LSA– Anpassung
- Verkehrsunfallauswertung erfordert Veränderungen an LSA
- Änderungen der Verkehrsstromaufteilungen bzw. von Verkehrsstärken bedingen Massnahmen
- Einige Verkehrsarten sollen bevorzugt werden (z. B. ÖV, Veloverkehr, Behinderte Fussgänger)
- Einsatz neuer oder umfänglicherer Steuerverfahren geplant (z. B. im Rahmen Verkehrsmanagement)
- Bewegungserfassung für Fussgänger aus Sicherheits- oder Leistungsfähigkeitsgründen zweckmässig

Betriebliche Anforderungen

- Ausfallrate der LSA steigt aufgrund anlagenbedingter Fehler
- Monitoring wird eingeführt mit Zustands- und Fehlerinformationen (Fernüberwachung)
- Datenaustausch mit Zentralen soll stattfinden (MIV, ÖV)

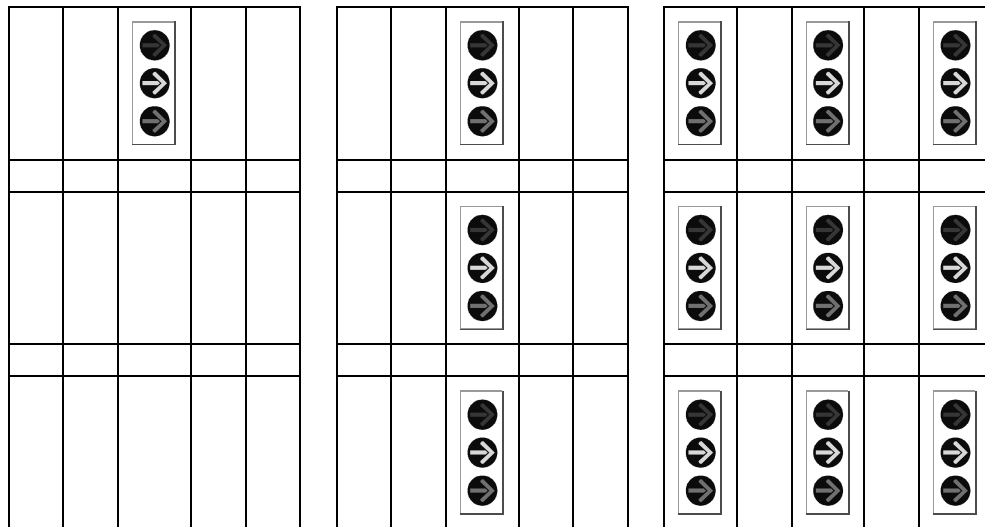
Wirtschaftliche Anforderungen

- Energiekosten sind hoch
- Instandhaltungskosten steigen überdurchschnittlich
- Ersatzteilsicherung nicht mehr gewährleistet
- Einführung neuer Ausrüstungen ist bei grösseren Stückzahlen kostengünstiger

Technische Anforderungen

- Abhängigkeiten zwischen den Komponenten (z. B. Steuergerät – Signalgeber) bedingen gleichzeitige Austauschmassnahmen
- Hard- und Softwareweiterentwicklungen verlangen umfängliche Updates
- Anbindung an Verkehrsrechner geplant
- Verbindung mehrerer LSA miteinander verlangt gleichzeitige Anpassungen
- Anzahl der Signalgruppen muss erhöht werden
- Sichtbarkeit der Signalgeber ist zu erhöhen (Leuchtdichte)
- Genauigkeit der Detektion soll erhöht werden

Die Erneuerung/ Modernisierung von LSA kann des Weiteren hinsichtlich des Orts und des Umfangs schematisch wie folgt gegliedert werden:



Einzelanlagenmodernisierung Abschnittsmodernisierung Gebietsmodernisierung.

Die Einzelanlagenmodernisierung erfolgt in der Regel aufgrund einer technischen und/oder verkehrlichen Zustandserfassung. Sie kann ebenfalls erforderlich werden, wenn das strassenbauliche Veränderungen am Knotenpunkt bedingen.

Die Abschnittsmodernisierung tritt meist auf, wenn mehrere oder alle LSA in einem Strassenzug erneuert werden sollen. Das kann auf einer technischen und/oder verkehrlichen Zustandserfassung beruhen. Veranlassung für die Modernisierung kann auch die (Neu-) Einbindung des Strassenzugs in die Verkehrsrechnersteuerung sein, möglicherweise im Rahmen eines übergeordneten Verkehrsmanagementsystems. Abschnittsmodernisierungen tragen zur Erhöhung des Komforts für die Verkehrsteilnehmenden bei, z. B. durch einheitliche und hochwertigere Signalgebärausrüstung für die LSA auf einer Strecke.

Die Gebietsmodernisierung resultiert oft aus übergeordneten Anforderungen. Das können verkehrstechnische Gründe sein, z. B. die Einbindung in eine Verkehrsrechnersteuerung, oder grossräumigere städtebauliche Massnahmen, z. B. die Schaffung tangentialer Strassenzüge zur Entlastung von Quartieren. Bei der Gebietsmodernisierung kann die Ausgangsbasis für die einzelnen LSA hinsichtlich ihrer technischen und verkehrlichen Funktionalität bzw. ihres Anlagenzustands recht heterogen sein.

5. Recherchen zum Stand der Technik und zu Entwicklungstendenzen

5.1 Einleitung

Das Ziel des Forschungsvorhabens, Planern und Betreibern vermittelt Leitfadens und Fachnorm Unterstützung bei Entscheidungen zu LSA- Modernisierungen zu geben, verlangt, den aktuellen Stand der Technik und wesentliche Entwicklungstendenzen zu beschreiben. Das beruht auf einer themenrelevanten Recherche nach nationalen und internationalen Publikationen sowie auf Gesprächen mit Fachfirmen. Die Ergebnisse werden tabellarisch zusammengefasst.

Die Modernisierung verkehrstechnischer Infrastruktur ist ein Prozess, der vergleichbar auch in anderen Bereichen stattfindet. Es ist deshalb sinnvoll zu fragen, inwieweit Lösungsansätze ausserhalb der Lichtsignalsteuerung für den Strassenverkehr für die eigene Arbeit nachvollziehbar sind.

Im Ergebnis dessen werden zwei wichtige Themen der LSA- Modernisierung in jeweils eigenen Abschnitten behandelt. Das sind die Schnittstellen zwischen den LSA bzw. zwischen den LSA und den Verkehrsrechnern sowie die Migrationsstrategien dafür, wie man vom Ist- Zustand zum geplanten Zielzustand kommen kann.

5.2 Nationale und internationale Recherchen

BÜTLER, R. et. al. haben im Auftrag mehrerer Kantone lichttechnische Untersuchungen mit LED- Signalgebern durchgeführt und Minimalanforderungen zu ihren Parametern aufgestellt.

BERNHARD; J. berichtet über den Einsatz von LED- Signalgebern in der Stadt Zürich. Dabei wurden technischen Anforderungen in Übereinstimmung mit den örtlichen Rahmenbedingungen entwickelt und ein umfassender Feldversuch gestartet. Weil die Sicherheit steigt und die Kosten sinken, wurde der Beschluss zum vollständigen Ersatz aller herkömmlichen Signalgeber durch LED- Signalgeber gefasst.

NOBLE, E. hat in seinem Vortrag zur ITE- Frühjahrskonferenz 2009 über Instandhaltungsstrategien für LED – Signalgeber gesprochen. Es mangelt noch an Langzeiterfahrungen über Kosten und Nutzen. Er regt an, dass die Verantwortlichen drei Aufgaben lösen sollten: unabhängige Labortests durchführen, planmässige Austauschprogramme älterer gegen LED – Signalgeber starten und ebenso den mittelfristigen Ersatz der LED- Signalgeber im Rahmen der jährlichen Budgets planen.

WELTE, U. et. al. untersuchten in einem Forschungsprojekt die Zerfallszyklen von elektromechanischen Anlagen am Beispiel der Leittechnik. Obwohl sie sich auf Tunnelleitsysteme konzentrierten, sind einige Schlussfolgerungen für die Hard- und Software von LSA interessant. Sie unterscheiden drei Phasen des Lebenszyklus von elektronischen Anlagen. Die erste Phase beginnt mit den Werksprüfungen und dauert bis zum Ende der Garantiezeit und wird als Eliminierung von Design- Fehlern (vor allem bei der Software) bezeichnet. Dem schliesst sich die (längste) Phase des regulären Betriebs an, für den die Wartung von grosser Bedeutung ist. Dazu gehören auch Teilersatz und Software- Updates bzw. Upgrades. Schliesslich bildet das Ende der Nutzungsdauer die letzte Phase, bei der fehlender Softwaresupport und fehlende Ersatzteile typische Merkmale sind. Für ausgewählte technische Komponenten werden typische Nutzungsdauern angegeben.

In einem von ITS - International ausgerichtetem Diskussionsforum haben Vertreter verschiedener Unternehmen der Verkehrstechniksparte ihre Vorstellungen zur künftigen Entwicklung auf diesem Gebiet vorgetragen. Dabei wurden folgende Schwerpunkte genannt:

- Energieverbrauchsreduzierung in LED- Signalgebern, u. a. durch Reduzierung der LED- Anzahl
- Ersatz analoger Technik durch Digitaltechnik
- Umfänglicherer Einsatz von Kameras anstelle von Induktionsschleifen
- Einführung von Fahrerassistenzsystemen in Verbindung mit LSA (Bislang sorgt das LSA- Steuergerät für die Sicherheit; das kann nicht einfach abgeschafft werden, sondern bedeutet vollständige Ausstattung aller Fahrzeuge mit entsprechender Technik)
- Anwendung der Internetprotokolle (und des Netzwerkes) für die LSA- Steuerung

Von einem sehr grossen Modernisierungsprogramm für LSA berichtet JACOBSON aus San Antonio/ Texas. Dieses vom Umfang her mit Schweizer Verhältnissen nicht vergleichbare Projekt, es sind 1200 mehr als zwanzig Jahre alte Steuergeräte zu erneuern, zeigt jedoch einige bemerkenswerte Trends auf, die generell für Modernisierungen zutreffen (werden):

- die LSA- Modernisierung erfolgt in einem 5 – Jahres – Programm, für das spezielle Finanzierungsgrundlagen geschaffen wurden,
- dieses Modernisierungsprogramm ist in ein Programm zum Aufbau des städtischen Verkehrsmanagements eingebunden, woraus sich funktionale Anforderungen ableiten,
- die Modernisierung der LSA geschieht in Verbindung mit dem Aufbau eines hochleistungsfähigen Datennetzwerkes (Kabel bzw. kabellos) unter Einschluss der weiteren Detektionssysteme (Mess- und Überwachungsstellen)
- die neuen Steuergeräte müssen in der Lage sein, grosse Datenmengen zu speichern und abrufbar zu halten (Verkehrsdaten, Zustandsdaten), den Datenaustausch zu realisieren und verschiedenartige Steuerungsanforderungen zu erfüllen (Koordinierungen, Priorisierungen)
- über die u. a. örtlich generierten Verkehrsdaten erfolgt eine Echtzeit- Signalplanoptimierung

Mittelfristig kann davon ausgegangen werden, dass so genannte kooperative Systeme die Lichtsignalsteuerung einschliessen. Bei der so genannten Car2X- Kommunikation verständigen sich Fahrzeuge entweder mit anderen Fahrzeugen (Car2Car) oder mit der Verkehrsinfrastruktur (Car2Infrastructure).

Eine mögliche Kommunikationsform ist unter anderem eine neue, auf WLAN basierende Funktechnologie. Feldversuche laufen bereits in Europa und den USA. Im Rahmen einer Konferenz im US-Staat Kalifornien haben SIEMENS und BMW ein System vorgestellt, das Daten zwischen Ampel und Fahrzeug übermittelt, um die Motor-Start-Stopp- Automatik zu optimieren und bei der Ampelanfahrt die Bremsenergieerückgewinnung ideal anzusteuern.

Im Projekt CURB der europäischen Forschungsinitiative CIVIS wurde an einem System „Cooperative Local Traffic Control“ gearbeitet. Die LSA übermitteln dabei sich nähernden Fahrzeugen Informationen zur Steuerung und zum Verkehrsablauf. Aufgrund der daraus resultierenden Geschwindigkeitsadaption sollen effektive Grüne Wellen erzeugt werden. Die in umgekehrter Richtung aufgenommenen Fahrzeugdaten werden von einer LSA an die nächsten übertragen.

Nach HOPPE werden zukünftig im Auto eine Vielzahl von intelligenten Teilsystemen zu einem komplexen System zusammengefasst. Die Informationstechnik wird dabei die entscheidende Voraussetzung sein, um dem intelligenten Automobil gerecht zu werden. Die Anwendungsfelder sind hierbei sehr vielfältig. Der Telematikeinsatz selber dient dabei überwiegend als Assistenzsystem für den Fahrer. Die Informationen umfassen dabei den Zustand des Fahrzeugs sowie des Verkehrsgeschehens im Umfeld des Fahrers. Das Ziel

ist somit die Erfassung, Übermittlung und Auswertung von verkehrsbezogenen Informationen.

Die prognostizierten Einsatzfelder der Telematikanwendungen werden wie folgt beurteilt (Stand 2008):

Bis 10 Jahre: Anzeige von individuellen Fahrerinformationen und Warnungen über Displays. Die Fahrer behalten trotz Kollisionswarn- und Abstandsregelsystemen die volle Fahrzeugkontrolle. Erste Ansätze zur Kommunikation der Fahrzeuge mit intelligenten Infrastrukturen werden umgesetzt.

Bis 15 Jahre: Die volle Kontrolle bleibt weiterhin beim Fahrer. Das Fahrerinterface wird bevorzugt mit Sprachdialogsystemen realisiert. Fahrzeuge kommunizieren untereinander zur Kollisionsvermeidung, es erfolgt zunehmend eine interaktive Kommunikation mit intelligenten Infrastrukturen.

Bis 20 Jahre: Es entstehen vollautomatisierte kooperative Systeme bestehend aus Fahrzeug und intelligenter Infrastruktur (Fahrwege sowie Leit- und Managementsysteme). Im Dreierspiel von Mensch, Maschine und Umwelt wird generell das Fahrzeug als potenter Faktor für Verbesserungen gesehen und nicht mehr die Infrastruktur.

Auswertung von Gesprächen und Firmenunterlagen

Eine Vielzahl von Informationen zu den verkehrstechnischen Aspekten der Modernisierung findet sich in Publikationen der Hersteller von LSA- Komponenten und Systemen. Diese beziehen sich auf technische Merkmale und Funktionen sowie die Einbindung in komplexe Verkehrsmanagementsysteme.

Seitens Schweizer Systemlieferanten sind folgende Punkte als charakteristisch für die LSA- Modernisierung genannt worden:

- Ausserhalb grösserer Städte bzw. Agglomerationen dominieren Einzelanlagen bzw. die Betreiber sind oft nur für einen kleinen Anlagenbestand verantwortlich. Dennoch besteht aus verkehrlichen und betrieblichen Gründen der Bedarf an Fernüberwachung von Einzel- LSA. Hierzu sind das Monitoring mittels Mobilkommunikation und einfache Bedienplätze geeignet.
- Zusätzliche Funktionen sollten vom Steuergerät weg auf die Prozessleitebene gebracht werden (Verkehrsrechner)
- Hier kommt es zur Anwendung der Schnittstellen OCIT und OZS (Schweiz)
- Direktversorgung Steuergeräte mit offenen und proprietären Schnittstellen
- Das LSA- Netz wird als Datenleitung wie Internet funktionieren.
- Verkehrsrechner: Hardware „von der Stange“ (Standard) und höherer Softwareentwicklungsaufwand, Leistungsanforderungen lassen sich immer schwerer beschreiben.
- Steuergeräte sollen einfach und robust und den Umweltbedingungen angepasst sein.
- Schwerpunkt sind Komponenten verschiedener Hersteller in einem Gerät und die dazu erforderlichen Schnittstellen.
- Detektoren auf Basis Erdmagnetismus sind mögliche Alternative zu Induktionsschleifen.
- Interaktion Fahrzeug und LSA (z. B. Restzeitanzeigen), Konsequenzen für Geräteausstattung und Sicherheitsüberwachung

Die Vorteile der LED-Technik können auch für bestehende Signalanlagen genutzt werden, indem entsprechende Module in vorhandene Signalgeber eingebaut werden. So werden aus Lichtsignalen mit konventionellen Leuchtmitteln energiesparende, lichtstarke und langlebige LED-Signalgeber.

Zu innovativen Lösungen gehören auch intelligente Kabelbusse, für die zwischen den Signalgebern und dem Steuergerät nur eine Kabelader erforderlich ist. Bislang waren stets mehrere Kabeladern erforderlich, um die verschiedenen akustischen Signale (u. a. Freigabeton, Pilotton und Vibration) zu realisieren. Dieser Ausstattungsaufwand stand bei Altanlagen oft in keinem günstigen Verhältnis zu den Kosten.

Eine Übersicht zu wesentlichen Trends bei LSA und ihren Komponenten zeigt Tabelle 1.

Anlage/ Komponente	Wesentliche Trends	Merkmal, Zweck	Status
LSA - Gesamt	Zusammenwirken mit Fahrerassistenzsystemen	Die Kommunikation zwischen der ortsfesten LSA und den Fahrzeugen dient der Information über den aktuellen Signalisierungszustand für die gewählte Fahrtrichtung und warnt bei Übergang zur Sperrzeit. Fehlhandlungen und damit verbundene Unfälle werden reduziert, Verkehrsfluss und die Leistungsfähigkeit der LSA erhöht.	FE
	Offene Schnittstellen	Der Datenaustausch zwischen LSA unterschiedlicher Hersteller sowie zwischen LSA und Leitebenen wird vereinfacht und die notwendige Funktionsvielfalt sichergestellt. Aufwändige Zusatzeinrichtungen und Abstimmungsprozeduren entfallen.	PA
	Einbindung in Verkehrsmanagement (VM)- Systeme über Leitebenen	Die an der LSA erfassten Verkehrsdaten sowie Betriebsmeldungen können in die übergeordnete Verkehrslageerfassung integriert werden. Die operative Anpassung der LSA- Steuerung kann in VM - Massnahmen eingebunden werden.	PA
	Monitoring Einzelanlagen via Mobilkommunikation	Der LSA- Betriebszustand kann ohne Anschluss an Verkehrsrechnersysteme überwacht und bei Störungen schnell reagiert werden. Ausfallzeiten und damit verbundene Nachteile, z. B. erhöhte Unfallgefahren, werden reduziert.	PA
	Vorrang für Bus und Tram (An-, Abmeldung, Steuerung, Datenspeicherung, Kommunikation mit Leitebenen)	Die Reduzierung LSA- bedingter Halte bzw. Wartezeiten erhöht die Reisegeschwindigkeiten öffentlicher Verkehrsmittel. Damit wird deren Attraktivität erhöht und ihr wirtschaftlicher Einsatz gefördert.	PA
Steuergeräte	Hardware „von der Stange“, Softwareentwicklungsaufwand nimmt zu	Die hardwareseitigen Anforderungen an Steuergeräte können weitgehend durch standardisierte Produkte erfüllt werden. Die verkehrstechnischen Anforderungen, z. B. verkehrsabhängige Steuerungen, verlangen Software, die sehr unterschiedliche spezifische Bedingungen umsetzen kann.	PA
	Softwareentwicklung bei Betriebssystem und Applikationen benötigen Fehleranalyse unter Labor- und Praxisbedingungen	Der geforderte hohe Flexibilitätsgrad verkehrstechnischer Softwarelösungen verlangt umfängliche Tests zur Funktionsprüfung und zur Fehleranalyse. Damit sollen sicherheitsgefährdende und verkehrshemmende Abläufe vor der verkehrswirksamen Inbetriebnahme erkannt und beseitigt werden.	PA
	Regelmässige Updates sicherstellen, Software- Upgrades ermöglichen	Beim Einsatz standardisierter Produkte ist regelmässiger Update von Betriebssystemen notwendig, um Verbesserungen schnell wirksam werden zu lassen und die Servicefähigkeit zu erhalten.	PA

