

## Qualitätssicherung von Lichtsignalanlagen – Sicherheitsüberprüfung vorhandener Lichtsignalanlagen und Anpassung der Steuerungen an die heutige Verkehrssituation

FA 3.353

Forschungsstelle: Technische Universität Darmstadt, Fachgebiet Verkehrsplanung und Verkehrstechnik (Prof. Dr.-Ing. M. Boltze)

Bearbeiter: Boltze, M. / Reusswig, A.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Bonn

Abschluss: September 2004

### 1. Aufgabenstellung

Die Lichtsignalsteuerung ist ein wichtiges Instrument der Verkehrsbeeinflussung im städtischen und regionalen Straßenverkehrsnetz. Angesichts der in den letzten Jahren kontinuierlich gewachsenen Verkehrsnachfrage und der Beschränkungen, denen der weitere Ausbau der Straßenverkehrsinfrastruktur unterliegt, steigen die Anforderungen an eine effektive und zuverlässige Verkehrssteuerung, die für einen flüssigen Verkehrsablauf bei hoher Verkehrssicherheit sorgt. Für diese Aufgabe stehen heute intelligente Steuerungsverfahren zur Verfügung, so dass eine hohe Qualität des Verkehrsablaufs auch an Lichtsignalanlagen mit komplexer Aufgabenstellung möglich ist.

Diesem technischen Potenzial steht jedoch ein Altbestand an Lichtsignalanlagen gegenüber, der den heutigen Anforderungen nicht mehr genügt und bei dem Staus und erhebliche Sicherheitsprobleme auftreten. Verschiedene Gründe können verantwortlich sein, dass die Lichtsignalsteuerung nicht mehr in vollem Umfang ihre Steuerungsziele erreicht: So kann sich die Verkehrsnachfrage langfristig so geändert haben, dass die Signalprogramme nicht mehr an die aktuellen Verkehrsstärken angepasst sind. Unfallhäufungen können auf eine unzureichende Erkennbarkeit der Signalisierung und Begreifbarkeit der Steuerung zurückzuführen sein, und Ausfälle von Detektoren und Signalgebern können dazu führen, dass Steuerungsfunktionen nicht mehr in vollem Umfang zur Verfügung stehen.

Ziel des Forschungsvorhabens "Qualitätsmanagement für Lichtsignalanlagen" war es, eine Vorgehensweise zu entwickeln, mit deren Hilfe Betreiber von Lichtsignalanlagen in die Lage versetzt werden, auf einfache Weise eine objektive Bewertung der Qualität der Lichtsignalsteuerung durchzuführen. Außerdem sollen Hinweise auf Maßnahmen gewonnen werden, mit denen eine Verbesserung des Verkehrsablaufs und eine hohe Verkehrssicherheit erreicht werden kann. Die Lichtsignalsteuerung wird damit zum Gegenstand eines systematischen Qualitätsmanagements. Auf der Grundlage einer umfassenden Aufarbeitung der Fragestellung und der beispielhaften Anwendung des Verfahrens sollten Hinweise auf die künftige Behandlung des Themas Qualitätsmanagement in einer Neufassung der Richtlinien für Lichtsignalanlagen (RiLSA, FGSV 1992) gewonnen werden.

Elemente des Qualitätsmanagements tragen in vielen Wirtschaftsbereichen dazu bei, Herstellungsprozesse zu verbessern, die Qualität von Produkten zu steigern und dadurch die Akzeptanz der Produkte beim Kunden zu erhöhen. Für das Forschungsprojekt wurde die Hypothese formuliert, dass mit der Anwendung solcher Elemente auch im Bereich der Licht-

signalsteuerung eine Qualitätsverbesserung erreicht und die Zufriedenheit beim Verkehrsteilnehmer erhöht werden kann.

### 2. Untersuchungsmethodik

#### 2.1 Grundlagen

Ausgangspunkt der Forschungsarbeit war zunächst die Einordnung der Lichtsignalsteuerung in das begriffliche Umfeld des Qualitätsmanagements. Hiervon ausgehend wurde eine Systemanalyse des Untersuchungsgegenstands erarbeitet, aus der eine Zusammenstellung der zu beurteilenden Qualitätsmerkmale und eine Aufgliederung der Elemente der Lichtsignalsteuerung resultieren.

