

Neue Wege in der Verkehrssteuerung

Praxistest in Luzern zeigt: Selbst-Steuerung verbessert die Verkehrsqualität deutlich

Der öffentliche Verkehr konkurriert an Lichtsignalen nicht einzig mit dem motorisierten Individualverkehr, sondern auch mit dem Fuss- und Veloverkehr. Wird der ÖV entsprechend priorisiert, so zieht dies gerade in Städten mit hoher Fahrplandichte erhöhte Wartezeiten für Fussgänger nach sich. Deshalb lotete die Stadt Luzern im Rahmen eines schweizweit einzigartigen Testbetriebs aus, ob die Selbst-Steuerung (SST) hierbei Abhilfe zu leisten vermag. Dabei zeigte sich, dass die SST im Vergleich zur vorherigen Steuerung die Verkehrsqualität deutlich verbessert. Da es sich bei der vorherigen Steuerung um eine gut konfigurierte verkehrsabhängige Steuerung nach aktuellem Stand der Technik handelt, wird klar, dass der methodische Ansatz der SST mithin neue Potenziale erschliesst.



VON
THOMAS KARRER
Projektleiter Mobilität, Tiefbauamt,
Stadt Luzern



VON
MARKUS BARTSCH
Dipl.-Ing. RWTH, Verkehrsingenieur/
Projektleiter VM-Anlagen, ASTRA, Ittigen



VON
ALEXANDER GENSER
MSc in Kulturtechnik und Wasserwirtschaft,
Gruppe Strassenverkehrstechnik
IVT, ETH Zürich

Nouvelles solutions de régulation du trafic

Un essai pratique montre que l'autorégulation améliore sensiblement la qualité du trafic

En matière de signaux lumineux, les transports publics ne sont pas seulement en concurrence avec le trafic individuel motorisé, mais aussi avec le trafic piétonnier et cycliste. Quand la priorité est donnée aux TP, les temps d'attente pour les piétons sont plus longs, surtout dans les villes où la densité de l'horaire est élevée. C'est pourquoi la ville de Lucerne a réalisé un essai unique en Suisse, afin de déterminer si l'autorégulation peut être une solution. Cet essai a démontré qu'elle améliore sensiblement la qualité du trafic par rapport au système actuel de régulation de la circulation. Comme ce système dépendant du trafic est configuré de manière adéquate et conformément à l'état actuel de la technique, l'approche méthodique de l'autorégulation offre clairement de nouvelles possibilités.



VON
STEFAN LÄMMER
Dr.-Ing. TU Dresden, CTO & Gründer,
Lumisera AG, Affoltern am Albis



VON
CHRISTIAN HEIMGARTNER
Dipl. Bau-Ing. ETH, Dr. sc. ETH, CEO &
Gründer, Lumisera AG, Affoltern am Albis



1 | Verkehrsgeschehen bei einem Knoten in der Tribtschenstrasse, das neu mit einer Selbst-Steuerung geregelt wird (Foto: Rolf Leeb).
 1 | Situation du trafic à un nœud de circulation dans la Tribtschenstrasse, où le trafic est désormais géré par un système d'autorégulation.

Anlass und Motivation

Nebst 18 000 Fahrzeugen und rund 700 Bussen von vier Buslinien verkehren auf der Luzerner Tribtschenstrasse täglich noch zusätzlich etliche Einsatzkurse aus dem Busdepot der Verkehrsbetriebe. Der Fuss- und Veloverkehr ist vor allem in den Hauptverkehrszeiten aufgrund der vielen Arbeitsplätze in diesem Gebiet beträchtlich, und ebenso ist das Verkehrsaufkommen des motorisierten Individualverkehrs (MIV) zu diesen Zeiten sehr hoch. Der Konflikt zwischen den Verkehrsarten führte bislang zu teils sehr langen Wartezeiten für den Fussverkehr.

Zwar ist die Priorisierung des öffentlichen Verkehrs (ÖV) an Lichtsignalanlagen (LSA) ein breit etabliertes und unbestrittenes Ziel, führt aber mit zunehmender Bedeutung des Fussverkehrs in urbanen Verkehrssystemen zu einem Zielkonflikt. Mit dieser Herausforderung sah sich auch die Stadt Luzern konfrontiert: Wer hat Vorrang, der ÖV oder der Fussverkehr? Wie und nach welchen Kriterien soll hierbei entschieden werden? Aufgrund der Reihenfolge der Anforderung? Oder wäre hier nicht ein Steuerverfahren, das die Wartezeiten der verschiedenen Zuströme an der Kreuzung vorausrechnet und im Sinne eines Gesamtoptimums entscheidet, im Vorteil?