Anlage/ Komponente	Wesentliche Trends	Merkmal, Zweck	Status
		Softwareupgrades ermöglichen die Nutzung neuer Teilentwicklungen und erhöhen Komfortabilität und Sicherheit der Anwendungen.	
	Ersatz analoger durch digitale Technik	Digitale Technik erlaubt eine schnellere und umfänglichere Datenverarbeitung und Steuerung.	PA
	Einbindung von Komponenten verschiedener Hersteller	Die Ausrüstung von Steuergeräten mit spezifischen Komponenten, z. B. Detektorbausteine oder ÖV- Einheiten, führt häufig zum Zusammenführen von Bauelementen verschiedener Hersteller.	PA
	Modularität von Komponenten	Der modulare Aufbau eines Steuergeräts erlaubt es, Komponenten bei Bedarf nachzurüsten, ohne dass das gesamte Gerät ausgetauscht werden muss.	PI
	Anschluss an Verkehrsrechner	Betriebszustand und Steuerungsabläufe der LSA werden überwacht, Abweichungen/ Störungen erkannt und notwendige Massnahmen eingeleitet. Entsprechend der jeweiligen Verkehrslage können makroskopische Steuerungen für Strecken und (Teil-) Netze eingesetzt werden. Diese nutzen auch an der LSA erfasste Verkehrsdaten.	PA
	Speichern grosser Datenmengen und Datenaustausch	Verkehrabhängige Steuerungen benötigen umfängliche Verkehrsdaten und Meldungen, z. B. über An-/ Abmeldung von Bus und Tram. Die Daten müssen sehr schnell aufbereitet werden, um zeitnah steuern zu können.	PI
	Echtzeit- Signalprogrammoptimierung	Der überwiegend stochastische Charakter des Verkehrsablaufs sowie die Berücksichtigung von Anforderungen des ÖV bzw. anderer Verkehrsteilnehmer, z. B. Blindensignalanforderungen, können durch offline- programmierte Steuerungen nur bedingt optimiert werden. Bei Verfügbarkeit der erforderlichen Ausgangsdaten kann die Online- Optimierung zur besseren Bedienung der Verkehrsströme beitragen.	PI
	Direktversorgung Steuergeräte	Die durchgehende Versorgungskette von der verkehrstechnischen Projektierung bis zur Implementierung der objektspezifischen Applikationssoftware im Steuergerät reduziert die Bearbeitungszeit und Fehlerquellen bei der Übertragung von Eingabedaten.	PA
	Verbindung mit Verkehrsüberwachungsausrüstungen	Die direkte Kopplung der Steuergeräte mit Überwachungsausrüstungen für Rotlichtüberfahrungen erhöht die Verkehrssicherheit.	PA
Signalgeber	Einsatz LED – Signalgeber	Reduzierung Energieverbrauch und bessere Sichtbarkeit	PA
	Restzeitanzeigen (strassenseitige Signalisation)	Erhöhung der Verkehrssicherheit, energetische Verbesserungen für Fz	PA
Detektoren	Einsatz von Kameras und Infrarotdetektoren	Umfassende und genaue Verkehrsdaten- und Verkehrsablaufferfassung	PA
	Mobile Anmeldetechnik für Fussgänger (Blinde)	Erhöhung der Verkehrssicherheit und Barrierefreiheit	PI

Anlage/ Komponente	Wesentliche Trends	Merkmal, Zweck	Status
	Detektion mittels Erdmagnetismus	Zuverlässigere Fz- Datenerfassung	FE
	Bluetooth – based traffic detection	Kabellose Verbindung zwischen Detektoren und Empfangs-/Auswerteeinheit im Steuergerät reduziert Montageaufwand.	FE
Maste	Einsatz hochwertiger Materialien	Langfristige Nutzung bei minimalem Erhaltungsaufwand	PA
	Segmentaufbau	Temporäre (De-) Montagen möglich, z. B. bei Schwertransporten	PA
Stromkabel	Einsatz hochwertiger Materialien (z. B. Kupferkabel) mit Schutz gegen externe Einflüsse (mechanisch, elektrisch) durch Trassébauteile (Rohre, Kanäle)	Langfristige Nutzung bei minimalem Erhaltungsaufwand	PA
	Moderne Verbindungstechnik für Anschlüsse	Höhere Betriebssicherheit, wartungsfreundlich	PA
Datenleitungen	Einbindung in Internettechnologie	Integration in komplexe VM- Systeme wird einfacher, Kostenreduzierung	PI
	Hochleistungsdatennetz (z. B. Lichtwellenleiter)	Anschluss an Verkehrsrechner mit hohen Datenmengen möglich	PA
Legende	PA - Praktische Anwendung, PI – Pilotprojekte, FE – Forschung/ Entwicklung		

Tabelle 1 Trends der Entwicklung für LSA

5.3 Vergleichbare Probleme und Lösungen in anderen technischen Disziplinen

In seinem Referat an der Tagung „Nationale Infrastrukturpolitik“ (8./9. November 2007, Solothurn) erklärte WERDER (Generalsekretär des UVEK): „Die Integration neuer Technologien in bestehende Infrastrukturnetze ist äusserst anspruchsvoll. Es braucht deshalb ein systematisches Integrationsmanagement, welches die vorhandenen Risiken eingrenzt und auf der Zeitachse staffelt.“

Vergleichbare Anforderungen wie sie bei der Modernisierung der elektromechanischen Strasseninfrastruktur auftreten, sind auch bei der Telekommunikations- und IT- Infrastruktur zu finden.

„Die Anforderungen an die Leistungsfähigkeit von IT- Systemen in Bezug auf Integrierbarkeit und Wirtschaftlichkeit steigen ständig. So entsteht eine wachsende Diskrepanz zwischen der Leistungsmöglichkeit der vorhandenen Applikationen und den Anforderungen der sich immer rascher verändernden Märkte...Von der Mehrzahl der Unternehmen werden die mangelnde Flexibilität der vorhandenen Systeme und die schlechte Integrierbarkeit neuer Technologien beanstandet...Neben dem Fakt, dass Know-how-Träger der Altsysteme sukzessive aus dem Berufsleben ausscheiden, ist das Qualifikationsprofil ein Hindernis für die Optimierung der Systeme“ (SMARTSHIFT).

Nach WIKIPEDIA bezeichnet der Begriff Altsystem (engl. legacy system) in der Wirtschaftsinformatik eine etablierte, historisch gewachsene Anwendung im Bereich Unternehmenssoftware. *Legacy* ist hierbei das englische Wort für Vermächtnis, Hinterlassenschaft, Erbschaft, auch Altlast. Sie zeichnet sich oft durch unzureichende Dokumentation, veraltete Betriebs- und Entwicklungsumgebungen, zahlreiche Schnittstellen und hohe Komplexität aus. Diese Merkmale sind der Grund dafür, dass sich die Ablösung solcher Systeme oft deutlich über ein erwünschtes Lebensende hinauszieht. Grundsätzliches Problem bei der Ablösung von Legacy- Systemen ist der gewachsene Funktionsumfang. Auch wenn häufig ein gewisser Ersatz durch Standardsoftware stattfindet, verbleiben meist nicht abgedeckte Zusatzfunktionen und Schnittstellen. Das sind des Öfteren Alteinstellungsmerkmale der gewachsenen und über Jahrzehnte entwickelten Software.

Der Einsatz serviceorientierter Architekturen bietet hier sinnvolle Ansätze, die Schnittstellenproblematik durch Einsatz von Konnektoren abzudecken. Dabei werden die auszutauschenden Systeme nach aussen „gekapselt“, indem eine Zwischenschicht aus verschiedenen Quellsystemen eine gemeinsame Schnittstelle betreibt. Quelle: wikipedia.org

Modernisierungen betreffend stellt SMARTSHIFT fest, dass über Jahre gewachsene Systemlandschaften den Anforderungen aktueller und künftiger Geschäftsprozesse häufig nicht mehr gewachsen sind. Sie komplett auszutauschen und quasi auf „grüner Wiese“ neu aufzusetzen, ist erstens kein einfaches Unterfangen, zweitens teuer und drittens meistens auch nicht sinnvoll. Das gilt für Legacy-Anwendungen, die vielfach noch wesentliche Kerngeschäftsprozesse abdecken, wie auch für andere Bestandssysteme.

Die Konsequenz sind Systemlandschaften mit flexiblem Neben- und Miteinander von Altanwendungen, Standardlösungen und Neuentwicklungen. IT- strategische Herausforderung ist es, diese begrenzte Technologie- Vielfalt im Sinne einer „Managed Diversity“ zu steuern und die Zeithorizonte zu bestimmen, wann Legacy- oder andere Bestandssysteme einer Modernisierung unterzogen werden sollen.

Zur praktischen Lösung dieser Aufgabe dient ein sogenanntes Application Portfolio Management. Das sind Verfahren und Methoden, mit denen Projekte für Teilsysteme oder komplette Technologie- Plattformen mit einem überschaubaren Aufwand an Zeit und Kosten umgesetzt werden können. Es beginnt mit der umfassenden Analyse der Softwarelandschaft (Plattformen, Programmiersprachen und Datenbanken) und gestattet einen Einblick in das „Innenleben“ der Software, in Wert, Risiken und Kosten von Anwendungen. Mit diesen Ergebnissen können wesentliche strategische Fragen auf einer verlässlichen Informationsbasis beantwortet werden. Dazu gehören:

- Wie sieht unsere Applikations-Landschaft auf technischer Ebene eigentlich aus?
- Welcher Art sind die technischen Abhängigkeiten?
- Welche Anwendungen sind es wert, beibehalten zu werden und auf welche kann verzichtet werden?
- In welche Applikationen lohnt es sich, zu investieren?
- Welche Lösungen schlummern nur noch vor sich hin und können längst entfallen?

5.4 Schnittstellen

Für die verkehrs- und anlagentechnische Verbindung von Lichtsignalanlagen und Verkehrsrechnern sind geeignete Schnittstellen eine unabdingbare Voraussetzung. Im Weiteren werden die Schweizer Offene Zentralen- Schnittstelle OZS und die OCIT- Schnittstelle beschrieben, deren Entwicklung in Deutschland stattfand und die mittlerweile auch in der Schweiz und in Österreich genutzt wird.

Die offene Zentralen- Schnittstelle dient der Kommunikation zwischen den Steuergeräten und der übergeordneten Zentrale wie Verkehrsrechner, Bereichsrechner oder Fernüberwachungssysteme. Die OZS beinhalten bei allen Versionen eine Versorgungs- und eine Prozessdaten- bzw. Echtzeitschnittstelle. In der Prozessdatenschnittstelle werden alle für die zeitliche Auswertung, Abschnittsregelung und Darstellung notwendigen Ereignisse und Signalzustände vom Knotensteuergerät an die übergeordnete Zentrale übermittelt. Die konkreten Datenpunkte beinhalten die Kommunikationsüberwachung, Betriebsmeldungen (Betriebszustände), Störungen, Signalgruppen- und Koordinationsdaten. Die Versorgungsschnittstelle dient der Parametrierung und Bedienung der Knotensteuerungen vor Ort oder mittels Fernzugriff (Zentrale). OZS ist in den drei Versionen 1, 2 und 3 verfügbar und hat sich im Praxiseinsatz bewährt.

Die LSA- Steuergeräte werden mit der Offenen Zentralen-Schnittstelle OZS3 ausgerüstet. Die OZS3-Schnittstelle beinhaltet einen Netzwerk-Anschluss (Ethernet), womit die Steuergeräte direkt an das LSA- LAN angeschlossen werden können. Die Steuergeräte mit der OZS2- Schnittstelle können ebenfalls an das Netzwerk angeschlossen werden, indem ein Schnittstellen-Wandler (TCP- Koppler) eingesetzt wird. Über diese Schnittstelle werden Daten und Befehle ausgetauscht.

Neben den steuerungsbezogenen Anweisungen zu Signalprogrammschaltungen, Koordinierungen und Fahrzeugan- bzw. Abmeldungen bietet OZS insbesondere die Möglichkeit, Störungen und Ausfälle an LSA und an einzelnen Komponenten an den Verkehrsrechner bzw. die Fernüberwachung zu melden und darauf basierend gezielt und kurzfristig eingreifen zu können.

OZS ist eine für alle Anwender offene Schnittstelle, für die keine Lizenzen und keine Mitgliedschaften in einer Anwenderorganisation erforderlich sind. Die Anbindung von Steuergeräten verschiedener Hersteller und Generationen ist möglich.

OCIT bedeutet "Open Communication Interfaces for Road Traffic Control Systems" und heisst auf Deutsch "Offene Schnittstellen für Systeme der Strassenverkehrstechnik". Dabei handelt es sich um Schnittstellen zwischen Geräten, Komponenten und Systemen. Standardisiert werden dabei Kommunikationsprotokolle, Funktionen und Daten, die über die OCIT- Schnittstellen bedient werden. "Innere" Eigenschaften, die nicht mit den Kommunikations-Schnittstellen zusammenhängen, wie Aufbau, Applikationen, Datenbanken, Bedienoberflächen etc., werden in OCIT nicht bearbeitet.

In der Vergangenheit waren und sind überwiegend noch heute Verkehrssteuerungssysteme durch spezielle System- und Softwarearchitekturen sowie proprietäre, z. T. patentgeschützte Datenübertragungsverfahren gekennzeichnet. Diese Situation erlaubt es dem Betreiber nicht oder nur mit besonderem Aufwand herstellergemischte Systeme aufzubauen und nach dem neuesten Stand der Technik zu erweitern. Um die daraus resultierenden Probleme zu vermeiden, haben sich viele Betreiber für gebietsweise homogene Systeme entschieden. Dies hat dann in der Regel zu einer Quasi-Monopolstellung der Anbieter und zu hohen Preisen bei der Beschaffung geführt. OCIT ermöglicht, an jeder Stelle die Komponente einzusetzen, die das beste Preis-Leistungs-Verhältnis aufweist. Der Aufwand (Personaleinsatz und Kosten) für den anlagen- und verkehrstechnischen Betrieb der Systeme kann erheblich reduziert werden. Die Betreiber können eine grössere Unabhängigkeit von Lieferanten erzielen, so dass eine Auswechslung von Komponenten bzw. ein Wechsel der Lieferanten jederzeit möglich ist. Die Entwicklung einheitlicher, moderner Bedienoberflächen ist auch bei gemischten Systemen möglich.

Die Einbindung von verkehrstechnischer Software unterschiedlicher Hersteller wird erleichtert und es erfolgt eine strikte Trennung zwischen Verkehrstechnik und Sicherheitstechnik. Das minimiert Risiken und senkt den erforderlichen Prüfaufwand. Mittels OCIT sollen die Investitionssicherheit erhöht und Investitionsentscheidungen, welche sich über 10 oder mehr Jahre hinweg auswirken, unterstützt werden. Im Einzelnen beinhaltet OCIT:

- die sog. OCIT- Outstations: zwischen Zentrale und Feldgeräten
- die sog. OCIT- Instations: innerhalb zentraler Komponenten
- die sog. OCIT- LED: zwischen Feldgerät und LED-Signalgebern

5.5 Migrationsstrategien

In einer Vielzahl von Städten und Agglomerationen besteht eine hohe Konzentration von Lichtsignalanlagen, die überwiegend an Verkehrsrechner angeschlossen sind. Sollen die LSA und/ oder Verkehrsrechner modernisiert werden, so stehen die Betreiber oft vor der Aufgabe, so genannte Migrationsstrategien zu entwickeln.

Hierfür gibt es in der Praxis verschiedene Wege und Erfahrungen, jedoch liegen noch keine generalisierbaren Veröffentlichungen vor. Es ist daher für die Entwicklung von Migrationsstrategien in der Verkehrstechnik hilfreich, die Vorgehensweise in anderen technischen Disziplinen zu hinterfragen. So dienen Migrationsstrategien in der Informationstechnik dazu, eine Ablösung von Systemen durchzuführen.

Damit sie erfolgreich ist, muss eine Migration folgenden generellen Anforderungen gerecht werden:

- ununterbrochenen, sicheren, zuverlässigen Betrieb garantieren: Ausfälle zentraler Systeme kann der Gesamtprozess nicht über längere Zeit verkraften, auch kürzeste

Ausfälle führen zu wirtschaftlichen Verlusten (darüber hinaus steigt bei der Verkehrsregelung die Unfallgefahr mit personellen und materiellen Folgen).

- so viele Änderungen durchführen, wie es notwendig erscheint, um aktuelle und zukünftig erwartete Anforderung abzudecken: hierdurch wird erreicht, dass nicht bereits kurz nach Fertigstellung der Migration das neue System angepasst werden muss, und unter Umständen eine weitere Migration ansteht.
- so wenige Änderungen wie möglich durchführen, um den Umfang und das Risiko der Migration zu verringern: je komplexer eine Migration ist, desto höher ist die Fehlergefahr, die Komplexität einer Migration steigt mit der Anzahl der durchgeführten Änderungen.
- möglichst grosse Flexibilität einbauen, um zukünftige Änderungen zu erleichtern.
- mögliche negative Auswirkungen der Änderungen minimieren: bei allen Änderungen am System sollte geprüft werden, ob diese Änderungen noch mit dem System verträglich sind, um hierdurch bereits frühzeitig Fehlentwicklungen vorzubeugen.
- den Nutzen moderner Technologien und Methoden maximieren: hierdurch wird zum einen eine zukünftige Anpassung leichter, zum anderen lassen sich Systemwerte zur Entscheidung für eine Migration, beispielsweise Performanz, Datendurchsatz, positiv beeinflussen. (Quelle: wikipedia.org)

Eine Migrationsstrategie in der Verkehrstechnik beschreibt die Vorgehensweise, wie der vorhandene Bestand von LSA und/ oder Verkehrsrechnern so modernisiert werden kann, dass während und nach Abschluss der Erneuerungsmassnahmen die Erfüllung der vorhandenen bzw. vorgesehenen verkehrlichen und betrieblichen Anforderungen gewährleistet ist. Dabei handelt es sich in der Regel um eine Bereichsmodernisierung.

In der Praxis treten vor allem folgende Migrationsfälle auf:

- Einsatz neuer Signalgeber, die eine Anpassung der Überwachung im Steuergerät (Hardware, Software) erfordern. Beispiel: LED– Signalgeber mit Ausfallüberwachung der Leuchtdioden
- Einsatz neuer Detektoren, die eine Anpassung der Überwachung im Steuergerät (Hardware, Software) erfordern. Beispiel: An- und Abmeldung öffentlicher Verkehrsmittels zwecks Priorisierung
- Einsatz neuer Steuergeräte mit erweiterten Funktionalitäten und externen Abhängigkeiten auf der Feldebene. Beispiel: Verkehrsabhängige Koordinierungen in Strassenzügen, ÖV– Priorisierung, neue Schnittstellen
- Ersatz eines Verkehrsrechners bzw. Neustrukturierung von Verkehrsrechnern mit erweiterten Funktionalitäten und neuen Schnittstellen,
- Erweiterung des Verkehrssteuerungssystems um eine Leitebene (Verkehrsrechner), die eine Anpassung der LSA auf der Feldebene erfordert

Die Erarbeitung von Migrationsstrategien im Rahmen des Erhaltungsmanagements ist eine besondere Art der Massnahmenplanung. Ihr Charakteristikum besteht darin, dass sie sowohl objektbezogen, also für die einzelne LSA, als auch objektübergreifend für das betroffene (Teil-)System durchgeführt wird.

Auch hierfür können bewährte Prinzipien aus der Informationstechnologie zumindest partiell nachempfunden werden. Dazu gehört beispielsweise die „Chicken Little“- Strategie.

Diese Migrationsstrategie besteht aus kleinen Schritten, die aufeinander aufbauen, wodurch die Migration überschaubar wird, da sie in kleinere Teile aufgespaltet wird. „Chicken Little“ bedeutet dennoch eine vollständige Neuentwicklung des Systems. Die einzelnen Schritte werden im Abschnitt 7. beschrieben.

5.7 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Die Analyse des Standes der Technik und der Entwicklungstendenzen bestätigt den Ansatz des Forschungsprojekts, die Modernisierung von LSA als wichtige Form ihrer Erneuerung zu betrachten und vertieft zu untersuchen. Dabei spielen folgende stichwortartig genannten Rahmenbedingungen eine wichtige Rolle:

Nachhaltige Nutzung der Verkehrsinfrastruktur; hohes Verkehrsaufkommen bewältigen; Wirkungen von Eingriffen gering halten; wirtschaftliche Rentabilität von Investitionen und betrieblichen Aufwendungen gewährleisten; ressourcenschonendes Vorgehen; Verminderung umweltbelastender Nebenwirkungen (Lärm, Schmutz, Schadstoffe, eingeschränktes Recycling).

Für die Modernisierung von LSA und ihrer Komponenten gibt es eine Vielzahl technischer Hinweise und Lösungen sowie erkennbarer Entwicklungstendenzen. Es ist jedoch festzustellen, dass nachnutzbare Konzepte als konkrete Handlungsanleitungen eher nicht zu finden waren.