Im nächsten Schritt wurden Merkmale und Anforderungen spezifiziert, anhand derer die Qualität der Lichtsignalsteuerung beurteilt werden kann und die Hinweise auf Mängel liefern. Zur Gewinnung der für eine solche Bewertung notwendigen Informationen aus verschiedenen Datenquellen wurden Verfahrensmodule entwickelt, mit denen Unfalldaten, Prozessdaten, Betriebsdaten und Daten aus einer Beobachtung am Knotenpunkt ausgewertet werden können. Außerdem wurde eine Wissensbasis aufgebaut, um bestimmten Mängeltypen geeignete Maßnahmen zuzuordnen. Die entwickelte Vorgehensweise wurde beispielhaft an unterschiedlichen Knotenpunkten erprobt. Dabei wurden Lichtsignalanlagen überprüft und bewertet sowie Maßnahmen zur Qualitätsverbesserung aufgezeigt. Abschließend wurde die Methode bewertet, ein Formulierungsvorschlag für die Neufassung der RiLSA erarbeitet und weitere Hinweise für die Anwendung des Qualitätsmanagements ausgesprochen.

Qualität bezeichnet "die Gesamtheit von Merkmalen (und Merkmalswerten) einer Einheit bezüglich ihrer Eignung, festgelegte und vorausgesetzte Erfordernisse zu erfüllen" (nach BRUHN 2001). Alle Handlungen, die sich auf die Qualität von Prozessen und Produkten beziehen, können unter dem Begriff des Qualitätsmanagements zusammengefasst werden. Qualitätsmanagement zielt darauf ab, zu gewährleisten, dass die Qualitätserwartungen und die Qualitätswahrnehmung der Nutzer in Bezug auf ein Produkt oder eine Dienstleistung miteinander im Einklang stehen. Daraus resultieren die Aufgaben, Qualitätsziele für die Produktion zu formulieren und das Erreichen dieser Ziele zu überwachen.

Die Begriffe und das Konzept des Qualitätsmanagements können auf die Verkehrsregelung mit Lichtsignalanlagen angewandt werden. Einzelne Instrumente des Qualitätsmanagements sind bereits eingeführt und werden verbreitet angewandt. Hierzu zählt unter anderem die Verkehrssicherheitsarbeit der Unfallkommission, die turnusmäßig die Sicherheitslage im Straßennetz begutachtet und dabei auch unfallauffällige Lichtsignalanlagen einbezieht. Einen präventiven Ansatz verfolgt hingegen das Sicherheitsaudit für Straßen, allerdings ist dieses Verfahren derzeit nicht für Anlagen im Betrieb vorgesehen. Es bietet sich an, beim Qualitätsmanagement die vorhandenen Ansätze mit einzubeziehen.

Der Qualitätsbegriff zeigt sich bei Lichtsignalanlagen vielschichtig, sodass es hilfreich ist, zwischen der produktbezogenen und der prozessbezogenen Qualitätsbetrachtung zu unterscheiden.

Bei der produktbezogenen Qualitätsbetrachtung stehen die Verhaltensanweisungen im Mittelpunkt, die dafür sorgen sollen, dass die Gesamtheit der Nutzer der Lichtsignalanlage den Knotenpunkt in der Summe möglichst zügig und frei von Gefährdungen befahren bzw. begehen können. Die Güte des Verkehrsablaufs und die Verkehrssicherheit kristallisieren sich als die Merkmalsgruppen heraus, anhand derer die Produktqualität beurteilt werden kann. Die produktbezogene Qualitätsperspektive orientiert sich demnach an der von den Verkehrsteilnehmern wahrgenommenen Qualität.

Das gemeinhin verwendete Maß zur Beurteilung der Verkehrssicherheit ist das Unfallgeschehen. Es wird nach Anzahl und Schwere der Ereignisse sowie bestimmter charakteristischer Merkmale aufbereitet. Hierzu zählen unter anderem Kenngrößen der kumulierten Unfallfolgen und des entstandenen Schadens sowie der Verteilung auf die Ausprägungen Unfallzeit, Licht- und Straßenverhältnisse und des Unfalltyps.