Contexte et motivation

En plus des 18 000 véhicules et des quelque 700 bus de quatre lignes, les bus supplémentaires en provenance du dépôt des sociétés de transport empruntent eux aussi chaque jour la Tribtschenstrasse à Lucerne. Le trafic piétonnier et cycliste est considérable, surtout aux heures de pointe, notamment en raison de la présence de nombreux bureaux dans cette zone. De même, le trafic individuel motorisé (TIM) est lui aussi très élevé aux heures de pointe. Le conflit entre les différents types de circulation entraîne des temps d'attente parfois très longs pour les piétons.

La priorité aux transports publics (TP) concernant les installations de feux de circulation est un objectif accepté et incontesté, mais elle entraîne un conflit d'objectifs dans les systèmes de transport urbains, alors que l'importance du trafic piétonnier ne cesse de croître. La ville de Lucerne est aussi confrontée à ce défi: qui est prioritaire, les TP ou le trafic piétonnier? Comment décider et selon quels critères? En fonction du principe du «premier arrivé, premier servi»? Une méthode de régulation qui calculerait à l'avance les temps d'attente des différents flux au croisement et qui déciderait de la manière pour parvenir à une situation globalement optimisée ne serait-elle pas avantageuse?



2 | Die beiden selbst-gesteuerten Knotenpunkte auf der Tribschenstrasse in Luzern (Quelle: Stadt Luzern, Geoinformationszentrum).

2 | Les deux points nœuds autorégulés dans la Tribschenstrasse à Lucerne (source: ville de Lucerne, centre de géoinformation).

Die Stadt Luzern sah sich motiviert, bei dieser Frage anzusetzen. Als Steuerverfahren, das die Optimierung der Wartezeiten explizit adressiert, bot sich die Selbst-Steuerung (SST) an. Ihr neuartiger methodischer Ansatz veranlasste die Stadt Luzern, an zwei LSA in der Tribschenstrasse (Abb. 2) den schweizweit ersten Praxistest zu starten.

Was macht die Selbst-Steuerung anders?

Die heute gängigen Steuerverfahren basieren auf der Analyse der typischen Verkehrsflüsse zu verschiedenen Tageszeiten. Entsprechend der erwarteten Verkehrsflüsse und der Verträglichkeiten der einzelnen Spuren zueinander werden sinnvolle Verkehrsabläufe erstellt. Damit wird festgelegt, welche Spuren zusammen oder nacheinander wie lange Grün erhalten sollen. Da sich die Verkehrsflüsse im Tagesverlauf stark ändern, werden für unterschiedliche Zeiten verschiedene Signalpläne vorgehalten. Gegebenenfalls werden die resultierenden Signalpläne verkehrsabhängig modifiziert, sei dies durch Kürzung oder Dehnung einer oder mehrerer Grünzeiten oder auch durch deren Auslassen – je nachdem, ob dies auf einzelnen Spuren mittels Detektoren bzw. Drückern angefordert wird oder nicht.

In der Praxis sind dieser Berücksichtigung von verkehrsabhängigen Ereignissen Grenzen gesetzt, zumal die Anzahl möglicher Verkehrssituationen unüberschaubar ist. Falls sich benachbarte Knoten gegenseitig beeinflussen, so besteht ein Koordinationsbedarf zwischen den Steuerungen. Dem wird dadurch entsprochen, dass die Steuerungen einer gemeinsamen Umlaufzeit folgen. Dabei strebt man sogenannte

La ville de Lucerne a cherché à répondre à cette question. L'autorégulation est une méthode de régulation qui optimise explicitement les temps d'attente. Cette nouvelle approche a conduit la ville à réaliser le premier essai pratique en Suisse, au niveau de deux installations de feux de circulation situés dans la Tribschenstrasse (fig. 2).

Qu'est-ce qui distingue l'autorégulation?