Das gilt auch für die Frage nach der „LSA der Zukunft“. Sie lässt sich im Rahmen dieser Forschungsarbeit nicht abschliessend beantworten. Kooperative Systeme zwischen Fahrzeugen und stationären verkehrstechnischen Ausrüstungen sowie mobiltelefongestützte Anwendungen, auch für Fussgänger und Velofahrende sind offensichtlich zu erwartende technische Zukunftstrends. Gegenwärtig sind sie in Forschung und Entwicklung, teilweise in Pilotanwendungen zu finden. Das genügt heute und vermutlich mittelfristig noch nicht, um daraus konkrete und verbindliche Modernisierungskonzepte für LSA erarbeiten zu können.

6. Wirtschaftliche Aspekte der Modernisierung

6.1 Grundlagen

Neben den technikorientierten Entwicklungen stehen für die Betreiber bei der LSA-Modernisierung wirtschaftliche Aspekte im Vordergrund. Dazu gehören die Investitions- und Betriebskosten, der Nutzen von Massnahmen und die Erhaltung bzw. Steigerung der monetär zu bewertenden Anlagensubstanz.

Das Ergebnis einer Kosten – Nutzen - Analyse gibt Auskunft, ob sich die Realisierung eines Projekts im Vergleich zum Referenzfall aus Sicht der ökonomischen Effizienz lohnt, d.h. ob die volkswirtschaftlichen Nutzen des Projekts höher sind als dessen volkswirtschaftliche Kosten. Zusätzlich können mit der Kosten- Nutzen - Analyse verschiedene Projekte oder Projektvarianten miteinander verglichen werden und bezüglich ihrer Vorteilhaftigkeit in eine Rangliste gebracht werden. Dies erlaubt es, die knappen finanziellen Mittel so einzusetzen, dass der volkswirtschaftliche Nutzen am grössten ist.

Die Schweizer Norm SN 641 820 „Kosten – Nutzen – Analysen im Strassenverkehr“ gilt für die Bewertung der volkswirtschaftlichen Effizienz von Infrastrukturinvestitionen im Strassenverkehr. Sie regelt die zusammenfassende Bewertung aller monetären Aspekte von Infrastrukturinvestitionen und politischen Massnahmen im Strassenverkehr. Die Norm definiert die betriebswirtschaftliche Analyse als eine Bewertung der betriebswirtschaftlichen Rentabilität, bei der nur die Kosten und Nutzen berücksichtigt werden, die für den Betreiber der Infrastruktur relevant sind. Die betriebswirtschaftliche Analyse ist eine Teilbilanz der Kosten – Nutzen - Analyse.

Als Ersatzinvestitionen werden Investitionen bezeichnet, welche während der Nutzungszeit einer Infrastruktur nötig werden, um deren Funktionsfähigkeit aufrechtzuerhalten. Dabei sind grundsätzlich zwei Arten zu unterscheiden

- Planmässige Ersatzinvestitionen, die bereits zum Zeitpunkt des Infrastrukturbaus erwartet werden, z.B. wegen unterschiedlicher Lebensdauer von verschiedenen Elementen einer Infrastruktur. Planmässige Ersatzinvestitionen müssen in der Kosten-Nutzen-Analyse für das ganze Projekt berücksichtigt werden.
- Ausserplanmässige Ersatzinvestitionen, welche unerwartet anfallen (z.B. Ersatzinvestitionen wegen einer Beschädigung der Infrastruktur durch einen Unfall).

Im Weiteren bezeichnet die Norm ein Projekt als ein definiertes Bündel von Massnahmen, welches eine bestehende Situation im Strassennetz in einen neuen Zustand überführt.

Der Referenzfall ist die Entwicklung, die eintreffen würde, wenn im untersuchten Fall keine Massnahmen getroffen würden.

Mit dem Reparaturkosten- oder Ersatzkosten- Ansatz werden Güter bewertet, für die es keinen Markt gibt. Dabei werden die Kosten von Massnahmen ermittelt, die den entstandenen Schaden reparieren oder das beschädigte Gut ersetzen.

Reserveinvestitionen sind Vorinvestitionen im Rahmen eines Projekts A, die aber eigentlich Teil eines anderen Projekts B sind, welches eventuell zu einem späteren Zeitpunkt gebaut wird.

Eine volkswirtschaftliche Analyse ist eine Bewertung aller relevanten (positiven und negativen) Auswirkungen eines Projekts (im Gegensatz zur betriebswirtschaftlichen Analyse, in der die betriebswirtschaftliche Rentabilität untersucht wird). Die Kosten- Nutzen - Analyse ist eine volkswirtschaftliche Analyse (der monetarisierbaren Auswirkungen).

Die Norm SN 640907 „Grundlagen zur Kostenberechnung im Erhaltungsmanagement“ beschreibt die einzelnen Komponenten der Gesamtkosten, zeigt das Verfahren zu deren Berechnung auf und weist auf die verschiedenen Anwendungszwecke der Gesamtkosten im Erhaltungsmanagement hin.

Die Gesamtkosten setzen sich aus den Objektkosten, Strassennutzerkosten und Kosten Dritter zusammen, die über einen festgesetzten Zeitraum, bezogen auf ein bestimmtes Objekt (z. B. Strassenabschnitt, Route) anfallen. Diese Kosten sind auf einen vorzuziehenden Zeitpunkt zu aktualisieren.

Lebenszykluskosten (Whole life cost) besteht aus der Berechnung der Gesamtkosten, bezogen auf ein Objekt oder eine Objektgruppe und für einen bestimmten, längerfristigen Zeitraum, unter Berücksichtigung der allgemeinen wirtschaftlichen Entwicklung (ausgedrückt in Höhe des zur Aktualisierung der Kosten einzusetzenden Diskontsatzes) und des «Restwertes» des betrachteten Objekts (oder der betrachteten Objekte).

Zu den Objektkosten gehören Infrastrukturkosten und Betreiberkosten, die oft als Bau- lastträgerkosten bezeichnet werden.

Die Strassennutzerkosten umfassen die Fahrzeit-, Fahrzeugbetriebs- und Unfallkosten (derjenige Anteil, welcher durch den Verkehrsteilnehmer zu tragen ist) und werden ausschliesslich durch die Verkehrsteilnehmer getragen.

Die Kosten Dritter sind Immissionskosten, welche infolge Verkehr oder Erhaltungsarbeiten an Anwohner und Umwelt entstehen. Dazu kommt ebenso ein Teil der Unfallkosten (bzw. Unfallfolgekosten), welcher nicht durch den Verkehrsteilnehmer, sondern durch die Allgemeinheit zu tragen ist.

Die Lebensdauer (Gebrauchsdauer) des Objekts ist die Zeitdauer, während der sich der bauliche Zustand des Objekts innerhalb einer definierten Grenze bewegt. Der monetäre Wert am Ende des betrachteten Zeitraums eines Objektes gilt als sein Restwert. Der Wiederbeschaffungswert entspricht den Kosten, welche erforderlich sind, ein aus dem

Betrieb ausgeschiedenes Objekt zu ersetzen.

Objektkosten, Strassennutzerkosten und Kosten Dritter bilden die Kostenträger. Für die hier vor allem relevanten Objektkosten werden folgende Kostenarten bestimmt:

- Neubaukosten
- Erhaltungskosten, bestehend aus Kosten für:
 - Betrieblichen Unterhalt
 - Baulichen Unterhalt (Reparaturen, Instandsetzung, Erneuerung)
 - Verkehrsüberwachung
 - Rückbau und Entsorgung

Bei der Berechnung der Gesamtkosten sind bestimmte Bedingungen zu berücksichtigen. So soll die Gesamtkostenberechnung bei wirtschaftlichen Vergleichsuntersuchungen im Erhaltungsmanagement mindestens die erwartete Lebensdauer (Gebrauchsdauer) des betrachteten Objektes umfassen.

Der für die Auf- und Abzinsung (Aktualisierung) der Objektkosten (Investitionskosten) einzusetzende Diskontsatz muss jeweils festgelegt werden. Zurzeit liegt er in der Schweiz bei ca. 3 bis 4% (Durchschnitt aus letzten fünf Jahren). Für die langfristige Betrachtung wird er als Durchschnittswert geschätzt.

Die Formeln zur Berechnung der Gesamtkosten sind in SN 640 907 aufgeführt. Die Norm enthält jedoch keine für das Erhaltungsmanagement von LSA geeigneten Kostensätze, so dass hier ein neuer Ansatz für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen von Modernisierungsmassnahmen erforderlich wird (siehe 6.2).

Einen weiteren wichtigen wirtschaftlichen Aspekt stellen die Doppelte Buchführung (Doppik) und die mit ihr verbundene Anlagenbewertung dar. Doppik ist ein Kunstwort, das den Begriff doppelte Buchführung abkürzt. Zum 1.1. 2007 führt der Bund in der Schweiz die Rechnungslegung nach den International Public Sector Accounting Standards (IPSAS) with Reporting Under the Accrual Basis of Accounting ein.

Bei den Kommunen und beim Staat werden in der doppischen Bilanz das Aktivvermögen und das Passivvermögen dargestellt. Obwohl es den Verwaltungen zuförderst um Solidarität und um Gemeinwohlmaximierung gehen muss, sind sie verpflichtet sich wirtschaftlich zu verhalten. Es gilt das Minimalprinzip (die notwendigen Aufgaben mit dem geringsten Mitteleinsatz zu erledigen) und das Maximalprinzip (mit den vorhandenen Mitteln möglichst viele Aufgaben zu erledigen).

Das für die Modernisierung von LSA als Teil der Verkehrsinfrastruktur wichtige Thema der Anlagenbewertung findet sich auch in Veröffentlichungen des Weltstrassenverbandes (PIARC) wieder und gehört zum Road Asset Management. Dieses wird definiert als „a systematic process of maintaining, upgrading and operating assets, combining engineering principles and economic rationale and providing tools to facilitate a more organized and flexible approach to making the decisions necessary to achieve the public expectations.“

6.2 Spezifische Bedingungen bei Lichtsignalanlagen

Für die Modernisierung von Lichtsignalanlagen als Teilaufgabe im Erhaltungsmanagement sind folgende Kostenarten zu berücksichtigen:

- die Investitionskosten beim Neubau der LSA, differenziert nach den Komponenten und in Summe,
- die planmässigen jährlich anfallenden betrieblichen Unterhaltskosten,
- die nicht planbaren, bisher erforderlichen baulichen Unterhaltskosten.

Die Zusammenhänge zwischen den Kostenarten zeigt Abbildung 4. Die Investitionskosten für den LSA – Neubau erhalten den normierten Wert 100. Basierend auf den Befragungsergebnissen in VSS 2005/304 werden die jährlichen planmässigen betrieblichen Unterhaltskosten mit 2% der Investitionskosten angesetzt. Für nicht planbare bauliche Unterhaltskosten (Reparaturen, Teilersatz) werden jährlich bis zum 20. Betriebsjahr 1% der Investitionskosten veranschlagt. Danach wird eine Rate von 2% angenommen, wenn zu diesem Zeitpunkt keine Erneuerung von Komponenten vorgenommen wurde, deren normative Nutzungsdauer abgelaufen ist. Kostenmindernde Garantieleistungen von Lieferanten werden in Abbildung 4 nicht gesondert dargestellt.

Im Jahr 0 zum Zeitpunkt der Anlagenerrichtung treten einmalig die Investitionskosten von 100 auf. Zur Verdeutlichung wird dieses Investitionskostenniveau über alle Betriebsjahre hinweg als horizontale Linie dokumentiert. Die Linie Unterhaltskosten zeigt die Entwicklung der planbaren und der angenommenen nicht planbaren Kosten bis zum 40. Betriebsjahr auf, das der durchschnittlichen Gesamtlebensdauer einer LSA entspricht.

Im dreissigsten Jahr erreicht die Summe der Unterhaltskosten den Wert der ursprünglichen Investitionskosten. Diese Aussage ist allerdings noch nicht relevant für Entscheidungen zur Erneuerung der LSA. Vielmehr ist zu fragen, wie sich das Verhältnis von planbaren zu nicht planbaren Kosten entwickelt. In Abbildung 4 werden die linearen Anstiege der beiden Kurven nur einmal variiert, wenn ab dem Jahr 20 eine höhere jährliche Rate der nicht planbaren Kosten zugrunde gelegt wird. Das ist zugleich das erste „Zeitfenster“ für die Entscheidung zu Modernisierungen. Zum einen könnten hier nicht planbare Kosten deutlich reduziert und zum anderen durch energiesparende Komponenten die planbaren Kosten verringert werden.

Für praktische Entscheidungen ist es zunächst sinnvoll festzustellen, ob und wenn ja wann der Anteil der nicht planbaren Kosten gleich oder höher wird als der der planbaren Kosten. Zur generellen Beurteilung des Modernisierungsbedarfs jedoch wird ein Kostenentwicklungsfaktor K berechnet:

$$K = \frac{\text{Betriebskosten} + \text{Reparaturkosten}}{\text{Investitionskosten}}$$

Betriebskosten: Energie- und planmässige Wartungskosten.

Reparaturkosten: Material- und Leistungskosten für die Reparatur bzw. den Austausch defekter Bauteile oder für andere Arbeiten zur Wiederherstellung der Betriebsfähigkeit der LSA.

Investitionskosten: Beschaffungskosten zum Zeitpunkt der LSA – Errichtung, korrigiert mit einem Preisindex. Ist dessen Ermittlung zu aufwändig, so sind die Wiederbeschaffungskosten zum Zeitpunkt der Kostenbeurteilung anzusetzen.

Aus dem Kostenentwicklungsfaktor können folgende Aussagen zur Erneuerung bzw. Modernisierung abgeleitet werden:

$K < 0,5$	Erneuerung nicht erforderlich
$0,5 < K < 1$	Erneuerung prüfen
$K > 1$	Modernisierung erforderlich

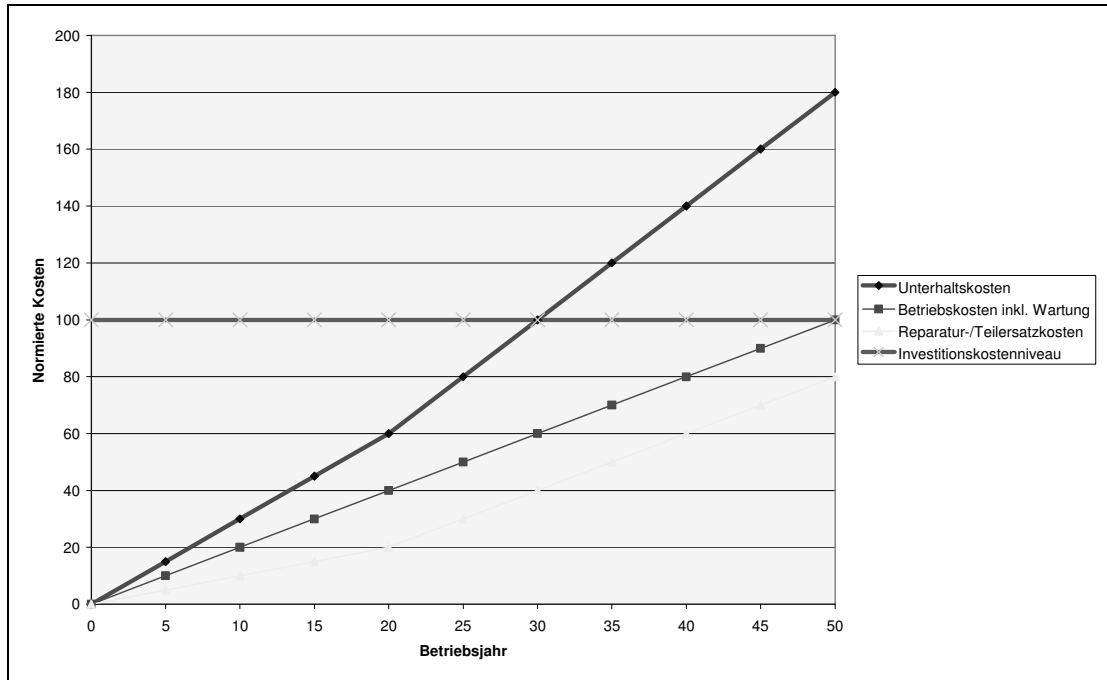


Abbildung 4 Zusammenhänge zwischen den Kostenarten

Neben dem Kostenverlauf ist die Entwicklung der Anlagenwerte ein weiterer wesentlicher Faktor für Modernisierungsentscheidungen. Er hängt von den Beschaffungskosten und den Abschreibungen ab.

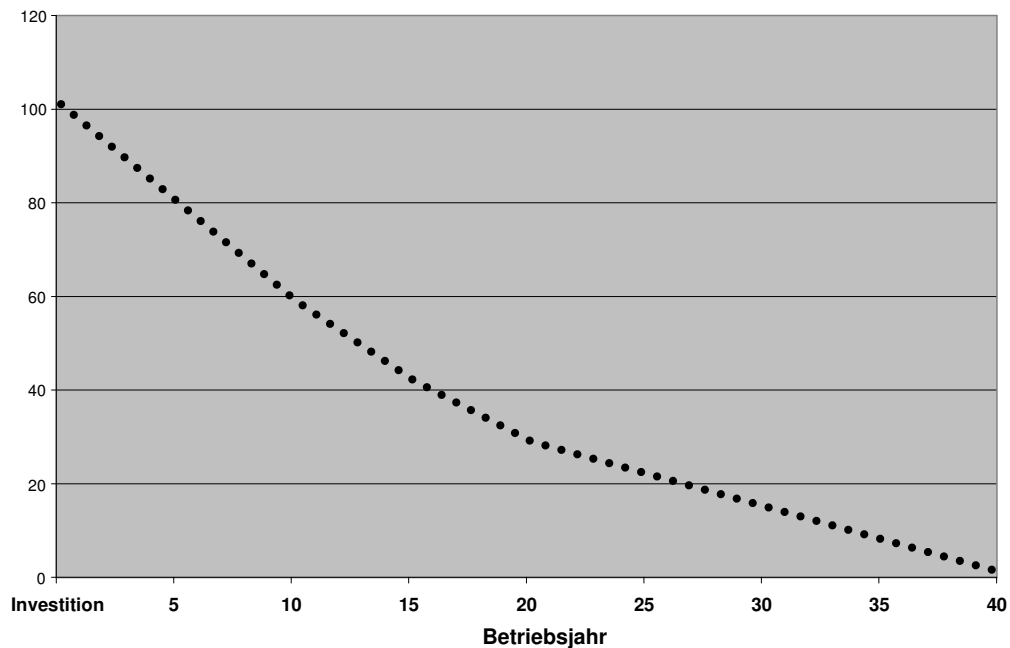
Die Lebensdauern der verschiedenen LSA– Komponenten unterscheiden sich bekanntermaßen deutlich [VSS 2005/304]. Das wird in Abbildung 5 gezeigt. Die angegebenen Werte werden im Weiteren auch als Normative Nutzungsdauern (NND) verwendet.

Kabelanlagen							
Signalgeber				Maste			
Steuergerät							
Detektoren							
5	10	15	20	25	30	35	40
→ Lebensdauer (in Jahren) →							

Abbildung 5 Durchschnittliche Lebensdauern von LSA – Komponenten

Die Unterschiedlichkeit der Komponentenlebensdauern führt auch bei linearer Abschreibung zu einem nicht stetigen Rückgang des Gesamtanlagenwertes, wie es Abbildung 6 zeigt. Für die Investitionen werden auf die Summe 100 normierte Währungseinheiten angegeben, die in Relation zur durchschnittlichen Aufteilung der Beschaffungskosten für die einzelnen Komponenten stehen:

Komponente	Investition (Währungseinheiten)
Kabel	32
Maste	24
Signalgeber	24
Detektoren	8
Steuergerät	12
Summe	100

Normierter Anlagenwert**Abbildung 6 Entwicklung des Anlagenwertes einer LSA**

Die LSA verliert im ersten Viertel ihrer Betriebsdauer ca. die Hälfte des Anlagenwertes, im zweiten Viertel der Lebensdauer nochmals ein Viertel des Anlagenwertes, so dass nach 20 Jahren (am Anfang der zweiten Lebenshälfte) nur noch ein Anlagenwert besteht, der ca. 25% der Investition beträgt.

Die Abbildung 6 berücksichtigt nicht, dass durch Teilersatz oder Erneuerungen von Komponenten der Anlagenwert steigt. In VSS 2005/304 wurde an einem allgemeinen Beispiel demonstriert, wie die Erneuerung von einigen Komponenten (Steuergerät, Signalgeber, Detektoren) im 20. Betriebsjahr den Anlagenwert erhöht. Dieser Zeitpunkt wurde gewählt, weil die NND von Detektoren und teilweise von Steuergeräten überschritten und die von Signalgebern erreicht wird. Das bedeutet, der auf ca. 40 Jahren angesetzten Betriebsdauer einer LSA wird durch Erneuerung der vorgängig genannten Komponenten gesplittet zu einen einmaligen Zyklus für Maste und Kabelanlagen und zwei Zyklen für Steuergeräte, Signalgeber und Detektoren.