Die wichtigsten quantitativen Merkmale der Güte des Verkehrsablaufs sind die mittlere oder maximale Wartezeit, die Anzahl der Halte oder Durchfahrten, das Auftreten und die Länge von Rückstaus und die mittleren Reisegeschwindigkeit im Netz.

Die Bewertungsskala der Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs gemäß des Handbuchs für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (HBS, FGSV 2001) beruht auf den Kenngrößen der mittleren Wartezeiten und des Anteils von Fahrzeugen, die in den Zufahrten anhalten müssen.

Die prozessbezogene Qualitätsbetrachtung richtet sich auf die Erzeugung des abgestimmten Bündels von Steuerungseingriffen, die mit Hilfe des aus verschiedenen Elementen bestehenden Systems "Lichtsignalanlage" durchgeführt wird. Dabei stehen inhärente Merkmale des Herstellungsprozesses wie Betriebssicherheit, Wirtschaftlichkeit und Umweltverträglichkeit der eingesetzten Systemelemente im Mittelpunkt. Die prozessbezogene Betrachtung eignet sich zur Identifikation von Systemmängeln und Verbesserungspotenzialen, deren Ausschöpfung wiederum zu einer höheren Produktqualität führen kann.

Als Qualitätsziel für die prozessbezogene Betrachtung kann formuliert werden, dass die Elemente des Systems Lichtsignalanlage so zu gestalten sind, dass die gewünschte Qualität der Verkehrsregelung bei maximaler Effektivität des Miteinsatzes und verbunden mit minimalen unerwünschten Auswirkungen auf das Umfeld dauerhaft erreicht wird. Dabei ist es erforderlich, die mit diesem Ziel korrespondierenden Anforderungen den dynamischen Veränderungsprozessen des verkehrlichen Umfelds, z. B. der Verkehrsnachfrage, in regelmäßigen Abständen anzupassen.

Bei der Systemgliederung von Lichtsignalanlagen können die einzelnen Elemente des Knotenpunktentwurfs, der lokalen Verkehrssteuerung und der lokalen Infrastruktur unterschieden werden. Hinzu kommen übergeordnete Rahmenbedingungen aus der Stadt- und Verkehrsplanung sowie aus strategischen Vorgaben. Bei einer prozessbezogenen Qualitätsbewertung können alle Elemente auf ihr Vorhandensein, ihre funktionale Gestaltung, ihre Integration in das Gesamtsystem und ihre Verfügbarkeit im Betrieb überprüft werden.

An Handlungsmöglichkeiten zur Qualitätsverbesserung steht an Lichtsignalanlagen ein umfangreiches Repertoire zur Verfügung, das sich von Wartungsmaßnahmen über Anpassungen von Parametern, logischen Abläufen oder der Hardwareausstattung bis hin zu baulichen Maßnahmen erstreckt. Kann mit diesen Mitteln keine Verbesserung herbeigeführt werden, so müssen übergeordnete planerische oder strategische Festlegungen geprüft werden.

### 2.2 Verfahrensentwicklung

Bei der Entwicklung eines systematischen, modularen und integrierten Verfahrens zum Qualitätsmanagement für Lichtsignalanlagen stehen die Verfahrensziele einer hohen Effizienz in betriebswirtschaftlicher Sicht, einer hohen Flexibilität und Übertragbarkeit in Bezug auf unterschiedliche Rahmenbedingungen und Gestaltungsformen sowie einer hohen Transparenz und Nachvollziehbarkeit im Mittelpunkt.

Der Ablauf der Verfahrensschritte des Qualitätsmanagements geht aus von der Datenerfassung und es schließt sich die Datenanalyse zur Gewinnung von Qualitätskenngrößen an. Mit diesen Kenngrößen wird eine Qualitätsbewertung durchgeführt, um bei festgestelltem Handlungsbedarf Maßnahmen zur Qualitätsverbesserung zu identifizieren und deren Wirksamkeit abzuschätzen. Über alle Schritte ist eine Dokumentation anzufertigen.

Als Datenquellen werden planerische und verkehrstechnische Grundinformationen, Unfalldaten, Prozessdaten, Betriebsdaten und visuelle Informationen über den Zustand der Lichtsignalanlage sowie den Verkehrsablauf genutzt.