Les méthodes actuelles de régulation du trafic reposent sur l'analyse des flux de circulation typiques à différents moments de la journée. Selon les flux attendus et les compatibilités des différentes voies, elles garantissent l'écoulement pertinent de la circulation. Ces méthodes permettent de déterminer pour quelles voies le feu doit être vert simultanément ou de manière successive, et pendant combien de temps le feu doit rester vert. Comme les flux de circulation évoluent fortement dans la journée, les plans de signalisation sont prédéfinis selon différents moments. Le cas échéant, ils sont modifiés selon les conditions de circulation, p. ex. en réduisant ou en allongeant la durée d'un ou de plusieurs feux verts ou en les désactivant, selon que le passage au feu vert est demandé ou non au moyen de détecteurs et/ou boutons.

Dans la pratique, la prise en compte des événements dépendants du trafic a des limites d'autant que le nombre de situations de circulation possibles n'est pas prévisible. Si des nœuds voisins s'influencent mutuellement, une coordination entre les systèmes de régulation est alors nécessaire. Grâce à une telle coordination, les systèmes de régulation suivent une durée de cycle commune. L'objectif est de créer des «ondes vertes», au moins sur l'un des axes de circulation principaux.

«Grüne Wellen» an, zumindest entlang einer der Hauptrichtungen.

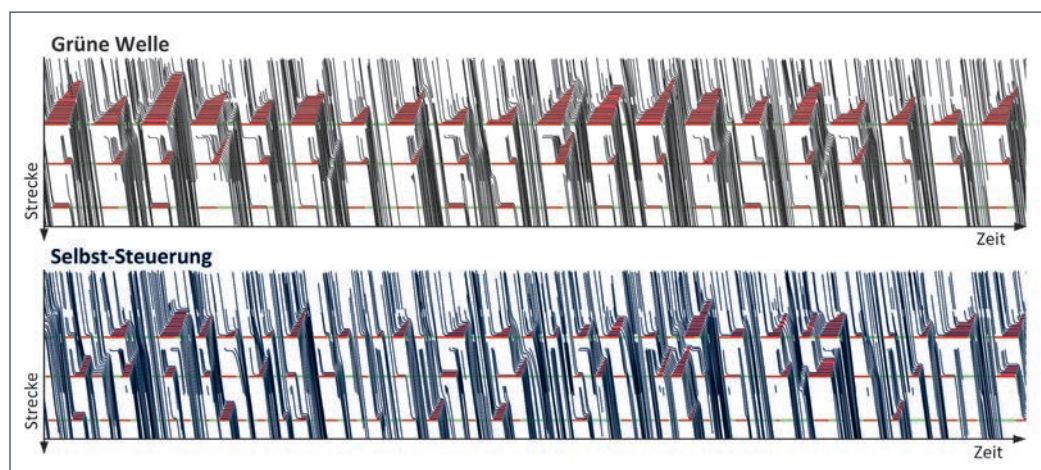
Die Selbst-Steuerung (SST) verwendet im Gegensatz dazu keine vorgefertigten Signal- oder Ablaufpläne. Mit der vorhandenen Sensorik werden Fahrzeuge erfasst und deren Ankünfte auf den Knotenzufahrten modellgestützt antizipiert. Auf dieser Grundlage berechnet ein Optimierungsverfahren, welche Spuren entsprechend ihrer Verträglichkeiten zusammen oder nacheinander wie lange Grün erhalten müssen, damit möglichst wenige dieser Fahrzeuge stoppen bzw. warten müssen. Das Optimierungsverfahren generiert in jeder Sekunde ca. 10 000 Lösungen, die es hinsichtlich einer gewichteten Summe aus Wartezeiten und Stopps bewertet. Die Lösung, die für die aktuell antizipierten Knotenankünfte über die nächsten zwei Minuten den besten Zielfunktionswert liefert, wird ausgewählt (sog. Rolling Horizon). Sobald sich die Verkehrssituation ändert, weil sich beispielsweise eine Fahrzeugkolonne verzögert oder weil ein Bus eine Anforderung sendet, wird es eine neue beste Lösung geben, die ab diesem Moment verfolgt wird. Die aktuellen Grünzeiten sind also stets die beste gefundene Lösung für die aktuell erfasste Verkehrssituation.