Aus der anlagenwertbezogenen Analyse ergeben sich zwei „Zeitfenster“ für die Modernisierung. Das eine liegt bei etwa der Hälfte des Gesamtlebenszyklus, das zweite an seinem Ende. Wird das erste Fenster nicht genutzt, so gelangt man nicht automatisch zum zweiten, da zu erwarten ist, dass der reale Anlagenzustand in Korrelation zum immer niedriger werdenden Anlagenwert vorherige Erhaltungsmaßnahmen erfordert.

Zur wirtschaftlichen Beurteilung der LSA- Modernisierung gehört neben der Objektkostenanalyse auch die volkswirtschaftliche Nutzen – Kosten – Bewertung, die neben den internen Baulastträgerkosten auch die externen Strassennutzer- bzw. Kosten Dritter einschliesst.

Der Nutzen von Modernisierungsmassnahmen tritt sowohl intern als auch extern auf. Erneuerte Anlagen auf dem aktuellen Stand der Technik sollen energieeffizienter, wartungsärmer und fehlerresistenter als die sein. Das führt zu einer Verringerung bei den planbaren und vor allem bei den nicht planbaren internen Kosten. Nicht zu unterschätzen sind jedoch höhere Aufwendungen, die bei der Softwarepflege entstehen, vor allem bei verkehrstechnischen Applikationen, deren Qualität im laufenden Betrieb beurteilt werden und ggf. verbessert werden muss.

Der externe Nutzen modernisierter LSA realisiert sich vor allem durch optimierte Steuerungen mit monetarisierbaren Zeitgewinnen bei den Verkehrsteilnehmenden, z. B. durch

kürzere Wartezeiten beim MIV bzw. beschleunigte Fahrten öffentlicher Verkehrsmittel. Ein weiterer externer Nutzen entsteht durch die höhere Verfügbarkeit der LSA und damit weniger ausfallbedingter Unfallrisiken mit ihren Folgekosten. Schliesslich tragen moderne LSA mit verkehrsabhängigen Steuerungen vermehrt zur Reduzierung des Kraftstoff-/Stromverbrauchs und von Emissionen bei. Auch diese Effekte sind monetarisierbar.

Der Einschluss des externen Nutzens in die monetäre Bewertung von Modernisierungsmassnahmen setzt das Vorhandensein geeigneter Kostensätze für die vorgenannten Kenngrössen voraus. Diese lassen sich aus einschlägigen Normen entnehmen oder müssen spezifisch ermittelt werden. Im Rahmen dieser Forschungsarbeit sind hierfür keine vertiefenden Untersuchungen vorgesehen.

Neben den genannten wirtschaftlichen Bedingungen stellen sich für Entscheidungen zur LSA- Modernisierung weitere Fragen.

- Sollten bei Modernisierungen alle anfallenden Kosten entscheidungsrelevant sein oder nur die Mehrkosten im Vergleich mit einer Erneuerung auf dem gleichen Niveau?

Mehrkosten bei der Modernisierung entstehen meist dann, wenn zusätzliche Ausrüstungen, z. B. Detektoren, beschafft werden. Diese sind in Kostenvergleiche einzubeziehen. Weniger generell lässt sich das für zu ersetzende Komponenten sagen, da neue Produkte nicht zwangsläufig teurer sein müssen als vorhandene. Ausserdem ist zu prüfen, ob ggf. höhere Beschaffungskosten durch niedrigere Unterhaltskosten ausgeglichen werden.

- Wegen der funktionalen Abhängigkeit der Komponenten untereinander können häufig keine Einzelentscheide zu Komponenten, sondern nur zur gesamten Anlage getroffen werden, oftmals auch zu mehreren LSA, wenn diese miteinander in Verbindung stehen. Wie ist diese Entscheidungskaskade wirtschaftlich zu beurteilen?

Die internen und externen Abhängigkeiten von LSA (Komponenten) bestehen in der Regel unabhängig vom Erneuerungsbedarf. Der Teilersatz von Komponenten innerhalb der NND findet deshalb meist nicht als Modernisierung statt. Wird die NND überschritten bzw. zeichnen sich Restriktionen bei der Ersatzteilverfügbarkeit ab, so kann auf einen Vergleich der Investitionskosten (ohne bzw. als Modernisierung) verzichtet werden. Sollen zusätzliche Ausrüstungen beschafft werden, um verkehrliche oder Umweltaanforderungen besser erfüllen zu können, und zwingt dies zu umfassenden Erneuerungen mehrerer LSA, so sollten die Entscheidungen unter Einschluss der volkswirtschaftlichen Nutzen - Kosten - Beurteilung getroffen werden.

- Schliesst der in VSS 2005/304 gezeigte Zusammenhang von sich verkürzenden Lebensdauern hochwertiger elektronischer Bauteile und dem daraus resultierendem schnelleren Rückgang des Anlagenwerts dessen Berücksichtigung bei der wirtschaftlichen Entscheidungsfindung aus?

Diese Frage stellt sich nicht nur beim Thema LSA- Modernisierung, sondern in einer Vielzahl von Bereichen, in denen technische Innovationen prägend sind. Hier ist zu unterscheiden zwischen einer tatsächlichen Verkürzung der Lebensdauer, was nicht das Ziel der Modernisierung sein kann, und der Möglichkeit, das schneller als bisher neue Produkte auf den Markt kommen. Das wiederum muss aber nicht zur Folge haben, dass diese ihre Vorgänger vor Ablauf der NND ersetzen.

Verkürzen sich jedoch real die NND von LSA- Komponenten, so werden infolge des damit verbundenen stärkeren Anlagenwertrückgangs die „Zeitfenster“ für die Modernisierung schneller erreicht als bisher. Dadurch vergrössert sich tendenziell auch der Kostenentwicklungsfaktor K, wenn die technische Innovation nicht zu einer ausgleichenden Verringerung der Unterhaltskosten führt.

Es lässt sich schlussfolgern, dass der Anlagenwert weiterhin zu berücksichtigen ist, jedoch noch stärker im Zusammenhang mit dem Kostenentwicklungsfaktor. Damit wäre auch weiterhin die langfristige wirtschaftliche Optimierung des LSA- Unterhalts möglich.

- Zur Budgetsicherung für Modernisierungsmassnahmen ist aus Sicht der bewilligenden Stellen ein langfristiger Finanzplan mit stetigen Ausgaben das geeignete Mittel. Wie verträgt sich das mit ggf. erforderlichen azyklischen Investitionen?

Azyklische Investitionen werden oftmals aufgrund von top- down- Anforderungen an die LSA- Erneuerung erforderlich. Ebenso können sie als Ergebnis mangelnder Unterhaltsleistungen notwendig werden, wobei in diesem Fall der bestehende Finanzplan zu einseitig auf nur dringende Reparaturen und ansonsten Wiederbeschaffungen ausgerichtet sein dürfte. Während im ersten Fall, z. B. bei grösseren strassenbaulichen Projekten, die für die azyklische Investition erforderlichen Mittel meist zusätzlich zur Verfügung stehen, kann es im zweiten Fall zu Budgetverschiebungen kommen.

Ein genereller Lösungsansatz für den möglichen Widerspruch zwischen langfristiger Finanzplanung und azyklischen Investitionen besteht in der Schaffung variierbarer Rahmenfinanzpläne. Solche Pläne verbinden zyklischen Erneuerungsmassnahmen und azyklische Anforderungen in der Weise, dass die jährlichen Budgetanteile nicht vollständig auf planmässige Projekte aufgeteilt werden. Je nach Bedarf können die „freien“ Mittel für zusätzliche Massnahmen oder für turnusmässige Erneuerungen eingesetzt werden. Das muss jedoch mit der technischen Erhaltungsplanung korrelieren (VSS 2005/304).

7. Erarbeitung eines Leitfadens

7.1 Einleitung

Für die Planung und Umsetzung von LSA- Modernisierungsmassnahmen braucht es verkehrs-/technisches Know How und geeignete Verfahren, um den beschriebenen Entwicklungstrends für LSA und ihren Komponenten und den realen örtlichen Bedingungen Rechnung tragen zu können. Das ist vor allem deshalb wichtig, weil die Entscheidungen wirtschaftlich angemessen und auf lange Sicht angelegt sein sollen.

Bei der Planung von Modernisierungsmassnahmen sollten folgende Faktoren berücksichtigt werden:

- Stadt- und verkehrsplanerische Vorgaben inkl. Verkehrssystemmanagementplanung
- Aktuelle und erwartete verkehrliche Bedingungen (aller Verkehrsarten)
- Zunehmende Umweltschutzanforderungen
- Gegenwärtiger technischer Anlagenzustand und Betriebsorganisation
- Prüfung der vorhandenen Ausrüstungen und Funktionalitäten auf ihre tatsächliche Nutzung bzw. Nutzbarkeit, ggf. Reduzierung des Ausstattungsumfangs
- Wirtschaftliche Parameter (Anlagenwert, Beschaffungs- und laufende Kosten)
- Anwendbare neue technisch- technologische Entwicklungen

Stadt- und verkehrsplanerische Vorgaben zu berücksichtigen, geschieht entweder vorgängig oder parallel zur LSA- Massnahmenplanung.

Vorgängig bedeutet, dass auf Grundlage von meist übergeordneten Beschlüssen die Vorgaben gesetzt sind und verbindlich eingehalten werden müssen.

Die Notwendigkeit einer parallelen Beurteilung von übergeordneten und objektbezogenen Vorgaben ergibt sich meist dann, wenn geklärt werden soll, wie bei der künftigen Gestaltung der örtlichen Strassen(-infrastruktur) mit bestehenden elektromechanischen Ausrüstungen umzugehen ist. Ein typisches Beispiel hierfür ist die Frage, ob die Erhöhung der Verkehrssicherheit oder der Leistungsfähigkeit an einem Knotenpunkt durch eine LSA- Modernisierung erreicht werden kann oder ob die bauliche Einrichtung eines Kreisels geeigneter ist. Das führte dann zu einem Rückbau und nicht zur Modernisierung der LSA.

Bei der Einschätzung der aktuellen und erwarteten verkehrlichen Bedingungen am Kno-

tenpunkt, im Strassenzug oder (Teil-) Gebiet kommt der verkehrstechnischen Erhaltung eine besondere Bedeutung zu. Sie beinhaltet die Überprüfung der verkehrlichen Abläufe an einer LSA im Rahmen des Erhaltungsmanagements. Daraus können Anforderungen zur Modernisierung entstehen.

Die Bewertung von Modernisierungsanforderungen aus verkehrlichen Gründen kann mit Verfahren der Qualitätsbeurteilung von Lichtsignalanlagen (OCA– Leitfaden) erfolgen. Wird die erreichte Qualität von Kenngrössen, z. B. die Bedienungsqualität für einzelne Verkehrsteilnehmerarten, als unzureichend beurteilt, so ist zu prüfen, ob sich durch Modernisierungsmassnahmen Verbesserungen erreichen liessen.

Im Erhaltungsmanagement stellt sich, nachdem die Zustandserfassung/-bewertung durchgeführt worden ist, für die Betreiber die Frage: Sollte die LSA erneuert werden und wenn ja auf welche Weise? Sollen die Anlage oder Komponenten auf gleichem Stand der Technik ersetzt oder modernisiert werden?

Zur Unterstützung der Entscheidungsfindung wurde der nachstehende Leitfaden erarbeitet. Er orientiert sich im Wesentlichen am Bottom– up– Ansatz und geht von den Aufgaben nach SN 640 960a aus. Das beschriebene Vorgehen lässt sich auch bei der Umsetzung von Top– down– Anforderungen anwenden.

Der Leitfaden ist wie folgt aufgebaut:

- Kurzbeschreibung des organisatorischen Ablaufs der Modernisierung (7.2)
- Grobbeurteilung zur Notwendigkeit der Modernisierung (7.3)
- Detailbeurteilung ausgewählter Kriterien (7.4)
- Entwicklung von Migrationsstrategien (7.5)
- Hinweise zur verkehrs- und betriebssicheren Modernisierung (7.6)

7.2 Organisatorischer Ablauf der Modernisierung

Modernisierung ist entsprechend der im Kapitel 3 gegebenen Definition eine Form der Erneuerung und die organisatorischen Abläufe entsprechen den Prozeduren des Erhaltungsmanagements. Das sind:

- Inventarisierung (Hinweis: Bestandspflege mit modernisieren)
- Zustandserfassung
- Zustandsbewertung
- Massnahmenplanung (Warum, was neu und welche neue Qualität im Sinne der Modernisierung ist erforderlich?)
- Massnahmenrealisierung und Baustellenplanung (siehe hierzu auch 7.5)

Die hierzu vorhandenen Beschreibungen können dem Forschungsbericht VSS 1203 „Verkehrsregelungssysteme – Grundlagen für das Erhaltungsmanagement“ entnommen werden.

Für die Zustandserfassung/-bewertung wird in Tabelle 2 eine in der Praxis gebräuchliche Liste vorgestellt. Anlage 2 enthält ein Beispiel das die Zustandserfassung/-bewertung konkret demonstriert.

Gemeinde:				LSA- Nr.		Inbetriebnahme:	
Anlage:							
Beurteilung des Anlagenzustands							
Steuergerät		Typ:		Gehäuse:			
Zustand/ Funktionsfähigkeit						Stromzähler:	
Signalmasten							
Normalmast		Anzahl:		beschädigt:		Sicherungstür	
Beleuchtungsmast		Anzahl:		beschädigt:		Sicherungstür	
Bogenmast		Anzahl:		beschädigt:		Sicherungstür	
Winkelmast (Beleuchtungsaufsatz)		Anzahl:		beschädigt:		Sicherungstür	
Signalbrücke		Anzahl:		beschädigt:		Sicherungstür	
Anmeldemittel							
				i. O.			
FZ-Detektoren							
Bus-Detektoren							
Velo-Detektoren							
Fussgängertaster				mit taktilem Signal:		Quittierung vorhanden:	
FZ Detektoren 2-fach Auswerter				Typ:			
FZ Detektoren 4-fach Auswerter				Typ:			
Bus 2-fach Auswerter							
Decodierempfänger				Sesam Dialog		anderer	
Signalgeber							
				i. O.			
FZ Horizontal ÜK 3er 300mm		Voll:		Pfeil:		Normenkonform:	
GL, NV, H, FO, LED*		Rot:		Gelb:		Grün:	
						ja	
						nein	
FZ Vertikal ÜK 3er 300mm		Voll:		Pfeil:		Normenkonform:	
GL, NV, H, FO, LED*		Rot:		Gelb:		Grün:	
						ja	
						nein	
FZ 3er 200mm		Voll:		Pfeil:		Normenkonform:	
GL, NV, H, FO, LED*		Rot:		Gelb:		Grün:	
						ja	
						nein	
FG 3er 200mm		Voll:		Pfeil:		Normenkonform:	
GL, NV, H, FO, LED*		Rot:		Gelb:		Grün:	
						ja	
						nein	
Velo 3er 200mm						Normenkonform:	
GL, NV, H, FO, LED*		Rot:		Gelb:		Grün:	
						ja	
						Nein	
FZ 2er 200mm		Voll:		Pfeil:		Normenkonform:	
GL, NV, H, FO, LED*		Rot:		Gelb:		Grün:	
						ja	
						Nein	
FG 2er 200mm						Normenkonform:	
GL, NV, H, FO, LED*		Rot:		Gelb:		Grün:	
						ja	
						Nein	
FZ 1er 200mm		Voll:		Pfeil:		Normenkonform:	
GL, NV, H, FO, LED*		Rot:		Gelb:		Grün:	
						ja	
						Nein	
* GL = Glühlampe; NV = Niedervolt; H = Halogen; FO = Faseroptik; LED							
Velo 3er 100mm						Normenkonform:	
GL, NV, H, FO, LED*		Rot:		Gelb:		Grün:	
						ja	
						Nein	
Bus 1er 300mm				Punktsignal		Normenkonform:	
Bus 1er 200mm				Punktsignal		Normenkonform:	
Warnblinker						Normenkonform:	
Blinkerpfeil						(nicht Normenkonform)	

Wechselsignal							
BSS	kein Vortritt:		Stop:				
Kontrastblende				Normenkonform:		ja	Nein
Schute	i. O. defekt		defekt			fehlt	
Allgemein							
Funkuhr							
Infrarotradar							
Handsteuerung							
Klemmenkasten							
Koordinator							
Kommunikationsunterstation / Anschluss Verkehrsrechner							
Kommunikationsinterface klein / Anschluss Koordinator							
Modem / Miniplex							
Betriebszustand							
Einschaltbild							

Tabelle 2 Liste für Zustandserfassung/-bewertung

Neben den in Tabelle 2 enthaltenen Bewertungen des technischen Anlagenzustands spielt bei Anlagenerneuerungen/ Modernisierungen die Beurteilung der Qualität der LSA mit Hilfe der Kriterien Verkehrssicherheit und Verkehrsablauf eine grosse Rolle. Hierfür wurde in VSS 2005/303 das oben genannte Verfahren der Verkehrstechnischen Erhaltung entwickelt. Dieses wird in den Normenentwurf in Kapitel 8 mit aufgenommen.

7.3 Grobbeurteilung zur Notwendigkeit der Modernisierung

Es ist zweckmässig zu prüfen, welche der in Tabelle 3 aufgeführten Bedingungen und Kriterien zutreffend sind und damit grob zu beurteilen, ob zu Erfüllung der jeweiligen Anforderungen eine Modernisierung notwendig bzw. zweckmässig wäre.

Die zur Prüfung notwendigen Informationen kommen aus der Erfassung und Bewertung des physischen Anlagenzustands, aus der verkehrstechnischen Erhaltung sowie aus übergeordneten Anforderungen.

BEREICH	KRITERIEN	MODERNISIERUNG	
		eher ja	eher nein
Allgemeine Angaben			
	(Stand-)Ort		
	Name der LSA		
	Nummer der LSA		
	Betreiber		
	Datum Grobbeurteilung		
Zustandserfassung			
(Siehe auch Anlage 2)	Reparaturen notwendig		x
	Teilersatz erforderlich		x
	Erneuerung	x	
	Erweiterung	(x)	(x)
	Allgemeines LSA - Erscheinungsbild im Umfeld	(x)	(x)
Verkehrliche Bedingungen			
	Strassenbauliche Massnahmen	(x)	
	Verkehrsunfallauswertung	(x)	(x)
	Änderungen der Verkehrsstromaufteilungen bzw. Verkehrsstärken	(x)	

BEREICH	KRITERIEN	MODERNISIERUNG	
	Bevorzugte Behandlung von Verkehrsarten (ÖV)	x	
	Einsatz neuer oder umfänglicherer Steuerverfahren (Verkehrsabhängigkeit, Koordinierung)	x	
	Bewegungserfassung für Fussgänger	x	
	Höhere Umweltschutzanforderungen	x	
Betriebliche Bedingungen			
	Ausfallrate der LSA steigt aufgrund anlagenbedingter Fehler	x	
	Monitoring wird eingeführt mit Zustands- und Fehlerinformationen	x	
	Datenaustausch mit Zentralen soll stattfinden	x	
Wirtschaftliche Bedingungen			
	Instandhaltungskosten steigen überdurchschnittlich	x	
	Ersatzteilsicherung nicht mehr gewährleistet	x	
	Beschaffung neuer Ausrüstungen ist bei grösseren Stückzahlen kostengünstiger	x	
	Energiekosten sind zu hoch	x	
Technische Bedingungen			
	Wechselseitige Abhängigkeiten zwischen den Komponenten (z. B. Steuergerät– Signalgeber)	x	
	Hard- und Softwareweiterentwicklungen verlangen umfängliche Updates	x	
	Anbindung an Leitebene geplant	x	
	Verbindung mehrerer LSA miteinander verlangt gleichzeitige Anpassungen	x	
	Anzahl der Signalgruppen zu erhöhen	(x)	(x)
	Sichtbarkeit der Signalgeber erhöhen	x	
	Genauigkeit der Detektion erhöhen	x	
	Höhere Umweltschutzanforderungen	x	
Legende	x – trifft zu (x) – trifft bedingt zu		

Tabelle 3 Grobbeurteilung zur Notwendigkeit der Modernisierung

7.4 Detailbeurteilung ausgewählter Kriterien

In den folgenden fünf Schritten wird die Detailbeurteilung ausgewählter Kriterien beschrieben, die Entscheidungen über die Notwendigkeit der LSA– Modernisierung aus anlagentechnischer Sicht unterstützen können. Im Mittelpunkt stehen dabei die konkreten Bedingungen der jeweiligen Lichtsignalanlage (*Die in den nachstehenden Tabellen eingetragenen Werte sind Beispiele und keine Vorgaben*).