Um gebietsbezogene Festlegungen und übergeordnete Rahmenbedingungen einzubeziehen und um Mängelschwerpunkte im Netz erkennen zu können, ist zunächst eine netzbezogene Gesamtbetrachtung hinsichtlich der Qualität der Lichtsignalsteuerung durchzuführen.

Mit einer flächendeckenden Unfallanalyse, die sich an der Vorgehensweise des Merkblatts für die Auswertung von Straßenverkehrsunfällen (FGSV 1998), Teil Voruntersuchung, orientiert, werden unfallauffällige Knotenpunkte erkannt und charakteristische Besonderheiten des Unfallgeschehens ermittelt. Zur Analyse werden die bei der Polizei vorliegenden Unfalldaten erfasst und stehen danach auch für die vertiefende Betrachtung an einzelnen Lichtsignalanlagen zur Verfügung.

Zur flächendeckenden Analyse der Güte des Verkehrsablaufs ist bislang kein entsprechend systematisches und standardisiertes Verfahren etabliert, zumal hierfür in der Regel auf deutlich weniger qualitätsrelevante Daten zugegriffen werden kann. Es sind verschiedene Vorgehensweisen denkbar, um Lichtsignalanlagen mit großem Handlungsbedarf auffindig zu machen. Hierzu zählen die Auswertung von Expertenwissen der Betreiber, die Erhebung der Einschätzungen von Verkehrsteilnehmern oder Reisezeitmessungen auf Hauptstrecken.

Die Ergebnisse der netzweiten Gesamtbetrachtung dienen als Basis der Qualitätsanalyse an einzelnen Lichtsignalanlagen. Dabei ergänzen sich die Analyse von Grundinformationen, Unfalldaten, Prozessdaten, Betriebsdaten und Vor-Ort-Beobachtungen zu einem umfassenden und geschlossenen Qualitätsprofil der Lichtsignalanlage, was die angepasste Auswahl von Maßnahmen zur Qualitätsverbesserung erlaubt.

Zu den Grundinformationen zählen alle langfristig gültigen städtebaulichen, verkehrsplanerischen, auf den Knotenpunkt bezogenen und verkehrstechnischen Festlegungen. Sie sind in der Regel den Planungsunterlagen und den signaltechnischen Unterlagen zu entnehmen. Die Informationen werden in Form einer Datenbank erfasst und liegen dann für die anderen Verfahrensschritte nutzbar vor.

Die Auswertung von Unfalldaten schließt an die Ergebnisse der netzweiten Untersuchung direkt an. Im Vordergrund steht die Erkennung gleichartigen Unfallgeschehens, für das zu überprüfen ist, welche Zusammenhänge mit der Gestaltung des Knotenpunkts und der Lichtsignalsteuerung erkennbar sind. Sie richtet sich ebenfalls nach dem Merkblatt für die Auswertung von Straßenverkehrsunfällen, Teil 1 (FGSV 1998) und greift zur Beschreibung der Unfallhäufungen auf eine angepasste Liste der Unfalltypen mit dreistelliger Schlüsselnummer zurück.

Prozessdaten sind Informationen zu den Signalisierungszuständen und Detektormeldungen bei verkehrsabhängig gesteuerten Lichtsignalanlagen. Die Daten gehen im Steuergerät ständig ein oder werden von diesem erzeugt. Sie werden mitgeschrieben und analysiert, um Kenngrößen der Verkehrsqualität zu ermitteln und um Mängel im Steuerungsablauf aufzudecken.

Betriebsdaten enthalten Informationen zu den Betriebszuständen der Lichtsignalanlage, insbesondere zu Störungen von Anlagenkomponenten und Anlagenausfällen. Ihre Analyse dient der Bewertung der Betriebszuverlässigkeit; darüber hinaus können Hinweise auf mögliche Ursachen für Qualitätsmängel im Verkehrsablauf gewonnen werden.