Von ihrem methodischen Ansatz her gehört die SST zur Gruppe der lokal optimierenden, voll-verkehrsabhängigen Steuerverfahren. Typischerweise eignen sich solche Verfahren mangels Koordinierungsfähigkeit jedoch nur für Einzelknoten. Doch das ist bei der SST aus zweierlei Gründen anders: Erstens werden bewegte Fahrzeugkolonnen im Zufluss erfasst und über Netzknoten hinweg antizipiert. Zweitens schlägt das Anhalten grösserer Fahrzeugkolonnen in der Zielfunktion direkt zu Buche und wird deswegen soweit möglich vermieden. Eine dynamische Kolonnenführung entsteht von selbst, wann und wo es möglich ist. Abbildung 3 stellt die SST für die gleiche Verkehrssituation der «Grünen Welle» gegenüber.

Contrairement à cette approche, l'autorégulation n'utilise aucun plan de signalisation ou opérationnel pré-établi. Des capteurs détectent les véhicules et anticipe leur arrivée aux nœuds à partir de modèles. Avec ces données, une méthode d'optimisation détermine combien de temps le feu doit être vert et si celui-ci doit l'être simultanément ou successivement pour toutes les voies en fonction de leurs compatibilités. L'objectif est de réduire au maximum le nombre de véhicules ayant besoin de s'arrêter et/ou d'attendre. Cette méthode d'optimisation génère environ 10 000 solutions par seconde, qu'elle évalue sur la base de la somme pondérée des temps d'attente et d'arrêt. Ensuite, elle choisit la solution offrant la meilleure valeur de la fonction cible pour les arrivées aux nœuds sur les deux prochaines minutes (horizon de roulement). Dès que le trafic change, p. ex. suite au retard d'une colonne de véhicules ou à l'arrivée d'un bus, le système fournit une nouvelle solution optimale, et celle-ci est appliquée à partir de ce moment-là. La durée actuelle des feux verts correspond donc toujours à la meilleure solution déterminée, compte tenu de la situation du trafic saisie à un moment précis.

De par son approche, l'autorégulation fait partie des méthodes de régulation à optimisation localisée et entièrement dépendantes du trafic. Cependant, faute de pouvoir être coordonnées, ces méthodes conviennent uniquement pour des nœuds individuels. Toutefois, la situation est différente avec l'autorégulation, et ce pour deux raisons: d'une part, les colonnes de véhicules en mouvement sont saisies dans le flux entrant et sont anticipées au-delà des nœuds du réseau. D'autre part, l'arrêt d'importantes colonnes de véhicules est pris en compte dans la fonction cible et sera donc évitée dans la mesure du possible via la régulation dynamique et automatique des colonnes. La figure 3 compare l'autorégulation à l'onde verte dans une situation de flux de trafic identique.

- 3 | Fahrzeugtrajektorien eines Streckenzugs mit identischen Zuflüssen.
Oben: Umlaufbasiertes, koordiniertes Verfahren mit «Grüner Welle».
Unten: Selbst-Steuerung ohne vordefiniertes Muster.
Rötliche Flächen: Wartezeiten.
 3 | Trajectoires des véhicules d'un tronçon avec flux entrants identiques.
En haut: méthode coordonnée, basée sur la circulation, avec «onde verte».
En bas: autorégulation sans modèle prédéfini.
Surfaces rouges: temps d'attente.



Mit der SST entstehen gänzlich andere Verkehrsabläufe, als sie für umlaufbasierte Verfahren üblich sind. Während für eine Hauptrichtung oder einen Bus das Grün gehalten wird, erhalten beispielsweise die dazu verträglichen Nebenströme wie Linksabbieger oder Fussgänger abwechselnd Grün. Weil die SST sowohl die Ankunftszeiten als auch die Kolonnengrößen explizit abschätzt, werden Grünzeiten vorrangig nur dann und nur so lange eingeplant, wie es zur Abfertigung der Fahrzeuge notwendig ist. Aus der Optimierung ergibt es sich von selbst, dass bei höheren Auslastungen Kolonnen gestaucht werden, um die Bedieneffizienz zu steigern, während bei geringeren Auslastungen das Grün für einzelne Nachzügler gehalten wird, um Stopps zu vermeiden. Die Lücken zwischen den Kolonnenankünften werden häufig als Gelegenheit zur flexiblen Einbeziehung von Neben- oder Abbiegeströmen genutzt. Infolgedessen tendiert die SST zu kürzeren Bedienfolgezeiten, als sie mit umlaufbasiert koordinierten Steuerungen möglich sind. Davon profitiert insbesondere auch der Fussverkehr.