Schritt 1 Beurteilung der bisherigen Nutzungsdauer im Vergleich zur Normativen Nutzungsdauer (NND)

Die bisherige tatsächliche Nutzungsdauer der LSA – Komponenten wird mit den Normativen Nutzungsdauern verglichen und bewertet. In Tabelle 4 wird eine Unterteilung in fünf NND - Klassen vorgeschlagen. Als NND können folgende Werte angesetzt werden:

- Kabelanlagen und Signalträger (Maste) 40 Jahre
- Signalgeber (Gehäuse) 20 Jahre
- Steuergerät 15 Jahre
- (Schleifen-) Detektoren 10 Jahre

Die erforderlichen Ist - Daten sind aus den Bestandsunterlagen zu ermitteln.

Die Beurteilung erfolgt über eine Addition der Werte, die sich aus der Multiplikation der Anzahl pro NND - Klasse mit dem zugehörigen Bewertungsfaktor (1 bis 5) ergeben. Die niedrigste Summe S_1 ist 9 (9 Komponenten x Bewertungsfaktor 1) und entspräche einer relativ neuen Gesamtanlage. Der höchste Summenwert S_1 wäre 45 (9 Komponenten x Bewertungsfaktor 5) und bedeutete, dass alle Komponenten länger als die NND im Einsatz wären.

Nutzungsdauer	≤ 0,25 NND	≤ 0,5 NND	≤ 0,75 NND	≤ NND	> NND	
Bewertungsfaktor	1	2	3	4	5	Summe S_1
Komponenten						
ST -. Gehäuse			x			
ST - Hardware			x			
ST - Software			x			
Signalträger		x				
Signalgeber		x				
Detektoren MIV				x		
Detektoren ÖV				x		
Detektoren LV				x		
Kabelanlagen		x				
Anzahl		3	3	3		
Anzahl x Wert		6	9	12		27

Tabelle 4 Beurteilungstabelle Nutzungsdauer

Nach der Ermittlung des Gesamtwertes S_1 sollte nochmals geprüft werden, wie unterschiedlich die Bewertung der einzelnen Komponenten ausfällt. Daraus kann schon pauschal abgeleitet werden, ob eine Erneuerung/ Modernisierung einzelner Komponenten oder der gesamten LSA in Betracht zu ziehen ist.

Die in der Tabelle 4 eingetragenen Beispielwerte könnten zu einer LSA gehören, deren Steuergerät 10 Jahre oder älter ist, die Signalgeber vor einigen Jahren bereits einmal ausgetauscht wurden und die Detektoren kurz vor ihrem Gebrauchsende stehen.

Schritt 2 Beurteilung der Kostenentwicklung

Im nächsten Schritt sind die Kosten zu bewerten. Hierfür werden die Investitionskosten, die stichtagsbezogenen kumulativen planbaren Kosten des betrieblichen Unterhalts und die seit Inbetriebnahme entstandenen Reparaturkosten betrachtet. Dafür eignet sich ein Kostenentwicklungsfaktor K , der sich wie folgt berechnet:

$$K = \frac{\text{Betriebskosten} + \text{Reparaturkosten}}{\text{Investitionskosten}}$$

Zu den Betriebskosten gehören Energie- und planmäßige Wartungskosten. Reparaturkosten umfassen die Material- und Leistungskosten für die Reparatur bzw. den Austausch defekter Bauteile oder für andere Arbeiten zur Wiederherstellung der Betriebsfähigkeit der LSA. Für die Investitionskosten wären die Beschaffungskosten zum Zeitpunkt der LSA- Errichtung anzusetzen, korrigiert mit einem Preisindex. Dessen Ermittlung erscheint jedoch aufwändig, so dass die Verwendung der Wiederbeschaffungskosten zum Zeitpunkt der Kostenbeurteilung empfohlen wird. Für die Beurteilung der Kostenentwicklung wird vorgeschlagen:

$$\begin{aligned} K < 0,5 & \text{ Wert 1} \\ 0,5 \geq K < 1 & \text{ Wert 3} \\ K > 1 & \text{ Wert 5} \end{aligned}$$

Schritt 3 Beurteilung der Ersatzteilverfügbarkeit (gleichartige Komponenten)

Nachdem die bisherige Nutzungsdauer der einzelnen Komponenten beurteilt worden ist, stellt sich die Frage, ob zu erneuernde Komponenten mit gleichartigen Produkten ersetzbar sind und wie deren Ersatzteilverfügbarkeit einzuschätzen ist. Hierzu wird in Tabelle 5 eine Bewertung in drei Stufen vorgeschlagen. Werden Ersatzteile für die zu erneuernden Komponenten über die gesamte NND als verfügbar angesehen, so wird das mit 1 bewertet. Kann die Verfügbarkeit nicht länger als die halbe NND als sicher beurteilt werden, gibt das den Wert 5. Zwischen der halben und der gesamten NND liegende Einschätzungen könnten den Wert 3 bekommen. Auch diese Beurteilung kann summarisch erfolgen, jedoch ist eine differenzierte Beurteilung der einzelnen Komponenten zweckmässiger.

Ersatzteilverfügbarkeit	$\leq 0,5$ NND	$>0,5; < \text{NND}$	= NND	
Bewertung	5	3	1	Summe S₂
Komponenten				
ST - Gehäuse	x			
ST - Hardware	x			
ST - Software	x			
Signalträger			x	
Signalgeber		x		
Detektoren MIV	x			
Detektoren ÖV	x			
Detektoren LV	x			
Kabelanlagen	x			
Anzahl	7	1	1	
Anzahl x Wert	35	3	1	39

Tabelle 5 Beurteilungstabelle Ersatzteilverfügbarkeit

Die in der Tabelle 5 eingetragenen Beispielwerte könnten zu einer älteren LSA gehören, für deren Steuergerät und Detektoren Ersatzteile nur noch eingeschränkt verfügbar sind. Für Signalgeber wäre mittelfristig noch Ersatz möglich. Die Signalträger sind uneingeschränkt lieferfähig.

Schritt 4 Beurteilung der internen Abhängigkeit von Komponenten

Die sichere Funktion einer LSA hängt in starkem Masse vom zuverlässigen und abgestimmten Zusammenwirken der einzelnen Komponenten ab. Dabei bestehen gegenseitige Abhängigkeiten unterschiedlichen Grades. Das reicht von der unbedingten technischen Kongruenz bis zur Möglichkeit variabler Anwendungen verschiedener Produkte. Dieser Sachverhalt spielt eine wesentliche Rolle bei der Beantwortung der Frage, welche Komponenten gemeinsam erneuert werden müssen und welche nicht unbedingt.

In der Tabelle 6 wird hierzu eine Abhängigkeitsmatrix gezeigt. Die Beurteilung erfolgt in drei Stufen, wobei der Wert 5 anzuwenden ist, wenn Komponenten unbedingt aufeinander abgestimmt sein müssen. Eine bedingte Abhängigkeit wird mit dem Wert 3 beurteilt. Besteht keine Abhängigkeit, so ist der Wert 1.

In Tabelle 6 sind bei Vorhandensein aller aufgeführten Komponenten 36 Werte einzutragen und spaltenweise aufzuaddieren. Daraus resultiert eine theoretische Spannweite der Gesamtsumme S₃ über alle Spalten von 36 bis 180. Erreicht die Beurteilung der internen Komponentenabhängigkeit einen hohen Wert, ist das ein wichtiger Indikator für umfangreichere Massnahmen bei der Anlagenerneuerung und damit für die Modernisierung.

Es ist zu beachten, dass die Modernisierung von LSA bedeuten kann, dass bislang an dieser Stelle nicht vorhandene Komponenten, z. B. LV– Detektoren, neu hinzukommen und das wäre in die Bewertung aufzunehmen.

Komponenten	ST -. Gehäuse	ST – Hardware	ST – Software	Signal- träger	Sig- nal- geber	Detektoren			Summe S ₃
						MIV	ÖV	LV	
ST – Gehäuse									
ST – Hardware	5								
ST – Software	3	5							
Signal- träger	1	1	1						
Signal- geber	1	5	5	3					
Detekto- ren MIV	1	5	5	1	3				
Detekto- ren ÖV	1	5	5	1	3	3			
Detekto- ren LV	1	5	5	3	3	3	3		
Kabel- anlagen	3	3	3	3	3	3	3	3	
Summe Spalten	16	29	24	11	12	9	6	3	110

Tabelle 6 Abhängigkeitsmatrix Komponenten

Die in der Tabelle 6 eingetragenen Beispielwerte könnten zu einer LSA gehören, bei der die Hard- und Softwareausstattung des Steuergeräts und die externen Komponenten (Signalgeber, Detektoren) vollständig kompatibel sein müssen, was sehr häufig vorkommt. Ebenso bestimmt der Umfang der Hardwareausrüstung die Gehäuseform. Notwendig, jedoch nicht so stark einschränkend sind die Bezüge zwischen Signalgebern bzw. Detektoren und Signalträgern sowie zwischen den verschiedenen Detektoren untereinander, z. B. ob Induktionsschleifen sowohl für den MIV als auch für den ÖV genutzt werden, oder ob letzterer ein anderes An-/Abmeldesystem hat.

Schritt 5 Beurteilung der externen Abhängigkeit der LSA

Nachdem die wechselseitigen LSA– internen Abhängigkeiten der Komponenten geprüft und bewertet wurden, sollen im nächsten Schritt die externen Abhängigkeiten beurteilt werden. Diese können sich auf der Feldebene zwischen verschiedenen benachbarten LSA, auf der Leitebene mit dem übergeordneten Verkehrsrechner und schliesslich darüber hinaus mit einem Verkehrsmanagementsystem ergeben. Die Beurteilung der Abhängigkeit wird sich in der Regel nicht für alle LSA– Komponenten als erforderlich erweisen, sondern vorrangig für die Steuergeräte und möglicherweise noch für ausgewählte Detektoren oder das Kabelnetz. Bei benachbarten LSA ist es zudem vorteilhaft, wenn Veränderungen bei den Signalgebern nicht nur an einer Anlage, sondern an allen durchgeführt werden, z. B. der Einsatz von LED– Signalgebern oder von neuen ÖV- Signalen.

In Tabelle 7 wird für die Beurteilung der externen Abhängigkeiten eine weitere Matrix gezeigt. Auch hier steht der Wert 5 für eine unbedingte und der Wert 3 für eine bedingte Abhängigkeit. Liegt eine Abhängigkeit nicht vor, so beträgt der Wert 1.

Es ist zu beurteilen, ob und in welchem Grade für die einzelnen Komponenten Abhängigkeiten mit den externen Anlagen/ Systemen bestehen. Die Bewertung ist zunächst spaltenweise und danach als Gesamtsumme aller drei Spalten durchzuführen. Theoretisch kann die Gesamtsumme S₄ Werte zwischen 12 und 60 annehmen.

Die in der Tabelle 7 eingetragenen Beispielwerte könnten zu einer LSA gehören, die an einen Verkehrsrechner angeschlossen ist, jedoch nicht in ein VM- System. Die Detektoren liefern direkt Daten an den Verkehrsrechner, der auch ihre Funktionstüchtigkeit überwacht. Bei Rechner- oder Verbindungsausfall erfolgt die Koordination direkt zwischen den Steuergeräten benachbarter LSA. Deren Abstand ist so, dass es für die Verkehrsteilnehmenden optisch günstig ist, wenn gleichartige Signalgeber zum Einsatz kommen.

Ebene	Benachbarte LSA	Verkehrsberechner	VM - System	Summe S ₄
Komponenten				
Steuergerät	3	5	1	
Signalgeber	3	1	1	
Detektoren	1	5	1	
Kabelanlagen	3	3	1	
Summe Spalten	10	14	4	28

Tabelle 7 Beurteilung der externen Abhängigkeiten

Vorgehensweise zur Gesamtbeurteilung:

In der Tabelle 8 werden die fünf Beurteilungsschritte in einem Gesamtablauf dargestellt.

Schritt		Kriterienberechnung	Kriterienbeurteilung	Gehe zu		
①	Nutzungsdauer	- Errechnen Summe S ₁ - Bestimmen Anzahl der zu beurteilenden Komponenten Z ₁	S ₁ / Z ₁ < 3 : Erneuerung nicht erforderlich	②		
			3 ≤ S ₁ / Z ₁ < 4 : Erneuerung prüfen		②	
			S ₁ / Z ₁ ≥ 4 : Modernisierung erforderlich			④
②	Kostenentwicklung	Ermittlung von K	K < 0,5: Erneuerung nicht erforderlich			
			0,5 ≤ K < 1: Erneuerung prüfen		③	
			K ≥ 1: Modernisierung erforderlich			④
③	Ersatzteilverfügbarkeit	- Errechnen Summe S ₂ - Bestimmen Anzahl der zu beurteilenden Komponenten Z ₁	S ₂ / Z ₁ < 3 : Teilersatz möglich, Erneuerung nicht erforderlich			
			3 ≤ S ₂ / Z ₁ < 4 : Erneuerung prüfen		④	
			S ₂ / Z ₁ ≥ 4 : Modernisierung erforderlich			④
④	Interne Abhängigkeit	- Errechnen Summe S ₃ - Bestimmen Anzahl der zu beurteilenden Komponenten Z ₂ - Ermitteln der Matrixfelder M _i $M_i = (Z_2^2 - Z_2)/2$	S ₃ / M _i < 3 : Gemeinsame Komponentenerneuerung nicht erforderlich	⑤		
			3 ≤ S ₃ / M _i < 4 : Gemeinsame Komponentenerneuerung prüfen		⑤	
			S ₃ / M _i ≥ 4 : Umfassende Modernisierung erforderlich			⑤
⑤	Externe Abhängigkeit	- Errechnen Summe S ₄ - Bestimmen Anzahl der zu beurteilenden Komponenten Z ₃ - Bestimmen Anzahl der vorhandenen Ebenen E - Ermitteln der Matrixfelder M _e : M _e = Z ₃ x E	S ₄ / M _e < 3 : Gemeinsame Komponentenerneuerung nicht erforderlich			
			3 ≤ S ₄ / M _e < 4 : Gemeinsame Komponentenerneuerung prüfen			
			S ₄ / M _e ≥ 4 : Umfassende Modernisierung erforderlich			

Tabelle 8 Vorgehensweise zur Gesamtbeurteilung

7.5 Entwicklung von Migrationsstrategien

Bestehen externe Abhängigkeiten zwischen den LSA in einem Abschnitt oder Gebiet und ergibt sich aus übergeordneten oder anlagenbezogenen Gründen die Notwendigkeit zur Modernisierung, so sind Migrationsstrategien zu erarbeiten. Basierend auf den im Abschnitt 5.5 erläuterten Grundsätzen für die Migration sollte das wie folgt ablaufen:

- **Analyse des Altsystems:** Für eine erfolgreiche Migration ist es unabdingbar, zuerst die Funktionsweise des Altsystems zu verstehen. Dabei sollte kritisch geprüft werden, welche Funktionalitäten beizubehalten und welche mehr oder weniger überflüssig sind.
- **Zerlegen des Altsystems:** Das Altsystem muss so zerlegt werden, dass definierte Schnittstellen zwischen den einzelnen Komponenten bzw. ihren Modulen und den auszutauschenden Daten und Meldungen bestehen (d.h. zwischen den LSA-Komponenten, zwischen den LSA und wenn vorhanden bzw. geplant zwischen LSA und Verkehrsrechner).
- **Entwickeln der Benutzeroberfläche des Zielsystems** (bei Verkehrsrechnern).
- **Entwickeln der Zielanwendungen:** Abwägung, ob die Funktionalitäten des Altsystems nachgebaut werden oder denen der Altanwendung möglichst nahe kommen oder gänzlich neu sein sollen (bei LSA z. B. eine neue Verteilung von Funktionalitäten bei Einsatz eines Verkehrsrechners).
- **Installation der Zielumgebung:** Aufbau einer Testumgebung und Testen dieser Umgebung, z. B. Verbindung Steuergerät – Signalgeber oder Steuergerät - Verkehrsrechner.
- **Entwicklung und Installation von Gateways,** die Daten aus dem Altsystem extrahieren und in das Zielsystem überführen. Diese Gateways können auf der Feld- oder Leitebene, d. h. in den Steuergeräten, in den externen Komponenten oder im Verkehrsrechner positioniert werden.
- **Migration der Daten zwischen Alt- und Zielsystem**
- **Migration der Altanwendungen:** Nach und nach Austausch der einzelnen Komponenten bzw. ihrer Module und Einbindung in das neue Gesamtsystem (siehe Abschnitt 7.5).
- **Umschalten vom Altsystem auf das Zielsystem:** Aktivieren des neuen Systems und Abschalten des alten Systems, sofern ein temporärer Parallelbetrieb möglich gewesen ist (Quelle: wikipedia.org)

Die Entwicklung von Migrationsstrategien ist eine sehr anspruchsvolle Aufgabe, die am besten gelöst werden kann, wenn das Wissen und die Erfahrungen der Betreiber, Planer und Systemlieferanten zusammenkommen. Ein Verkehrssystem kann nicht beliebig ausgeschaltet werden, deshalb ist der Prozess der Migration sorgfältig zu planen und abzustimmen sowie eine Rückfallebene vorzusehen

7.6 Hinweise zur verkehrs- und betriebs sicheren Modernisierung

Für die Erneuerung und vor allem für die Modernisierung von LSA sind einige Rahmenbedingungen zu berücksichtigen, wenn sie erfolgreich durchgeführt werden sollen.

- **LSA- Erneuerungen/ Modernisierungen** finden überwiegend unter laufendem Verkehr statt. Eine Ausnahme bilden LSA, die im Rahmen strassenbaulicher Massnahmen erneuert werden sollen und wofür häufig andere temporäre verkehrsorganisatorische Lösungen angewendet werden, z. B. Baustellensignalisierungen und/ oder veränderte Verkehrsführungen während der Bauzeit.
- **Die Massnahmenplanung** sollte möglichst frühzeitig LSA-bezogen als auch in Verbindung mit den anderen einzubeziehenden Gewerken erfolgen.
- **Der Einsatz neuer technischer Komponenten, neuer Steuerungsverfahren und Datenübertragungen** birgt Risiken in sich, z. B. häufige (Früh-) Ausfälle, schwierige Fehleridentifikation, nicht gewollte verkehrliche Auswirkungen. Solche Risiken können minimiert, jedoch nicht vollständig ausgeschlossen werden. Es ist daher sinnvoll, wenn Betreiber, Planer und Systemlieferanten in allen Phasen des Projekts verantwortlich zusammenarbeiten.

In der Tabelle 9 sind einige Hinweise aufgeführt, die zur Unterstützung der verkehrs- und betriebs sicheren Modernisierung von LSA dienen können.

Phasen	Stufen	Arbeitsschritte
Projektierungsphase	Planungsstudie	LSA– bezogene Planungsstudien sollten mittel- bis langfristige Verkehrs- und Verkehrssystemplanungen berücksichtigen und den Erneuerungs-/ Modernisierungsbedarf, der sich aus dem Anlagenzustand ergibt, mit diesen abgleichen. Verkehrliche, technische, wirtschaftliche sowie Umweltkriterien bestimmen den Grad der Erneuerung.
	Vorprojekt	LSA- Zustandserfassung/-bewertung detailliert durchführen bzw. vorhandene Daten verwenden, um daraus die Erneuerungsmassnahmen abzuleiten; wenn zutreffend, diese Massnahmen in Migrationsstrategien einbinden. Die mit der Modernisierung angestrebten Ziele sind qualitativ und quantitativ zu beschreiben, z. B. Reduktion von Betriebskosten oder Wartezeiten IV, ÖV, LV; Senkung Ausfallrate LSA.
	Bauprojekt	Die Erneuerungs-/ Modernisierungsmassnahmen sind technisch zu spezifizieren und die Qualitätsanforderungen an LSA– Komponenten, Schnittstellen etc. aufzustellen; Die Verkehrssteuerung während der LSA– Erneuerung ist abzuklären und in das Projekt aufzunehmen; Notwendige Verbindungen mit anderen Gewerken fachtechnisch und ablaufmässig festlegen.
Realisierungsphase	Ausschreibung	Die Erfüllung der funktionalen und technischen Anforderungen ist vom Offertsteller nachzuweisen (Referenzen), für neue Produkte/ Technologien sind Pflichtenhefte und ggf. Handbücher in den Liefer-/ Leistungsumfang aufzunehmen. Die Pflicht für Arbeiten bis zum vollständig sichern Systembetrieb und der dafür vorgesehene Aufwand sind zu vereinbaren. Evtl. „Exit – Strategie“ überlegen
	Ausführung, Bauleitung	Projektplan mit Zwischenschritten, Werktests und Funktionstest vor Ort nach zu vereinbarenden Regeln, eine effektive und eigenverantwortliche Zusammenarbeit von Betreiber, Planer und Systemlieferant organisieren
	Inbetriebnahme	Probetrieb mit Funktionsnachweisen (technisch, verkehrlich), ggf. Anpassungen vornehmen, Abnahme, Ausserbetriebsetzung Alttechnik bzw. temporärer Signalisation; Schulung/ Einweisung des Betriebspersonals
Betriebsphase	Betrieb, Überwachung	Systemtechnische und verkehrstechnische Überprüfung, ob alle Funktionen im vorgesehenen Umfang erfüllt werden und die LSA verkehrlich optimal läuft. Das sollte sowohl unmittelbar nach der Inbetriebnahme als auch über einen längeren Zeitraum hinweg erfolgen.