Die Beobachtungen vor Ort dienen zur qualitativen Erfassung der Güte des Verkehrsablaufs sowie der Gestaltung und Ausstattung des Knotenpunkts. Hierzu werden in Hauptverkehrszeiten systematische Erfassungen der Reststauentwicklung in den Zufahrten, des Zuflusses und Abflusses von Fahrzeugpuls und zu anderen Merkmalen und Phänomenen des Verkehrsablaufs durchgeführt. Außerdem können zusätzliche Informationen gewonnen werden, die bereits zur Prüfung der Eignung von Verbesserungsmaßnahmen dienen.

Bei der anschließenden Qualitätsbewertung wird eine Aussage mit Hilfe der zusammengestellten Kenngrößen der Verkehrssicherheit und der Güte des Verkehrsablaufs formuliert. Je nach Datenverfügbarkeit und Vorliegen geeigneter Analyseverfahren können die Kenngrößen quantitativer oder qualitativer Natur sein.

Die Auswahl geeigneter Maßnahmen zur Qualitätsverbesserung nimmt ihren Ausgang bei der Feststellung des Handlungsbedarfs einschließlich der Beschreibung der Problemlage mit Hilfe eines standardisierten Katalogs von Mängelaussagen.

Dabei werden zunächst in Frage kommende Verbesserungsstrategien aus neun Strategiebereichen ausgewählt:

- Verbessern der Rahmenbedingungen für die lokale Verkehrssteuerung,
- Verbessern der Erkennbarkeit und Übersichtlichkeit des Knotenpunkts,
- Verbessern der Begreifbarkeit der Verkehrssteuerung,
- Verbessern der Erkennbarkeit der Signalisierung,
- Verbessern der Befahrbarkeit und Begehbarkeit des Knotenpunkts,
- Erhöhen der Kapazität des Knotenpunkts mit Lichtsignalanlage,
- Verbessern der Freigabezeitbemessung,
- Verbessern der Ausnutzung der Freigabezeit und
- Verbessern der Koordinierung mit benachbarten Knotenpunkten.

Hinzu kommen Maßnahmen zur Erhöhung der Betriebssicherheit.

Nach der Überprüfung aller Maßnahmen auf ihre Eignung zur Problemlösung und ihre Anwendbarkeit verbleibt eine Maßnahmenliste, deren Elemente auf Wechselwirkungen untersucht und zu Handlungsvorschlägen zusammengestellt werden. Hierbei wird zwischen kurzfristigen Sofortmaßnahmen und langfristigen Sanierungsmaßnahmen unterschieden.

Das Ergebnis wird einer Wirkungsabschätzung unterzogen. Dabei werden den Investitionskosten für die Umsetzung der Maßnahmen der monetäre Nutzen in Form von vermiedenen

Unfallkosten und Zeitverlustkosten gegenübergestellt. Die vermiedenen Unfallkosten werden mit Bezug auf die vorliegende Unfallsituation und Schätzwerten des Unfallreduktionspotenzials ermittelt. Das Maß der Verbesserung des Verkehrsablaufs kann in Einzelfällen mit analytischen Berechnungsverfahren bestimmt werden. Denkbar, aber aufwändig, sind zu diesem Zweck durchgeführte Simulationsrechnungen. Auf der Grundlage der bei der Qualitätsanalyse gewonnenen Informationen können aber auch ausreichend abgesicherte Schätzungen des Nutzens vorgenommen werden.

### 3. Untersuchungsergebnisse

#### 3.1 Handlungsleitfaden

Für die Durchführung des Qualitätsmanagements für Lichtsignalanlagen wurde ein knapper und übersichtlicher Handlungsleitfaden in tabellarischer Form erstellt, der die einzelnen Verfahrensschritte mit dem erforderlichen Datenbedarf und den einzelnen Arbeitsabläufen enthält. Es wurde ferner ein Formulierungsvorschlag für die Neufassung der RiLSA erstellt, in dem die Ziele und die Durchführung der einzelnen Arbeitsschritte erläutert werden und in dem zudem grundsätzliche Zusammenhänge, Voraussetzungen und Verpflichtungen formuliert sind.