Für die spezifischen Anforderungen, die ein Betreiber an den verkehrlichen Ablauf der selbst-gesteuerten Knotenpunkte stellt, seien es ÖV-Priorisierung, Fussgänger-Bevorzugung oder Dosierfunktionen, bietet die SST drei wesentliche Stellschrauben:

➤ **Harte Randbedingungen**

Jede Lösung des Optimierungsproblems erfüllt einen Satz logischer Bedingungen. Diese haben die Form «Wenn hier Rot/Grün ist/wird, dann muss so viele Sekunden früher/später dort Rot/Grün sein/werden». Darin enthalten sind beispielsweise alle Zwischen- und Versatzzeitbedingungen. Aber auch Vorgaben an die Signalisierung bedingt verträglicher Ströme (z.B. abbiegende Autos gegen parallel geführte Fussgänger) oder auch komplexere Anforderungen (z.B. die progressive Freigabe etappierter Fussgängerstreifen mit oder ohne Berücksichtigung Sehbehinderter) lassen sich damit formulieren.

➤ **Zielgewichtung**

Der Verkehrsablauf an einem Knoten wird gesamtheitlich optimiert. Doch zu wessen Gunsten das Optimierungsverfahren die Konflikte zwischen den Verkehrsarten und -strömen in konkreten Situationen vorrangig lösen soll, lässt sich durch die Wahl der Wartezeit- und Stopp-Gewichte in der Zielfunktion beeinflussen. Beispielsweise kann die Wartezeit an einem Fussgängerstreifen zu deren Bevorzugung höher gewichtet werden. Ebenso lässt sich durch die Gewichtung von Stopps beispielsweise die Qualität der Kolonnen-

Avec l'autorégulation, les flux de trafic qui se forment sont totalement différents de ceux qui résultent habituellement des méthodes basées sur les cycles. Tandis que, pour un sens de circulation principal ou un bus, le feu reste vert, les flux secondaires compatibles, p. ex. des usagers qui tournent à gauche ou des piétons, auront un feu vert intermittent. Comme l'autorégulation calcule les heures d'arrivée et les longueurs des colonnes, la durée des feux verts dépendra uniquement de la durée nécessaire au passage des véhicules. En cas de demande élevée, les colonnes de véhicules sont refoulées afin d'améliorer l'efficacité. À l'inverse, quand le trafic est faible, le feu restera vert plus longtemps pour les retardataires afin d'éviter les arrêts. Les laps de temps entre les colonnes de véhicules qui arrivent permettent alors d'intégrer de manière flexible des flux secondaires ou des flux tournants. L'autorégulation permet donc des séquences d'utilisation plus courtes que dans le cas de systèmes coordonnés selon la circulation. Cette méthode profite est particulièrement avantageuse pour le trafic piétonnier.

Que la priorité soit donnée aux TP, aux piétons ou à des fonctions de dosage, l'autorégulation offre trois leviers essentiels pour répondre aux exigences spécifiques posées par un exploitant pour garantir la fluidité du trafic au niveau de nœuds autorégulés:

➤ **Des strictes conditions aux limites**

Chaque solution au problème d'optimisation satisfait à un ensemble de conditions logiques. Ces conditions s'expriment comme suit: «si le feu est/passe au rouge/vert ici, alors, il doit être/passer au rouge/vert autant de secondes plus tôt/plus tard là-bas». Toutes les conditions liées aux temps intermédiaires et aux temps de décalage en font partie. Des directives pour la signalisation selon des flux compatibles (p. ex. véhicules qui obliquent par rapport à des flux de piétons parallèles) ou des exigences plus complexes (p. ex. libération progressive de bandes zébrées en plusieurs étapes avec et sans personnes malvoyantes) peuvent être formulées.

➤ **Pondération des objectifs**

L'écoulement de la circulation au niveau d'un nœud est globalement optimisé. En faveur de qui la méthode d'optimisation doit-elle résoudre en priorité les conflits entre les types et les flux de trafic dans des situations concrètes? Tout dépend de l'importance accordée aux temps d'attente et aux arrêts dans la fonction cible. Par exemple, on pourra accorder une importance plus grande au temps d'attente à un passage pour piétons. De même, par rapport à d'autres directives, on pourra accorder une importance particulière aux arrêts

führung entlang einer gewählten Hauptrichtung gegenüber anderen Vorgaben abwägen.