Tabelle 9 Hinweise zur verkehrs- und betriebssicheren Modernisierung

8. Erarbeitung eines Normenvorschlags

Basierend auf den Forschungsergebnissen für die Anwendung des Erhaltungsmanagements bei Verkehrsregelungsanlagen wurde in VSS 2005/304 ein Strukturvorschlag für neue diesbezügliche Normen erarbeitet. Daraus wurde durch die VSS-Expertenkommission 3.03 „Verkehrsregelungssysteme“ ein Normkonzept zu Betrieb und Unterhalt von Lichtsignalanlagen entwickelt. Es sieht drei Normen vor, die die Bereiche Inbetriebnahme/ Betrieb, Instandhaltung und Erneuerung/ Modernisierung abdecken. Die vorläufige Normenbezeichnung einschliesslich Nummerierung wurde noch nicht bestätigt.

Anlage 3 enthält den Vorschlag für die neue Norm „LSA – Erneuerung (Modernisierung)“.

9. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Das Ziel des Forschungsprojekts war es, objektive und allgemein anwendbare Kriterien für den Entscheidungsprozess zur LSA- Modernisierung im Rahmen des Erhaltungsmanagements zu erarbeiten. Als Ergebnisse liegen ein Leitfaden und ein Normenvorschlag vor.

Zuerst wurde in mehreren Städten und Kantonen die gängige Praxis bei der Zustandserfassung/-beurteilung von LSA und daraus resultierende Entscheidungen hinterfragt. Dabei wurde deutlich, dass für die Erneuerung einschliesslich Modernisierung neben anlagenbezogenen Kriterien auch verkehrs- und städteplanerische Anforderungen massgeblich sind. Es wurden jedoch betreffs der Vorgehensweise bei LSA- Modernisierungen keine direkt verallgemeinerbaren Abläufe festgestellt, so dass diese Aufgabe mit der Erstellung des Leitfadens gelöst wurde.

Ausgehend von der neu eingeführten Definition, wonach Modernisierung eine Erneuerung auf qualitativ höherem Niveau bedeutet, wurde national und international der Stand der Technik und Entwicklungstendenzen recherchiert. Aus der Vielzahl der Ergebnisse wurde eine Übersicht erstellt, die für die LSA und ihre Komponenten die wesentlichen Trends aufzeigt. Es bestehen noch umfängliche Potenziale für verkehrliche, technische, wirtschaftliche und ökologische Verbesserungen an herkömmlichen Lichtsignalanlagen. Darüber hinausgehende Entwicklungen zur „LSA der Zukunft“, zum Beispiel als Element in kooperativen Systemen, können gegenwärtig noch nicht als planungsrelevant bezeichnet werden.

Die Untersuchung der wirtschaftlichen Aspekte bei LSA- Modernisierungen knüpfte an Ergebnisse von VSS 2005/304 an. Es wurde ein Kostenentwicklungsfaktor K entwickelt, der den Zusammenhang von Betriebs-, Reparatur- und Investitionskosten herstellt und als ein Entscheidungskriterium für die Erneuerung/ Modernisierung genutzt werden kann. Aus den unterschiedlich langen normativen Nutzungsdauern von LSA- Komponenten wurde abgeleitet, dass es durchschnittlich zwei Zeitfenster für die Modernisierung gibt. Das eine tritt ungefähr zur Hälfte der Anlagenlebensdauer auf, wenn vorrangig die elektronischen Komponenten auszutauschen sind. Das zweite Zeitfenster ist mehr oder weniger identisch mit dem Ende der normativen Nutzungsdauern der langlebigen Komponenten wie Maste und Kabelanlagen.

Als Grundlage für mögliche weitere praktische Handlungsanweisungen wurde ein Leitfaden erarbeitet. Dieser zeigt auf, wie die LSA- Modernisierung in den Prozess des Erhaltungsmanagements einbezogen werden kann. Er enthält weiterhin Kriterien zur Grob- und Detailbeurteilung, ob eine Modernisierung notwendig bzw. zweckmässig wäre. Schliesslich gibt der Leitfaden Hinweise zur Erarbeitung von Migrationsstrategien für umfängliche LSA- Modernisierungen.

Aus dem Leitfaden heraus wurde ein Vorschlag für eine neue Norm zur LSA- Erneuerung (Modernisierung) erstellt. Der vorliegende Bericht vertieft und erweitert die in VSS 2005/304 beschriebenen Grundlagen für das Erhaltungsmanagement von LSA. Hierzu kann es weiteren Forschungsbedarf geben, wenn die praktische Umsetzung von technischen Innovationen ansteht, die sich heute noch in der Entwicklung befinden.

Literaturnachweis

SCHWEIZERISCHER VERBAND DER STRASSEN- UND VERKEHRSFACHLEUTE

SN 640 963: Erhaltungsmanagement der technischen Ausrüstung (EMT),
Planung, Ausführung und Dokumentation der Erhaltungstätigkeiten, 2004

SN 640 964: Erhaltungsmanagement der technischen Ausrüstung (EMT),
Zustandserhebung und Zustandsbewertung, 2006

SN 640 962: Erhaltungsmanagement der technischen Ausrüstung (EMT),
Methodik Typenregeln, 2001

SN 640 961: Erhaltungsmanagement der technischen Ausrüstung (EMT),
EMT Inventar, 2001

SN 640 960: Erhaltungsmanagement der technischen Ausrüstung (EMT),
Grundnorm, 2003

SN 640 900a: Erhaltungsmanagement (EM), 2004

SN 640 842: Lichtsignalanlagen - Abnahme, Betrieb, Wartung, 1998

SN EN 12675: Steuergeräte für Lichtsignalanlagen – Funktionale Sicherheitsanforderungen, 2000

SN EN 12368: Anlagen zur Verkehrssteuerung – Signalleuchten, 2000

SN EN 50293: Elektromagnetische Verträglichkeit - Strassenverkehrs- Signalanlagen, ???

SN 640 836-1: Signale für Behinderte, 2000

SN 671 864-1: Anerkennung EN 13563:2000, Anlagen zur Verkehrssteuerung, Fahrzeugdetektoren,

BERNHARD, J.:

Mehr Sicherheit zu einem attraktiven Preis
Strasse und Verkehr 1-2/2005, S. 32 ff.

BERNHARD, J., GRAHL, S.:

Praktischer Leitfaden zur Beurteilung der Qualität an Lichtsignalanlagen (OCA- Leitfaden)
Straßenverkehrstechnik 08/2008; 08/2009

BÜTLER, R.; ÄPPLI, K.

Betriebsicherheit von Lichtsignalanlagen, Projektierung, Bau, Betrieb, Unterhalt
MARTY + PARTNER AG, Zollikon, 2006

BÜTLER, R.; ÄPPLI, K.

LED – Signalgeber, Lichttechnische Untersuchung und Definition von Minimalanforderungen
Bericht im Auftrag der Kantone Aargau, Bern, Luzern, Zug, Zürich, August

JACOBSON, M.; BANDA, L.

The city of San Antonio, TX, USA's Traffic Signal System Modernization Program
ITE – Journal May 2009, S. 30ff.

GILGRIST, T.:

Road Asset management practice
Routes& Roads Nr. 340, IV 2008

GRAHL, S.

Verkehrsregelungssysteme – Grundlagen für das Erhaltungsmanagement,
VSS – Forschungsbericht 1203, 2008

GRAHL, S.
Lichtsignalanlagen – Grundlagen für das Erhaltungsmanagement
Strasse und Verkehr, Juni 2008

OCA e. V. ("Open Traffic Systems City Association e. V")
OCIT - Was ist das, welche Ziele werden verfolgt?
www.oca-ev.org

LUTZ, W.:
Wenn es die Kameralistik nicht gäbe, müsste man sie erfinden! - ein Vergleich von Doppik und Kameralistik - aus der Sicht eines Gemeinderates
ISBN: 978-3-940411-09-9 mbverlag.com (nach: wikipedia.org)

NOBLES, D.:
LED Maintenance Strategies
ITE – Technical Conference Phoenix AZ, 2009

WELTE, U.; FRIEDRICH, G.:
Zerfallszyklen von elektromechanischen Anlagen: Beispiel Leittechnik
Strasse und Verkehr, 05/2006, S. 23ff.

ITSInternational: Heads and tails
www.itsinternational.com März/ April 2009-08-06

(smartShift Deutschland, Willy-Brandt-Platz 6, 68161 Mannheim, www.smart-elliance.de)

SIEMENS AG:
Effizienter Verkehr mit Car2Car- Kommunikation
<http://www.kompetenznetze.de/service/nachrichten/2010/effizienter-verkehr-mit-car2car-kommunikation>

CVIS (Cooperative Vehicle- Infrastructure Systems):
COOPERATIVE URBAN APPLICATIONS
<http://www.civis.org>

HOPPE; F.:
Telematikeinsatz im MIV
Forschungs-Informationen-System des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung,
2010

Glossar

Altsystem (legacy system)	eine etablierte, historisch gewachsene Anwendung, die sich oft durch unzureichende Dokumentation, veraltete Betriebs- und Entwicklungsumgebungen, zahlreiche Schnittstellen und hohe Komplexität auszeichnet
Anlagen	sind funktionale Einheiten, die sich aus mehreren, verschiedenen Komponenten zusammensetzen. LSA sind vom Begriff und vom Gegenstand her eindeutig als Anlagen zu charakterisieren
Erhaltungsmanagement	alle Führungsaufgaben, die zur Erhaltung und Bewirtschaftung der Strassenverkehrsanlagen notwendig sind. Dabei werden bautechnische, ökologische und ökonomische Kriterien berücksichtigt
Erneuerung	Ersatz, Wechsel und Neukonstruktion von ganzen Anlagen nach Ablauf der Lebensdauer bzw. bei Zuständen ausserhalb massgebender Grenzen
Komponenten	sind die kleinsten Einheiten, die bewirtschaftet werden können. LSA untergliedern sich in die Komponenten Steuergerät (Gehäuse, Hardware, Software), Maste (Signalträger), Signalgeber (Gehäuse, Einsätze, Schuten), Detektoren und Kabelanlagen
Migrationsstrategien	dienen in der Informationstechnik dazu, eine Ablösung von Systemen durchzuführen
Modernisierung	Form der Erneuerung von ganzen Anlagen oder von Komponenten mit einem verkehrlich, technischen bzw. wirtschaftlich höheren Qualitätsniveau (Gebrauchswerte)
Verkehrstechnische Erhaltung	umfasst alle Aufgaben, die mit der Erhebung und Bewertung des verkehrstechnischen Anlagenzustands sowie mit der Planung und Realisierung von Massnahmen zur Qualitätssicherung bei Betrieb und Instandhaltung einschliesslich der Dokumentation verbunden sind
Werterhaltung	Reparatur, Teilersatz, Auswechslung usw. von Anlagen oder Komponenten innerhalb der Zustandsgrenzen, solange sich dies wirtschaftlich rechtfertigt.

Abkürzungen

B _i	Beurteilungswert i
GR	Gebietsrechner
K	Kostenentwicklungsfaktor
LED	Light Emitting Diodes
LSA	Lichtsignalanlage
LV	Langsamverkehr
MIV	Motorisierter Individualverkehr
NND	Normative Nutzungsdauer
OCIT	Open Communication Interface for Road Traffic Control Systems
ÖV	Öffentlicher Verkehr
OZS	Offene Zentralenschnittstelle
S _i	Summe i
SN	Schweizerische Norm
VR	Verkehrsrechner
VM	Verkehrsmanagement

Anlage 1 Checkliste Beispieluntersuchung LSA

1. Allgemeine Angaben

- Kanton, Stadt
- Verwaltung
- Inbetriebnahme

2. (Verkehrs-) Technische Angaben

- LSA – Typ (Fussgänger– LSA, Einzelanlage, Anlage in Koordinierung, Rechneranschluss)
- Voll-/ Teilverkehrsabhängigkeit (MIV, ÖV, Velo- und Fussgängerverkehr)
- Koordinierung (Master – Slave, Verkehrsrechner, Anzahl Programme)
- Steuergerät (Hersteller, Typ, Besonderheiten)
- Anzahl Signalgruppen (nach Verkehrsart)
- Signalgeberart (Hoch-, Niedervolt-, LED– Technik)
- Detektoren (welche und für wen)
- Maste, Verkabelung einschliesslich Dokumentation

3. Betriebliche Angaben

- Art der Überwachung und Störungsbeseitigung
- Wartungsarbeiten und Prüfungen (Wer macht wann was? Wie wird es dokumentiert?)
- Verkehrsablauf (meist flüssig oder häufigere Staus, Bedienung Fussgänger, ÖV - Eingriffe)
- Waren betrieblich bedingte LSA– Anpassungen seit Inbetriebnahme erforderlich?

4. Kosten

- Erstellungskosten
- Durchschnittliche jährliche Unterhaltskosten inkl. Energie
- Bisherige Aufwendungen für Reparaturen, Teilersatz, bauliche Anpassungen

5. Modernisierung

- Warum musste die LSA modernisiert werden?

Erfolgte die Erneuerung nur ad hoc für die betroffene LSA oder geschah das im Rahmen eines Programms (z. B. Jahresprogramm zur LSA - Modernisierung, Verkehrsrechnerabhängige Erneuerung, ÖV– Priorisierung, umfassender Komponentenersatz für mehrere/ alle LSA) oder aufgrund strassenbaulicher Massnahmen?

War die Modernisierung erforderlich, weil die Verkehrs- und/oder Betriebssicherheit nicht (mehr) gewährleistet waren oder die LSA zum Hindernis für den Verkehrsablauf wurde?

Wurden vorgängig Alternativen zur vorhandenen LSA geprüft (z. B. Kreisel)?

- Was wurde erneuert (gesamte LSA, Steuergerät, Signalgeber, Detektoren)?
- Wie unterscheiden sich die neuen Komponenten qualitativ von den bisher eingesetzten (z. B. Energieeinsparung, vsl. längere Lebensdauer, bessere Sicht-/ Hörbarkeit, Anlagenerweiterung möglich, Verkehrsabhängige Steuerung möglich)
- Wurden im Rahmen der Erneuerung verkehrstechnische Überprüfungen und Anpassungen bei der Steuerung durchgeführt? (Begründung)
- Von wem und wie wurde die Erneuerung technisch und finanziell geplant?
- Wie lange dauerte es vom (Vor-) Entscheid bis zur Wiederinbetriebnahme?
- Wie hoch waren die Gesamtkosten?

Anlage 2 Beispiel LSA- Zustandserfassung



Allgemein			
Dauerbetrieb	Ja	Betriebszeiten	-
Inbetriebnahme	November 1989		
Klemmenkasten			
Gelbzeiten			
Sichtbehinderung	Nein		
Stau	Nein		
Belag	Zum Teil Risse und Löcher in Betonplatte, kleinere Löcher und Risse (Spur 11)		

Steuergerät						
Typ	Dynap		i. O.	Ja		
Lieferant	Sauber + Gisin (Siemens)					
Gehäuse	1-teilig	-	2-teilig inkl. FW	-	3-teilig inkl. EW	Ja
Gehäuse L x B x H	180 x 50 x 155					
Stromzähler	Im 3. Gehäuseteil 40cm, von vorne zugänglich					
Doku- Vergleich	i. O.					
Logbücher	Keine Anmeldung Detektor 12.4					
Funkuhr	i. O.					
Anschluss Verkehrsrechner	Nein					
Verkehrszählung	keine					
Schliess-System	Keso 1000 (Kanton) / 2. und 3. Gehäuseteil mit separatem Schlüssel					
Signalgeber						
Stk.		i. O.	GL = Glühlampe; NV = Niedervolt; H = Halogen; FO = Faseroptik; LED = Leuchtdiode			

-	FZ Horizontal ÜK 3er 300mm		Voll		Pfeil			
	GL, NV, H, FO, LED		Rot		Gelb		Grün	
3	FZ Vertikal ÜK 3er 300mm	in-to.	Voll	-	Pfeil	LED		
	GL, NV, H, FO, LED		Rot		Gelb		Grün	
7	FZ 3er 200mm	in-to.	Voll	-	Pfeil	LED		
	GL, NV, H, FO, LED		Rot		Gelb		Grün	
-	FG 3er 200mm							
	GL, NV, H, FO, LED		Rot		Gelb		Grün	
-	RF 3er 200mm							
	GL, NV, H, FO, LED		Rot		Gelb		Grün	
-	FG / RF 3er 200mm							
	GL, NV, H, FO, LED		Rot		Gelb		Grün	
-	FZ 2er 200mm		Voll		Pfeil			
	GL, NV, H, FO, LED		Rot		Gelb		Grün	
-	FG 2er 200mm							
	GL, NV, H, FO, LED		Rot		Gelb		Grün	
-	FZ 3er 100mm		Rot		Gelb		Gelb blin	
	GL, NV, H, FO, LED							
-	RF 3er 100mm							
	GL, NV, H, FO, LED		Rot		Gelb		Grün	
-	Bus 1er 300mm		5 Punktsignal		4 Punktsignal			
-	Bus 1er 200mm		5 Punktsignal		4 Punktsignal			
-	Bus-Quittierungslampe							
-	Warnblinker 300mm/ 200mm							
-	Wechselsignal FO, LED							
2	Kein Vortritt 3.02		BSS Circeline	-	BSS LED	-	Blech	into.
	Kontrastblech							
	Schute							
	Symbol							

Signalträger						
Stk.		in-to.	verwittert	beschädigt	angefahren	Ausrichtung
3	Normalmast	in-to.				
1	Beleuchtungsmast	in-to.				
2	Wegweiser mast	in-to.				
-	Bogenmast					
-	Winkelmast					
-	Signalbrücke					
Farbe der Aussenanlage		grau				
Bemerkungen		Beleuchtungsmast aus Beton				

Anmeldemittel					
Stk.		i. O.			
	Velo-Detektoren	i. O.			
-	FG- Drücker		mit Vibra		Rückmeldelampe Rot / Gelb
			mit Akustik		mit Blindenanmeldetaste

-	FZ D. 2-fach Auswerter		Typ		
6	FZ D. 4-fach Auswerter	in-to.	Typ	Canoga 7424	
-	Rotfahrerschleufe	keine			
-	Bus Detektionsempfänger 2-K.		Sesam Dialog	andere	
-	Decodierempfänger 1-K.		Sesam Dialog	andere	
-	Radar		Typ		
Bemerkungen		Teilweise schlechter Zustand der Vergussmasse Detektor 12.4 defekt > keine Anmeldung (RF-Voranmeldung)			

Signale / Wegweiser					
	Wegweiser	in-to.			
	Signal		Tafel «Hauptstrasse» verbleicht		
	Hindernispfeil				
-	Trixi-Spiegel				
Bemerkungen		z.T. ausgeleuchtet Mast Nr.: 3.02 90x90 / Einfahrt Verb. Durchmesser 90			

Markierung					
Stk.		in-to.			
	Haltebalken		z.T. etwas abgefahren		
	Haifischzähne				
	Spurpfeil				
-	FG- Streifen				
	Sperrfläche				

Vorschlag für Erhaltungsmaßnahmen:

- Ersatz Steuergerät vorsehen
- Vorgängig Verkehrstechnische Untersuchung zwecks evtl. Anpassung Steuerung
- Reparatur Schleifen im Rahmen Strassensanierung

Anlage 3 Normenvorschlag

Lichtsignalanlagen – Erneuerung (Modernisierung)

INHALTSVERZEICHNIS

A	Allgemeines	55
1.	Geltungsbereich	55
2.	Gegenstand	55
3.	Zweck	55
B	Begriffe.....	55
C	Planung.....	56
1.	Allgemeines	56
2.	Vorgehen	56
3.	Grobbeurteilung.....	56
4.	Detailbeurteilung	58
D	Verkehrstechnische Erhaltung.....	60
E	Projektierung, Realisierung.....	62
F	Literaturverzeichnis.....	62

A Allgemeines

1. Geltungsbereich

Diese Norm gilt für alle Lichtsignalanlagen (LSA) des Strassenverkehrs.