#### 3.2 Anwendung

Das Verfahrenskonzept der Bewertung von Einzelknotenpunkten und der Identifikation von Verbesserungsmaßnahmen wurde an neun Knotenpunkten mit Lichtsignalanlagen angewendet. Die Knotenpunkte unterschieden sich hinsichtlich der an sie gerichteten verkehrlichen Anforderungen und der technischen Ausstattung und dem Maß des Auftretens von Mängeln. Für diese Knotenpunkte wurde eine Bewertung der Verkehrssicherheit und der Güte des Verkehrsablaufs vorgenommen, und es wurden an den Handlungsbedarf angepasste Maßnahmenvorschläge zusammengestellt, mit deren Hilfe angepasste Mängel beseitigt, eine Anpassung an die Anforderungen vorgenommen und Gefährdungen vermieden werden können.

Bei der Beispielanwendung erwies sich das vorgeschlagene Verfahrenskonzept als geeignet, die gestellten Anforderungen zu erfüllen. Vor dem Hintergrund einer sehr unterschiedlichen Datenverfügbarkeit konnten mit Hilfe standardisierter Werkzeuge und bei einem für regelmäßige Anwendungen angemessenen Aufwand die erforderlichen Informationen erfasst und analysiert werden, um Aussagen zur Mängelsituation und eine Einschätzung des Handlungsbedarfs zu gewinnen und daraus die erforderlichen Schlussfolgerungen zu ziehen.

Die methodische Bewertung der einzelnen Verfahrensschritte zeigt, dass die Datenverfügbarkeit in vielen Fällen der kritische Faktor bei der Verfahrensanwendung ist. Für die Etablierung eines erfolgreichen Qualitätsmanagements kommt der regelmäßigen und zweckorientierten und aufwandsoptimierten Datenerfassung und Datenspeicherung eine besondere Bedeutung zu. Für einen zukünftigen verbreiteten praktischen Einsatz von Verfahrenswesen des Qualitätsmanagements für Lichtsignalanlagen sind demnach noch organisatorische und technische Potenziale der Vereinfachung auszuschöpfen. Zukünftige Investitionen in Steuerungssysteme sollten daher die Anforderungen und den Datenbedarf des Qualitätsmanagements unbedingt berücksichtigen.

Die Gegenüberstellung von Nutzen und Kosten des Qualitätsmanagements zeigt, dass seine verbreitete Anwendung einen erheblichen volkswirtschaftlichen Nutzen erschließt, sofern die Verbesserungsmaßnahmen gezielt umgesetzt werden und sich dadurch Unfälle und Wartezeiten verringern lassen. Da derzeit

ein volkswirtschaftlicher Nutzen beim Aufgabenträger nicht oder nur in wesentlich geringerem Umfang betriebswirtschaftlich wirksam wird, sind Mechanismen zu entwickeln, die eine verbreitete Umsetzung des Qualitätsmanagements zum Nutzen aller Verkehrsteilnehmer fördern. Hierzu zählen neben der Herstellung einer rechtlichen Verbindlichkeit durch entsprechende Festlegungen in den RiLSA geeignete Förder- und Anreizsysteme, die noch geschaffen werden müssen.

#### 4. Folgerungen für die Praxis

Ebenso, wie es sich bei dem Qualitätsmanagement um einen Prozess mit dem Ziel kontinuierlicher Verbesserung handelt, so bedürfen auch die Instrumente des Qualitätsmanagements selbst sowie deren technische und organisatorische Voraussetzungen ständiger Pflege und unentwegter Verbesserung.

Wesentlich für das künftige Handeln auf dem Gebiet des Qualitätsmanagements für Lichtsignalanlagen erscheinen folgende Punkte:

- Förderung der weiteren Umsetzung, insbesondere Klärung der Verbindlichkeit von Forderungen im Richtlinienwerk sowie Maßnahmen zur Überwindung von Hemmnissen aus einer betriebswirtschaftlichen Betrachtungsweise.
- Weiterentwicklung der Wissensbasis auf Grundlage von Vorher-Nachher-Untersuchungen zur Absicherung von Wirkungsabschätzungen, einer weiter gehenden Organisation der Wissensakquisition sowie einer Ergänzung des bisher regelbasierten Wissens um die Kenntnisse aus einer Vielzahl von Fallbeispielen.
- Konzeptionelle Weiterentwicklung des Qualitätsmanagements durch stärkere Orientierung auf die Straßennutzer in der Bewertung, durch ein Musterhandbuch zum Qualitätsmanagement sowie durch die Instrumente der Auditierung und Zertifizierung. □