➤ Liste spezifischer Regeln

Darüber hinaus gibt es Anforderungen, die sich weder als logische Bedingung noch als Zielvorgabe formulieren lassen, und die sich unter Umständen sogar ausschliessen. Beispielsweise soll für Busse das Grün gehalten werden, solange sie angemeldet sind. Und es ist zum Zwecke der Dosierung die Grünzeit zu begrenzen, wenn Detektoren im Abfluss einen bestimmten Belegungsgrad anzeigen. Und Fussgänger sollen spätestens 60 Sekunden nach Anforderung Grün erhalten. Derartige Regeln werden der SST als Liste übergeben, die sie dann in jedem Schritt der Lösungsfindung, mit der ersten Regel beginnend der Reihe nach, sofern noch möglich, anwendet. Ein Betreiber kann diese Liste um zusätzliche Regeln erweitern und mittels Sortierung auf einfache Weise festlegen, welche Regeln welche anderen dominieren.

Diese Bedingungen, Gewichte und Regeln gelten unabhängig von der Tageszeit oder dem Wochentag. Vielmehr beschreibt diese Art der Parametrierung, was bei der Gestaltung des Verkehrsablaufs wie dringlich zu befolgen ist. Es ist unerheblich, ob eine zu lösende Verkehrssituation der geplanten Stundennachfrage entspricht oder ob sie sich aus anderen Gründen so ergeben hat. Solange die Vorgaben morgens wie abends gelten sollen, benötigt die SST keine tageszeitabhängige Parametrierung.

Praxistest

Der Praxistest wurde im Auftrag des Tiefbauamts der Stadt Luzern von der Roland Müller Küsnacht AG, aus der die Lumisera AG hervorgegangen ist, und dem Steuergerätehersteller Bergauer AG durchgeführt. Unterstützt wurde das Projekt von der Koordinationsstelle für nachhaltige Mobilität (KOMO)^[1] des Bundes, vertreten durch das ASTRA.

Der Praxistest wurde in drei Phasen durchgeführt, die im Einzelnen folgende Schritte umfassen:

Konzeption

- Begehung des Testperimeters und dessen weiteren Umfelds
- Analyse der verkehrlichen Situation in multimodaler Hinsicht
- Analyse der vorhandenen Steuergeräteinfrastruktur
- Analyse der vorhandenen Sensorik
- Identifikation allfällig zusätzlich erforderlicher Sensorik

pour privilégier la fluidité sur un axe de circulation principal sélectionné.

➤ Liste des règles spécifiques

Il existe aussi des exigences qui ne peuvent être formulées ni comme une condition logique ni comme un objectif, et qui parfois s'opposent mutuellement. Par exemple, le feu doit rester vert pour les bus tant qu'ils sont annoncés. À des fins de régulation du trafic, il faudra limiter la durée du feu vert quand les détecteurs mesurant le flux annoncent un certain taux d'occupation. Le feu pour piétons doit passer au vert au plus tard dans les 60 secondes après l'activation du bouton d'appel. Ces règles sont transmises sous forme de liste au système d'autorégulation qui les applique dans la mesure du possible à chaque étape de la solution, en commençant par la première règle. Un exploitant peut compléter cette liste par des règles supplémentaires et définir simplement, au moyen d'un tri, celles qui seront prioritaires sur les autres.

Ces conditions limites, pondérations et règles s'appliquent indépendamment de l'heure de la journée ou du jour de la semaine. Cette méthode de paramétrage décrit les critères à prendre en compte en priorité pour garantir l'écoulement de la circulation. Il importe peu que la situation de trafic à résoudre avec ce système corresponde à l'horaire planifié ou qu'elle ait été provoquée pour d'autres raisons. Tant que les directives s'appliquent le matin comme le soir, l'autorégulation ne requiert aucun paramétrage dépendant du moment dans la journée.

Essai pratique

L'essai pratique a été réalisé sur ordre de l'Office du Génie Civil de la Ville de Lucerne par le cabinet Roland Müller Küsnacht AG, qui a donné naissance à la société Lumisera AG, et par le fabricant de systèmes de régulation Bergauer AG. Le projet a été subventionné par le Bureau de Coordination pour la Mobilité Durable (COMO)^[1] de la Confédération, représenté par l'OFROU.