2. Gegenstand

Diese Norm enthält Richtlinien für die Planung, Projektierung und Realisierung von Erneuerungsmassnahmen bei Lichtsignalanlagen. Die Abb. 1 zeigt die Einordnung der Norm in die Normengruppe Betrieb und Unterhalt LSA:

Inbetriebnahme/ Betrieb von LSA SN 640842 - 1	Instandhaltung LSA SN 640 842 - 2	LSA - Erneuerung (Modernisierung) SN 640 842 - 3
---	--------------------------------------	--

Abbildung 1: Normengruppe Betrieb und Unterhalt LSA

3. Zweck

Die Norm unterstützt die verantwortlichen Stellen bei der Entscheidungsvorbereitung und Entscheidungsfindung zu erforderlichen und geeigneten Massnahmen für die LSA- Erneuerung. Sie definiert Kriterien für die Modernisierung als Form der qualitativen Erneuerung. Technische Beschreibungen zu LSA- Ausrüstungen sind nicht Bestandteil dieser Norm.

B Begriffe

Erneuerung	Ersatz, Wechsel und Neukonstruktion von ganzen Anlagen nach Ablauf der Lebensdauer bzw. bei Zuständen ausserhalb massgebender Grenzen [3]
Modernisierung	Form der Erneuerung von ganzen Anlagen oder von Anlagenkomponenten mit einem verkehrlich, technisch bzw. wirtschaftlich höheren Qualitätsniveau.
Erhaltungsmanagement	Führungsaufgaben, die zur Erhaltung und Bewirtschaftung der Strassenverkehrsanlagen notwendig sind. Dabei werden bautechnische, ökologische und ökonomische Kriterien berücksichtigt [2]
Verkehrstechnische Erhaltung	Alle Aufgaben, die mit der Erhebung und Bewertung des verkehrstechnischen Anlagenzustands sowie mit der daraus resultierenden Planung und Realisierung von Massnahmen zur Qualitätssicherung verbunden sind. [1]

Anlage, Komponenten

Anlagen stellen funktionale Einheiten dar, die sich aus mehreren, verschiedenen Komponenten zusammensetzen. Komponenten sind die kleinsten Einheiten, die bewirtschaftet werden können. Lichtsignalanlagen bestehen aus den Komponenten Steuergerät, Signalträger (Maste), Signalgeber, Detektoren und Kabelanlagen. [4]

C Planung

1. Allgemeines

Die Planung von Erneuerungsmassnahmen für LSA ergibt sich aus der Erfassung und Bewertung des Zustands der elektromechanischen Ausrüstungen sowie des Erfüllungsgrades von verkehrstechnischen Qualitätskriterien für Verkehrssicherheit und Verkehrsablauf (Bottom up). Bei dieser Massnahmenplanung wird auch geprüft, ob durch eine Modernisierung die anstehenden bzw. mittelfristig zu erwartenden Anforderungen an die LSA besser erfüllt werden als durch eine Erneuerung auf dem vorhandenen technischen Niveau.

Anforderungen nach neuen bzw. moderneren Anlagen oder Komponenten können sich ausserdem aus übergeordneten stadt-/regional- und verkehrsplanerischen Aufgabenstellungen ergeben (Top down). Diese Zusammenhänge sind in der Abbildung 2 dargestellt.

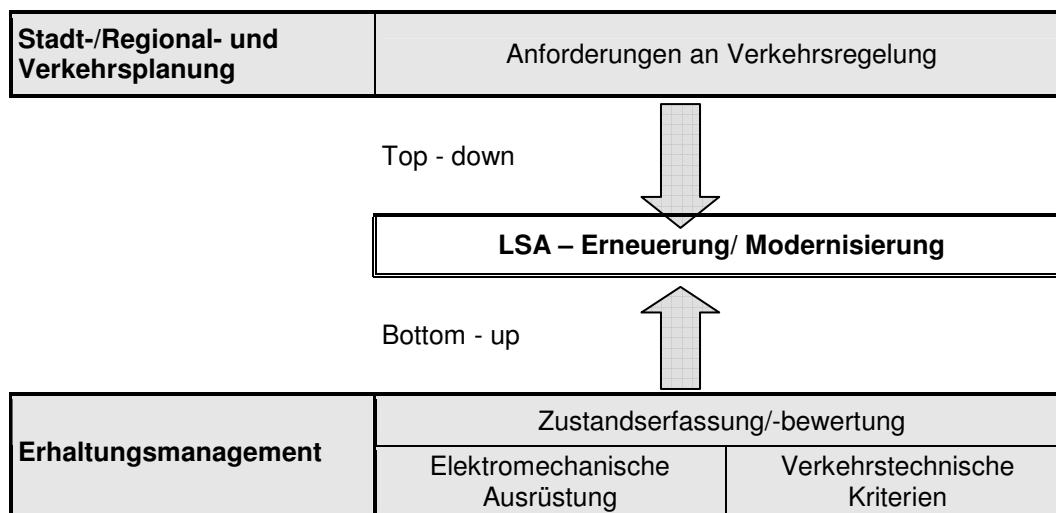


Abbildung 2 Auslöser für LSA– Erneuerung/ Modernisierung

Die Abläufe der Zustandserfassung /-bewertung für elektromechanische Ausrüstungen sind in [9] beschrieben. Das Vorgehen bei der verkehrstechnischen Kriterienbeurteilung im Rahmen der verkehrstechnischen Erhaltung beschreibt Abschnitt D.

2. Vorgehen

Erneuerungsmassnahmen werden für einzelne oder für mehrere LSA in einem Abschnitt oder einem Bereich geplant.

Zunächst ist es zweckmässig, mittels einer Grobbeurteilung zu prüfen, ob die Erneuerung als Modernisierung durchgeführt werden sollte (Tabelle 1). Dem schliesst sich die Detailbewertung an (Tabellen 2 bis 4) an. Dabei sind die Anforderungen zu berücksichtigen, die sich aus der verkehrstechnischen Erhaltung ergeben (Tab. 5). Die für die einzelnen Kriterien angegebenen Kenngrössen sind durchschnittliche Erfahrungswerte und können örtlich differenziert angewendet werden.

3. Grobbeurteilung

Die Notwendigkeit zur Erneuerung von LSA oder ihrer Komponenten kann aus vielfältigen Anforderungen heraus resultieren. Die Tabelle 1 fasst solche Anforderungen in Gruppen zusammen und es wird eine Grobbeurteilung vorgenommen, ob eine Modernisierung notwendig bzw. zweckmässig wäre.

Dabei wird geprüft, ob ein oder mehrere der verkehrlichen, betrieblichen, wirtschaftlichen oder technischen Kriterien zutreffen. Daraus leitet sich ab, ob die Modernisierung der LSA oder von Komponenten geplant werden sollte.

Die Ergebnisse der Grobbewertung sind auch eine Entscheidungsgrundlage für den festzulegenden Umfang der LSA- Erneuerung/ Modernisierung. Diese kann als Einzelanlagen-, Abschnitts- oder Gebietsmodernisierung erfolgen.

Die zur Prüfung notwendigen Informationen kommen aus der Erfassung und Bewertung des physischen Anlagenzustands, aus der verkehrstechnischen Erhaltung sowie aus übergeordneten Anforderungen.

KRITERIEN	MODERNISIERUNG	
	eher ja	eher nein
1. Allgemeine Angaben		
(Stand-)Ort		
Name der LSA		
Nr. der LSA		
Betreiber		
Datum Grobbeurteilung		
2. Zustandserfassung/-bewertung		
Reparaturen notwendig		x
Teilersatz erforderlich		x
Erneuerung	x	
Erweiterung	(x)	(x)
Allgemeines LSA- Erscheinungsbild im Umfeld	(x)	(x)
3. Verkehrliche Bedingungen		
Strassenbauliche Massnahmen	(x)	
Verkehrsunfallauswertung	(x)	(x)
Änderungen der Verkehrsstromaufteilungen bzw. Verkehrsstärken	(x)	
Bevorzugte Behandlung von Verkehrsarten (ÖV)	x	
Einsatz neuer oder umfänglicherer Steuerverfahren (Verkehrsabhängigkeit, Koordinierung)	x	
Bewegungserfassung Fussgänger	x	
Höhere Umweltschutzanforderungen	x	
4. Betriebliche Bedingungen		
Ausfallrate der LSA steigt aufgrund anlagenbedingter Fehler	x	
Monitoring wird eingeführt mit Zustands- und Fehlerinformationen	x	
Datenaustausch mit Zentralen soll stattfinden	x	
5. Wirtschaftliche Bedingungen		
Instandhaltungskosten steigen überdurchschnittlich	x	
Ersatzteilsicherung nicht mehr gewährleistet	x	
Beschaffung neuer Ausrüstungen ist bei grösseren Stückzahlen kostengünstiger	x	
Energiekosten sind zu hoch	x	
6. Technische Bedingungen		
Wechselseitige Abhängigkeiten zwischen den Komponenten (z. B. Steuergerät – Signalgeber)	x	
Hard- und Softwareweiterentwicklungen verlangen umfängliche Updates	x	
Anbindung an Leitebene geplant	x	
Verbindung mehrer LSA miteinander verlangt gleichzeitige Anpassungen	x	
Anzahl der Signalgruppen zu erhöhen	(x)	(x)
Sichtbarkeit Signalgeber erhöhen	x	
Genauigkeit der Detektion erhöhen	x	
Höhere Umweltschutzanforderungen	x	
Legende: x – trifft zu (x) – trifft bedingt zu		

Tabelle 1 Grobbeurteilung für LSA – Modernisierung

4. Detailbeurteilung

Die Detailbeurteilung der Erneuerung/ Modernisierung wird für die Kriterien:

- Nutzungsdauer
- Kostenentwicklung
- Ersatzteilverfügbarkeit
- Interne Komponentenabhängigkeit
- Externe Anlagen-/ Komponentenabhängigkeit durchgeführt.

Beurteilung bisherige Nutzungsdauer im Vergleich zur Normativen Nutzungsdauer (NND)

Die bisherige tatsächliche Nutzungsdauer der LSA– Komponenten Steuergerät, Signalträger (Maste), Signalgeber, Schleifendetektoren und Kabelanlagen wird mit den NND verglichen und nach fünf Klassen bewertet (Tabelle 2):

Nutzungsdauer	$\leq 0,25$ NND	$\leq 0,5$ NND	$\leq 0,75$ NND	\leq NND	$>$ NND
Bewertung	1	2	3	4	5

Tabelle 2 Beurteilung der Nutzungsdauer

Als NND können folgende Werte angesetzt werden:

- | | |
|---|----------|
| ▪ Kabelanlagen und Signalträger (Maste) | 40 Jahre |
| ▪ Signalgebergehäuse | 20 Jahre |
| ▪ Steuergerät | 15 Jahre |
| ▪ Schleifendetektoren | 10 Jahre |

Die erforderlichen Ist - Daten der Nutzungsdauern sind aus den Bestandsunterlagen zu ermitteln.

Die Beurteilung erfolgt zunächst für die Einzelkomponenten. Anschliessend wird aus diesen Einzelbeurteilungen über Mittelwertberechnung der Beurteilungswert B 1 für die LSA ermittelt.

- Beurteilungswert B 1 < 3 keine Erneuerung notwendig
 $3 \leq$ Beurteilungswert B 1 < 4 Erneuerung LSA oder von Komponenten prüfen.
 $4 \leq$ Beurteilungswert B 1 Modernisierung erforderlich

Treten Abweichungen zwischen den der Komponentenbeurteilungen auf, die grösser 1 sind, so sollten anstelle der Mittelwertberechnung für die LSA eine detaillierte Analyse durchgeführt und spezielle Massnahmen festgelegt werden.

Beurteilung der Kostenentwicklung

Es werden die Kostenarten Investitionskosten, die planbaren Kosten des betrieblichen Unterhalts und die Reparaturkosten betrachtet. Dafür wird ein Kostenentwicklungsfaktor K berechnet:

$$K = \frac{\text{Betriebskosten} + \text{Reparaturkosten}}{\text{Investitionskosten}}$$

- Betriebskosten: Energie- und planmässige Wartungskosten.
Reparaturkosten: Material- und Leistungskosten für die Reparatur bzw. den Austausch defekter Bauteile oder für andere Arbeiten zur Wiederherstellung der Betriebsfähigkeit der LSA.
Investitionskosten: Beschaffungskosten zum Zeitpunkt der LSA– Errichtung, korrigiert mit einem Preisindex. Ist dessen Ermittlung zu aufwändig, so sind die Wiederbeschaffungskosten zum Zeitpunkt der Kostenbeurteilung anzusetzen.

- Beurteilung der Kostenentwicklung : $K < 0,5$ Erneuerung nicht erforderlich
 $0,5 \leq K < 1$ Erneuerung prüfen
 $K > 1$ Modernisierung erforderlich

Beurteilung der Ersatzteilverfügbarkeit (gleichartige Komponenten)

Nachdem die bisherige Nutzungsdauer der einzelnen Komponenten beurteilt worden ist, muss eingeschätzt werden, ob zu erneuernde Komponenten mit gleichartigen Produkten ersetzbar sind und wie deren Ersatzteilverfügbarkeit einzuschätzen ist.

Werden Ersatzteile für die zu erneuernden Komponenten über die gesamte NND als verfügbar angesehen, so wird das mit 1 bewertet. Kann die Verfügbarkeit nicht länger als für die halbe NND als sicher beurteilt werden, gibt das den Wert 5. Zwischen der halben und der gesamten NND liegende Einschätzungen bekommen den Wert 3.

Die Beurteilung erfolgt zunächst für die einzelnen Komponenten und anschliessend über Mittelwertbildung für die gesamte LSA (Beurteilungswert B 2).

- 1 ≤ Beurteilungswert B 2 < 3 Erneuerung nicht erforderlich
- 3 ≤ Beurteilungswert B 2 < 4,5 Erneuerung prüfen
- 4,5 ≤ Beurteilungswert B 2 Modernisierung erforderlich

Treten Abweichungen zwischen Einzelwerten der Komponentenbeurteilungen auf, die grösser 1 sind, so sollten anstelle der Mittelwertberechnung für die LSA eine detaillierte Analyse durchgeführt und spezielle Massnahmen festgelegt werden.

Beurteilung der gegenseitigen (LSA - internen) Abhängigkeit von Komponenten

Die sichere Funktion einer LSA hängt vom zuverlässigen und abgestimmten Zusammenwirken der einzelnen Komponenten ab. Dabei bestehen gegenseitige Abhängigkeiten unterschiedlichen Grades. Das reicht von der unbedingten technischen Kongruenz bis zur Möglichkeit variabler Anwendungen verschiedener Produkte. Es muss beurteilt werden, welche Komponenten gemeinsam erneuert werden müssen und welche nicht unbedingt.

Dafür wird in Tabelle 3 eine Abhängigkeitsmatrix gezeigt. Die Beurteilung erfolgt mit drei Stufen, wobei der Wert 5 anzuwenden ist, wenn Komponenten unbedingt aufeinander abgestimmt sein müssen. Eine bedingte Abhängigkeit wird mit dem Wert 3, keine Abhängigkeit mit dem Wert 1 beurteilt.

In die Abhängigkeitsmatrix werden für jede vorhandene Komponentenbeziehung der zutreffende Wert eingetragen. Für nicht vorhandene Komponenten bleiben die Felder leer. Anschliessend wird für jede Spalte die Summe der Beurteilungswerte gebildet. Die Spaltensummen werden danach zu einer Gesamtsumme addiert. Schliesslich bildet man den Quotienten aus dieser Gesamtsumme und der Anzahl der Zellen, in die Abhängigkeitswerte eingetragen wurden. Das ist der interne Komponentenabhängigkeitswert (Beurteilungswert B 3) der LSA.

- Beurteilungswert B 3 < 3 keine gemeinsame Komponentenerneuerung notwendig
- 3 ≤ Beurteilungswert B 3 < 4 gemeinsame Komponentenerneuerung prüfen.
- 4 ≤ Beurteilungswert B 3 Modernisierung erforderlich

Komponenten		Steuergerät			Signalträger	Signalgeber	Detektoren			Kabelanlage
		Gehäuse	Hardware	Software			MIV	ÖV	LV	
Steuergerät	Gehäuse									
	Hardware									
	Software									
Signalträger										
Signalgeber										
Detektoren MIV										
Detektoren ÖV										
Detektoren LV										
Kabelanlage										

Tabelle 3 Gegenseitige Abhängigkeit von Komponenten

Beurteilung der externen Abhängigkeit der LSA

Die externen Abhängigkeiten der LSA können sich auf der Feldebene zwischen verschiedenen benachbarten LSA, auf der Leitebene mit dem übergeordneten Verkehrsrechner und schliesslich darüber hinaus mit einem Verkehrsmanagementsystem ergeben.

Die Beurteilung der externen Abhängigkeit erweist sich in der Regel nicht für alle LSA- Komponenten als erforderlich, sondern vorrangig für die Steuergeräte und möglicherweise noch für ausgewählte Detektoren oder das Kabelnetz. Bei benachbarten LSA ist es im Interesse der Verkehrsteilnehmenden

und des Servicepersonals, Änderungen bei den Signalgebern nicht nur an einer Anlage, sondern an allen durchzuführen, z. B. die Ausrüstung mit LED – Signalgebern oder von neuen ÖV - Signalen.

In Tabelle 4 wird für die Beurteilung der externen Abhängigkeiten eine Matrix gezeigt. Besteht eine unbedingte Notwendigkeit für das Zusammenwirken, so ist der Wert 5 einzutragen. Für eine bedingte Abhängigkeit gilt der Wert 3. Liegt eine Abhängigkeit nicht vor, so beträgt der Wert 1.

Ebene	Feldebene (Nachbar - LSA)	Leitebene (Verkehrsrechner)	VM – Ebene
Komponenten			
Steuergerät			
Signalgeber			
Detektoren			
Kabelanlagen			

Tabelle 4 Externe LSA - Abhängigkeiten

In die Abhängigkeitsmatrix werden die zutreffenden Beurteilungswerte eingetragen. Für nicht zutreffende Ebenen bleiben die Felder leer. Anschliessend wird für jede Spalte die Summe der Beurteilungswerte gebildet. Die Spaltensummen werden danach zu einer Gesamtsumme addiert. Schliesslich bildet man den Quotienten aus dieser Gesamtsumme und der Anzahl der Zellen, in die Abhängigkeitswerte eingetragen wurden. Das ist der externe Abhängigkeitswert (Beurteilungswert B 4) der LSA.

- Beurteilungswert B 4 < 3 keine gemeinsame LSA/ Komponentenerneuerung notwendig
- 3 ≤ Beurteilungswert B 4 < 4 gemeinsame LSA/ Komponentenerneuerung prüfen.
- 4 ≤ Beurteilungswert B 4 gemeinsame LSA/ Komponentenmodernisierung erforderlich

D Verkehrstechnische Erhaltung

Die verkehrstechnische Erhaltung hat das Ziel, im Rahmen des Erhaltungsmanagements das einwandfreie technische Funktionieren der elektromechanischen Ausrüstungen mit einem verkehrssicheren und optimal gesteuerten Verkehrsablauf zu verbinden. Die erforderlichen Tätigkeiten beschreibt die Typenregel (Tabelle 5). Ergeben sich aus der verkehrstechnischen Inspektion Anforderungen an Veränderungen der Hard- und/ oder Software des Steuergeräts oder der peripheren Ausrüstungen, sollen sie bei der Erneuerung/ Modernisierung berücksichtigt werden.