L'essai pratique s'est déroulé en trois phases qui regroupent les étapes suivantes:

Conception

- Visite du périmètre de l'essai et de ses environs
- Analyse de la situation du trafic sous un angle multimodal
- Analyse des systèmes de régulation actuels
- Analyse des capteurs actuels
- Identification des capteurs supplémentaires éventuellement nécessaires

- Konzeption der SST angesichts des verkehrlichen Anforderungsprofils
- Virtueller Testbetrieb mittels Verkehrsflusssimulation

Realisierung

- Umsetzung der Schnittstelle «ConExtIS» auf Seiten SST und Steuergerät
- Vorhalten einer steuerungstechnischen Rückfallebene (z. B. Festzeit-Signalplan)
- Beschaffung und Einbau von Industrie-PCs (inkl. Dongles)
- Etablierung eines Message-Busses zwischen den zwei SST-Instanzen
- Fräsen und Anschliessen der zusätzlichen Schlaufen
- Inbetriebnahme

Betrieb und Monitoring

- Beobachtung und Nachjustierung
- Wirkungskontrolle

Die Konzeption der SST erfolgte unter den gleichen verkehrlichen Rahmenbedingungen, wie sie auch für die vorherige Steuerung galten. Es wurden keine neuen Forderungen erhoben und auch keine fallen gelassen. Dazu gehört beispielsweise, dass Fussgänger teilweise bedingt verträglich geführt werden, dass manche Fussgängerquerungen progressiv freischalten und für andere ein gleichzeitiger Grünstart gilt und nicht zuletzt auch, dass in Richtung des Stadtzentrums dosiert werden muss, um Rückstaus von dort in den Testperimeter zurück zu vermeiden. Bei der Konfiguration der SST flossen diese Vorgaben weitestgehend als harte Randbedingungen ein. Für die Wahl der Gewichtung galt es jedoch, den eingangs geschilderten Zielkonflikt zwischen den Verkehrsarten abzuwägen.

Um die richtige Abwägung zu treffen, wurden im virtuellen Testbetrieb verschiedene Parametrierungsvarianten erarbeitet und gemeinsam mit dem Betreiber beurteilt. Dabei wurden auch Nachfrageüberhöhungen oder bestimmte Lastsituationen betrachtet, wie z. B. der Fall, dass der Abfluss in Richtung Stadtzentrum zeitweise blockiert ist (Abb. 4). Dabei konnte auch festgestellt werden, wo die SST zusätzliche Sensorik benötigt, um ihr Optimierungspotenzial auszuschöpfen.

Art und Umfang der vorhandenen Sensorik waren bereits grundsätzlich gut. Velos werden zwar nicht separat erfasst, aber die Schleifen des MIV lösen für sie mit aus. 45 MIV-Detektoren waren bereits vorhanden: Vor jeder Haltelinie befindet sich eine Kurz- und eine Langschleife und auf den Hauptzufahrten zusätzlich

- Conception de l'autorégulation compte tenu du profil d'exigences du trafic
- Essai virtuel avec simulation du trafic

Réalisation

- Mise en œuvre de l'interface «ConExtIS» sur l'autorégulation et l'appareil de régulation
- Mise à disposition d'une solution de repli concernant la technique de régulation (p. ex. plan de signalisation pour heures fixes)
- Acquisition et installation de PC industriels (y c. dongles)
- Mise en place d'un bus de message entre les deux instances d'autorégulation
- Découpage et raccordement des boucles supplémentaires
- Mise en service