Typenregel Verkehrstechnische Erhaltung	
Tätigkeit	Verkehrstechnische Überwachung, Kontrolle und Wartung sowie Inspektion im Hinblick auf - Betriebssicherheit - Verkehrssicherheit - Verkehrsablauf
Beschrieb	<p><u>Überwachung</u></p> <p>Die Art der Betriebsüberwachung (automatisch, permanent oder sporadisch) hängt von der Lage der LSA, ihrer verkehrlichen Bedeutung (Wichtigkeit) und technischen Vernetzung ab.</p> <p><u>Kontrolle und Wartung</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Statistische Analyse von Verkehrs- und Betriebsdaten, ▪ Auswertung von Mängelmeldungen und Änderungswünschen, ▪ Beobachtungen des Verkehrsablaufs <p>Die Kontrollergebnisse können bei Bedarf zu Sofortmassnahmen führen und/oder als Grundlage für vertiefende Untersuchungen dienen.</p> <p>Periodisch ist eine verkehrstechnische <u>Inspektion</u> mit folgenden Arbeitsschritten durchzuführen:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Ermittlung der jährlichen Ausfallrate und der Ausfallursachen; ▪ Auswertung von Kenngrössen des Unfallgeschehens, Erkennen von Unfallhäufungsstellen und möglichen LSA – bedingten Gefährdungen; ▪ Prüfung der verkehrstechnischen Unterlagen auf Vollständigkeit, Aktualität; ▪ Prüfung der vollständigen Erfassung aller Verkehrsströme durch die Signalisierung; ▪ Prüfung der Rot-, Gelb- und Grünzeiten; ▪ Messung von Wartezeiten, Anzahl der Halte und Staulängen <p>Die Ergebnisse der verkehrstechnischen Inspektion sind zu dokumentieren. Soweit sie nicht zu Sofortmassnahmen führen, kann bei Bedarf die Überarbeitung der verkehrstechnischen Unterlagen mit anschliessender Anpassung der Steuerung geplant und realisiert werden. Zweckmässige Veränderungen/ Erweiterungen der Ausrüstungen und/oder bauliche Massnahmen sind abzustimmen und durchzuführen.</p>
Intervall	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Überwachung: laufend ▪ Kontrollen: jährlich ▪ Inspektion: 3 - 5 Jahre ▪ Mängelbehebung: sofort
Verkehr	Vorgängige Abstimmung mit Polizei und Tiefbauamt Abschaltung LSA, ggf. Handregelung, Rückmeldung nach Abschluss der Arbeiten

Tabelle 5 Typenregel Verkehrstechnische Erhaltung [1]

E Projektierung, Realisierung

Phasen	Stufen	Arbeitsschritte	
Projektierungsphase	Planungsstudie	LSA – bezogene Planungsstudien sollten mittel- bis langfristige Verkehrs- und Verkehrssystemplanungen berücksichtigen und den Erneuerungs-/ Modernisierungsbedarf, der sich aus dem Anlagenzustand ergibt, mit diesen abgleichen. Verkehrliche, technische, wirtschaftliche sowie Umweltkriterien bestimmen den Grad der Erneuerung.	Diese Stufen werden in der Planung (Abschnitt C) bearbeitet.
	Vorprojekt	LSA - Zustandserfassung/-bewertung detailliert durchführen bzw. vorhandene Daten verwenden, um daraus die Erneuerungsmassnahmen abzuleiten; wenn zutreffend, diese Massnahmen in Migrationsstrategien einbinden. Die mit der Modernisierung angestrebten Ziele sind qualitativ und quantitativ zu beschreiben, z. B. Reduktion von Betriebskosten oder Wartezeiten IV, ÖV, LV; Senkung Ausfallrate LSA.	
	Bauprojekt	Die Erneuerungs-/ Modernisierungsmassnahmen sind technisch zu spezifizieren und die Qualitätsanforderungen an LSA – Komponenten, Schnittstellen etc. aufzustellen; Die Verkehrssteuerung während der LSA – Erneuerung ist abzuklären und in das Projekt aufzunehmen; Notwendige Verbindungen mit anderen Gewerken fachtechnisch und ablaufmässig festlegen.	
Realisierungsphase	Ausschreibung	Die Erfüllung der funktionalen und technischen Anforderungen ist vom Offertsteller nachzuweisen (Referenzen), für neue Produkte/ Technologien sind Pflichtenhefte und ggf. Handbücher in den Liefer-/ Leistungsumfang aufzunehmen. Die Pflicht für Arbeiten bis zum vollständig sichern Systembetrieb und der dafür vorgesehene Aufwand sind zu vereinbaren. Evtl. „Exit – Strategie“ überlegen	
	Ausführung, Bauleitung	Projektablaufplan mit Zwischenschritten, Werktests und Funktionstest vor Ort nach zu vereinbarenden Regeln, eine effektive und eigenverantwortliche Zusammenarbeit von Betreiber, Planer und Systemlieferant organisieren	
	Inbetriebnahme	Probetrieb mit Funktionsnachweisen (technisch, verkehrlich), ggf. Anpassungen vornehmen, Abnahme, Ausserbetriebsetzung Alttechnik bzw. temporärer Signalisation; Schulung/ Einweisung des Betriebspersonals	Betrifft SN 640 842- 1
Betriebsphase	Systemtechnische und verkehrstechnische Überprüfung, ob alle Funktionen im vorgesehenen Umfang erfüllt werden und die LSA verkehrlich optimal läuft. Das sollte sowohl unmittelbar nach der Inbetriebnahme als auch über einen längeren Zeitraum hinweg erfolgen		

Tabelle 6 Projektphasen

F Literaturverzeichnis

- [1] Grahl, S.: Verkehrsregelungssysteme – Grundlagen für das Erhaltungsmanagement, VSS Forschungsbericht 1203, 2008
- [2] SN 640 900a: Erhaltungsmanagement (EM), 2004
- [3] SN 640 960: Erhaltungsmanagement der technischen Ausrüstung (EMT), Grundnorm, 2003
- [4] SN 640 961: Erhaltungsmanagement der technischen Ausrüstung (EMT), EMT Inventar, 2001
- [5] SN 640 962: Erhaltungsmanagement der technischen Ausrüstung (EMT), Methodik Typenregeln, 2001
- [6] SN 640 963: Erhaltungsmanagement der technischen Ausrüstung (EMT), Planung, Ausführung und Dokumentation der Erhaltungstätigkeiten, 2004
- [7] SN 640 964: Erhaltungsmanagement der technischen Ausrüstung (EMT), Zustandserhebung und Zustandsbewertung, 2006
- [8] SN 640 842 - 1: Inbetriebnahme/ Betrieb von LSA (geplant)
- [9] SN 642 842 - 2: Instandhaltung LSA (geplant)

Projektabschluss

Formular Nr. 3: Projektabschluss

erstellt / geändert am: 30.07.2010/02.09.2010

Grunddaten

Projekt-Nr.: VSS 2008/303

Projekttitel: Verkehrsregelungssysteme – Modernisierung von Lichtsignalanlagen

Enddatum: Oktober 2010

Texte:

Zusammenfassung der Projektergebnisse:

Das Ziel des Forschungsprojekts war es, objektive und allgemein anwendbare Kriterien für den Entscheidungsprozess zur LSA- Modernisierung im Rahmen des Erhaltungsmanagements zu erarbeiten.

Im Einzelnen wurden folgende Resultate erzielt:

1. Es wurde ein Leitfaden zur generellen Vorgehensweise bei der LSA- Modernisierung als Teil des Erhaltungsmanagements erarbeitet. Dieser basiert auf der Untersuchung und Auswertung von Praxisbeispielen und einer nationalen und internationalen Recherche zu den Entwicklungstrends in der Lichtsignalsteuerung.
2. Zum Leitfaden gehört eine tabellarische Übersicht mit Kriterien zur Grobbeurteilung, ob eine Modernisierung notwendig bzw. zweckmässig wäre.
3. Zur Unterstützung der Entscheidungsfindung wurde für ausgewählte Kriterien (z. B. normative Nutzungsdauer, Ersatzteilverfügbarkeit, Komponentenabhängigkeit) eine Detailbeurteilung mit mehreren Arbeitsschritten entwickelt.
4. Schliesslich enthält der Leitfaden Hinweise zur Erarbeitung von Migrationsstrategien für umfängliche LSA- Modernisierungen.
5. Bezüglich der wirtschaftlichen Aspekte bei LSA- Modernisierungen wurde ein Kostenentwicklungsfaktor K entwickelt, der den Zusammenhang von Betriebs-, Reparatur- und Investitionskosten herstellt und als ein Entscheidungskriterium für die Erneuerung/ Modernisierung genutzt werden kann.
6. Aus dem Leitfaden heraus wurde ein Vorschlag für eine neue Norm zur LSA- Erneuerung (Modernisierung) erstellt. Neben den vorgängig genannten Beurteilungskriterien beinhaltet dieser Entwurf Hinweise zur verkehrs- und betriebssicheren Modernisierung von LSA sowie zur verkehrstechnischen Erhaltung.

Zielerreichung: Die im Forschungsgesuch genannten und im Auftrag festgelegten Ziele wurden vollständig erreicht.

Folgerungen und Empfehlungen:

Die Forschungsarbeit hat ein praktisch herangereiftes Problem von grosser technischer und wirtschaftlicher Relevanz aufgegriffen.

Die Untersuchung zeigt, dass noch umfängliche Potenziale für verkehrliche, technische, wirtschaftliche und ökologische Verbesserungen an herkömmlichen Lichtsignalanlagen bestehen. Darüber hinausgehende Entwicklungen zur „LSA der Zukunft“, zum Beispiel als Element in kooperativen Systemen, können gegenwärtig jedoch noch nicht als planungsrelevant bezeichnet werden.

Die Erneuerung/ Modernisierung von Lichtsignalanlagen ist Bestandteil des Erhaltungsmanagements und sollte daher aus einer regelmässigen Zustandserfassung/-bewertung heraus abgeleitet werden.

Entscheidungen zur LSA- Modernisierung können jedoch auch aus übergeordneten stadt- und verkehrsplanerischen Anforderungen heraus notwendig werden. Deshalb findet sich beim Erneuerungsprozess sowohl der Bottom - up als auch der Top - down - Ansatz.

Aus den unterschiedlich langen normativen Nutzungsdauern von LSA- Komponenten ergeben sich durchschnittlich zwei Zeitfenster für die Modernisierung. Das eine tritt ungefähr zur Hälfte der Anlagenlebensdauer auf, wenn vorrangig die elektronischen Komponenten auszutauschen sind. Das zweite Zeitfenster wird mit dem Ende der normativen Nutzungsdauern der langlebigen Komponenten wie Maste und Kabelanlagen erreicht.

Für umfängliche Erneuerungen von Lichtsignalanlagen in grösseren Gebieten sind Migrationsstrategien erforderlich. Neben den funktional- technischen Aspekten spielen hierbei die Gewährleistung der Verkehrs- und Betriebssicherheit eine wesentliche Rolle.

Neue Produkte und Technologien dürfen nur dann zum Praxiseinsatz gelangen, wenn sie die vorgeschriebenen Werktests erfolgreich bestanden haben und die Einführung von Lieferanten, Planern und Betreibern zielgerichtet vorbereitet, durchgeführt und überwacht wird.

Publikationen:

ASTRA - Forschungsbericht
Veröffentlichung in „Strasse und Verkehr“

Beurteilung:

Die Forschungsstelle hat wichtige Grundlagen für die Entscheidungsfindung zur Modernisierung von Lichtsignalanlagen erarbeitet. Die im Forschungsgesuch genannten und im Auftrag festgelegten Ziele wurden vollumfänglich erreicht. Die Begleitkommission ist mit dem Vorgehen, den Untersuchungen und den daraus abgeleiteten Anforderungen einverstanden. Die Begleitkommission würdigt neben der fachlichen Bearbeitung auch, dass das Forschungsprojekt entsprechend dem Terminplan zügig bearbeitet und termingerecht abgeschlossen wurde und dankt für die gute Zusammenarbeit.

Umsetzung:

Die im Schlussbericht beschriebenen Anforderungen an die Erneuerung/ Modernisierung von LSA werden bei ihrer Umsetzung wirksam zur Erhöhung der Verkehrs- und Betriebssicherheit sowie zu einem ökologisch und wirtschaftlich optimalen Anlagenbetrieb beitragen.

Dafür sind zwei Wege gewählt worden: der Leitfaden und der Normenvorschlag.

Der neu erstellte Leitfaden kann als Arbeitsgrundlage für Planer und Betreiber von LSA eingesetzt werden und besteht aus fünf Teilen. Der erste Teil beschreibt wie die Modernisierung in den Prozess des Erhaltungsmanagements einbezogen werden sollte. Der zweite Teil beinhaltet Kriterien zur Grobbeurteilung, ob eine Modernisierung notwendig bzw. zweckmässig wäre. In Teil drei ist ein Ablaufschema mit fünf Schritten zur detaillierten Beurteilung ausgewählter Kriterien enthalten. Für die abschnitts- bzw. gebietsweise LSA- Modernisierung werden im vierten Teil des Leitfadens Eckpunkte zur Erarbeitung von Migrationsstrategien genannt. Teil fünf enthält Hinweise zur verkehrs- und betriebssicheren Modernisierung von LSA.

Für die praktische Nutzung des Leitfadens wird vorgeschlagen, ihn anwenderspezifisch in bestehende Datenbanken für Betrieb und Unterhalt von LSA zu integrieren.

Für die Erneuerung/ Modernisierung von Lichtsignalanlagen ist ein Normenvorschlag erarbeitet worden. Dieser leitet sich aus dem Normenkonzept „Betrieb und Unterhalt von LSA“ der VSS EK 3.03 „Verkehrsregelungssysteme“ ab.

Der Leitfaden sollte mit einem Kommentar in „Strasse und Verkehr“ veröffentlicht werden.

weitergehender Forschungsbedarf:

Der vorliegende Bericht vertieft und erweitert die in VSS 2005/304 beschriebenen Grundlagen für das Erhaltungsmanagement von LSA. Hierzu kann es weiteren Forschungsbedarf geben, wenn die praktische Umsetzung von technischen Innovationen ansteht, die sich heute noch in der Entwicklung befinden.

Einfluss auf Normenwerk:

Erstellung einer neuen Norm für die Erneuerung/ Modernisierung von Lichtsignalanlagen

Präsident Begleitkommission:

Name:

Heine

Vorname:

Karl- Jürgen

Amt, Firma, Institut:

Heine Verkehrsingenieure GmbH

Strasse, Nr.:

Pfaffenhalde 22

PLZ:

5706

Email:

kjheine@bluewin.ch

Ort:

Boniswil

Telefon:

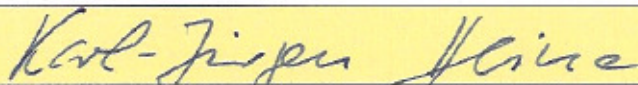
062 777 29 66

Kanton, Land:

Aargau

Fax:

062 777 36 87

Unterschrift Präsident Begleitkommission:


Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen

Bericht-	Projekt Nr.	Titel	Datum
1287	VSS 2008/301	Verkehrsqualität und Leistungsfähigkeit von komplexen ungesteuerten Knoten: Analytisches Schätzverfahren <i>Procédure analytique d'estimation de la capacité et du niveau de service de carrefours sans feux complexes</i> <i>Analytic procedure to estimate capacity and level of service at complex uncontrolled intersections</i>	2009
1299	VSS 2008/502	Projet initial - Enrobés bitumineux à faibles impacts énergétiques et écologiques <i>Initial Projekt - Asphalt-Mischgut mit geringer energetischer und ökologischer Belastung</i> <i>Initial Project - Bituminous mixture with low energy and ecological impacts</i>	2009
1301	SVI 2007/006	Optimierung der Strassenverkehrs- unfallstatistik durch Berücksichtigung von Daten aus dem Gesundheitswesen <i>Affinement des statistiques des accidents de la route par la prise en compte des données de la santé publique</i> <i>Optimization of road traffic accident statistics by consideration of public health care data</i>	2009
617	AGB 2005/100	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten Synthesebericht <i>Rapport de synthèse</i> <i>Synthesis report</i>	2010
619	AGB 2005/103	Sicherheit des Verkehrssystems / Strasse und dessen Kunstbauten / Ermittlung des Netzrisikos <i>Estimation du risque pour le réseau</i> <i>Estimation of the network risk</i>	2010
624	AGB 2005/108	Sicherheit des Verkehrssystems / Strasse und dessen Kunstbauten / Risikobeurteilung für Kunstbauten <i>Appréciation des risques pour les ouvrages d'art</i> <i>Risk assessment for highway structures</i>	2010
630	AGB 2002/016	Korrosionsinhibitoren für die Instandsetzung chloridverseuchter Stahlbetonbauten <i>Inhibiteurs de corrosion pour la remise en état des ouvrages en béton armé, contaminés par des chlorures</i> <i>Corrosion inhibitors for the rehabilitation of chloride contaminated reinforced concrete structures</i>	2010

632	AGB 2008/201	Sicherheit des Verkehrssystem Strasse und dessen Kunstbauten Testregion - Methoden zur Risikobeurteilung Schlussbericht <i>Région test - Méthodes pour l'appréciation des risques</i> <i>Rapport final</i> <i>Test region - Methods of risk assessment</i> <i>Final report</i>	2010
640	AGB 2003/011	Nouvelle méthode de vérification des ponts mixtes à âme pleine <i>Neue Bemessungsmethode für Stahlbetonverbundbrücken mit Vollwandträger</i> <i>New method for design of steel-concrete composite plate girder bridges</i>	2010
645	AGB 2005/021	Grundlagen für die Verwendung von Recyclingbeton aus Betongranulat <i>Bases pour l'utilisation du béton de recyclage en granulats de béton</i> <i>Fundamentals for the use of recycled concrete comprised of concrete material</i>	2010
1272	VSS 2007/304	Verkehrsregelungssysteme - behinderte und ältere Menschen an Lichtsignalanlagen <i>Aménagement des feux de signalisation pour les personnes a mobilité réduite ou âgées</i> <i>Traffic control systems - Handicapped and older people at signalized intersections</i>	2010
1277	SVI 2007/005	Multimodale Verkehrsqualitätsstufen für den Strassenverkehr - Vorstudie <i>Niveaux de service multimodales de la circulation routière - études préliminaires</i> <i>Multimodal level of service of road traffic - preliminary study</i>	2010
1282	VSS 2004/715	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen: Zusatzkosten infolge Vor- und Aufschub von Erhaltungsmaßnahmen <i>Coûts supplémentaires engendrés par l'exécution anticipée ou retardée des mesures d'entretien</i> <i>Additional costs caused by bringing forward or delaying of standard interventions for road maintenance</i>	2010
1284	VSS 2004/203	Evacuation des eaux de chaussée par les bas-cotés <i>Entwässerung über das Bankett</i> <i>Road runoff on road sides</i>	2010

1288	ASTRA 2006/020	Footprint II- Long Term Pavement Performance and Environmental Monitoring on A1 <i>Footprint II- Langzeit Belag Performance und Umwelt Monitoring an der A1</i> <i>Footprint II- Long terme performance des chaussées et à la surveillance de l'environnement A1</i>	2010
1289	VSS 2005/505	Affinität von Gesteinskörnungen und Bitumen, nationale Umsetzung der EN <i>Affinité entre granulats et bitume, mise en application nationale de la EN</i> <i>Affinity between aggregate and bitumen, national implementation of the EN</i>	2010
1291	ASTRA 2009/005	Fahrmuster auf überlasteten Autobahnen Simultanes Berechnungsmodell für das Fahrverhalten auf Autobahnen als Grundlage für die Berechnung von Schadstoffemissionen und Fahrzeitgewinnen <i>Modèles de conduite sur autoroutes surchargées</i> <i>Speed patterns on congested highways</i>	2010
1293	VSS 2005/402	Détermination de la présence et de l'efficacité de dope dans les bétons bitumineux <i>Bestimmung der Anwesenheit und Wirksamkeit von Haftmittel im Asphaltbeton</i> <i>Determination of the presence and efficiency of adhesion agent in asphalt concrete</i>	2010
1294	VSS 2007/405	Wiederhol- und Vergleichspräzision der Druckfestigkeit von Gesteinskörnungen am Haufwerk <i>Répétabilité et reproductibilité de la résistance à la compression des granulats en vrac</i> <i>Repeatability and Reproducibility of the compressive Strength on the Stack</i>	2010
1295	VSS 2005/305	Entwurfsgrundlagen für Lichtsignalanlagen und Leitfaden <i>Base de projet pour installations de feux de circulation et guide</i> <i>Design basics for traffic light systems and guidelines</i>	2010
1298	ASTRA 2007/012	Griffigkeit auf winterlichen Fahrbahnen <i>Adhérence sur les chaussées hivernales</i> <i>Skid resistance of winter road surfaces</i>	2010
1303	ASTRA 2009/010	Geschwindigkeiten in Steigungen und Gefällen; Überprüfung <i>Speed on upgrades and downgrades; revision</i> <i>Les vitesses dans les rampes et les pentes; vérification</i>	2010