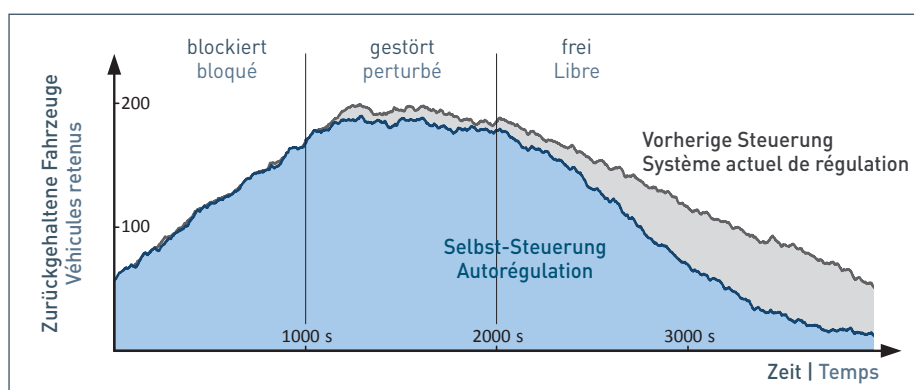
Exploitation et Supervision

- Observation et réajustement
- Contrôle d'efficacité

L'autorégulation a été configurée selon les mêmes conditions-cadres de circulation que le système de régulation précédent. Aucune nouvelle exigence n'a été ajoutée et aucune n'a été négligée: que ce soit l'orientation partielle des flux de piétons selon les compatibilités, la libération successive ou simultanée de maints passages pour piétons ou la régulation du trafic en direction du centre-ville pour éviter des retenues dans le périmètre de l'essai. Lors de cette configuration, ces exigences ont été intégrées dans une large mesure sous la forme de conditions limites strictes. Pour le choix de la pondération, il a fallu tenir compte du conflit d'objectifs entre les types de trafic décrits ci-dessus.

Afin de prendre la bonne décision, différents paramètres ont été élaborés dans le test virtuel et ont été évalués avec l'exploitant. Des hausses de la demande ou certaines situations de congestion du trafic ont été prises en compte, p. ex. lorsque le trafic vers le centre-ville est bloqué (fig. 4). Cette approche a aussi permis d'identifier les emplacements où des capteurs supplémentaires seront nécessaires afin d'exploiter au maximum le potentiel d'optimisation.

Le type et la portée des capteurs étaient déjà satisfaisants. Certes, les vélos ne sont pas détectés séparément, mais les boucles du TIM se déclenchent pour eux. 45 détecteurs du TIM étaient déjà installés: une boucle courte et une boucle longue se trouvent avant chaque ligne d'arrêt et une boucle est aussi placée sur les principales voies d'accès, à environ 40 à 50 mètres en amont. Neuf boucles ont été ajoutées pour l'autorégulation. Elles doivent saisir le trafic le plus



4 | Simulation der Dosierfunktion: Fahrzeuge werden bei blockiertem und gestörtem Abfluss zuverlässig zurückgehalten. Anschliessend fliessen sie mit der Selbst-Steuerung schneller wieder ab.

4 | Simulation de la fonction de dosage: les véhicules sont retenus de manière fiable lorsque le trafic est bloqué et perturbé. Le trafic se fluidifie ensuite plus rapidement grâce à l'autorégulation.

noch eine ca. 40 bis 50 Meter vorgelagerte Schleife. Für die SST wurden 9 weitere Schleifen nachgerüstet. Sie sollen den zufließenden Verkehr möglichst früh erfassen und wurden daher bis zu 180 Meter vor der Haltelinie platziert. Grundsätzlich aber hat sich die Anordnung der zusätzlichen Schleifen an den vorhandenen Leitungen und Schächten ausgerichtet, sodass keine aufwendigen Tiefbauarbeiten erforderlich wurden. Für einen nicht unwichtigen Zufluss wurde sogar gänzlich auf zusätzliche Schleifen verzichtet. Die Platzverhältnisse im Steuergeräteschrank reichten für die zusätzlichen Auswerter gut aus.

Was die Steuergeräteinfrastruktur betrifft, so zeigte sich, dass sich aus Gründen der erforderlichen Rechenleistung eine Auslagerung der SST auf einen separaten Industrie-PC (IPC) empfiehlt. Das Steuergerät soll also nicht selbst die Algorithmen der SST berechnen, sondern deren Ergebnis von einem per Ethernetkabel angeschlossenen IPC beziehen. Hierfür wurde in Abstim-

tôt possible et ont donc été placées jusqu'à 180 mètres avant la ligne d'arrêt. En principe, les boucles supplémentaires ont été disposées aux emplacements des conduites et puits existants, de manière à éviter des travaux de génie civil complexes. Aucune boucle supplémentaire n'a été installée ou le flux entrant n'était pas négligeable. En outre, l'armoire de commande était suffisamment grande pour permettre l'installation de capteurs supplémentaires.

Concernant l'infrastructure des appareils de régulation, un transfert de l'autorégulation sur un PC industriel séparé (IPC) est recommandé en raison de la puissance de calcul nécessaire. L'appareil de régulation ne doit pas lui-même calculer les algorithmes de l'autorégulation, mais obtenir leur résultat à partir d'un IPC raccordé par un câble Ethernet. L'interface ConExtIS (Controller Extension Interface Specification) a été élaborée à cet effet en accord avec les acteurs impliqués. ConExtIS spécifie un protocole binaire simplifié

Anzeige

Der Spezialist für Graffitischutz

www.desax.ch

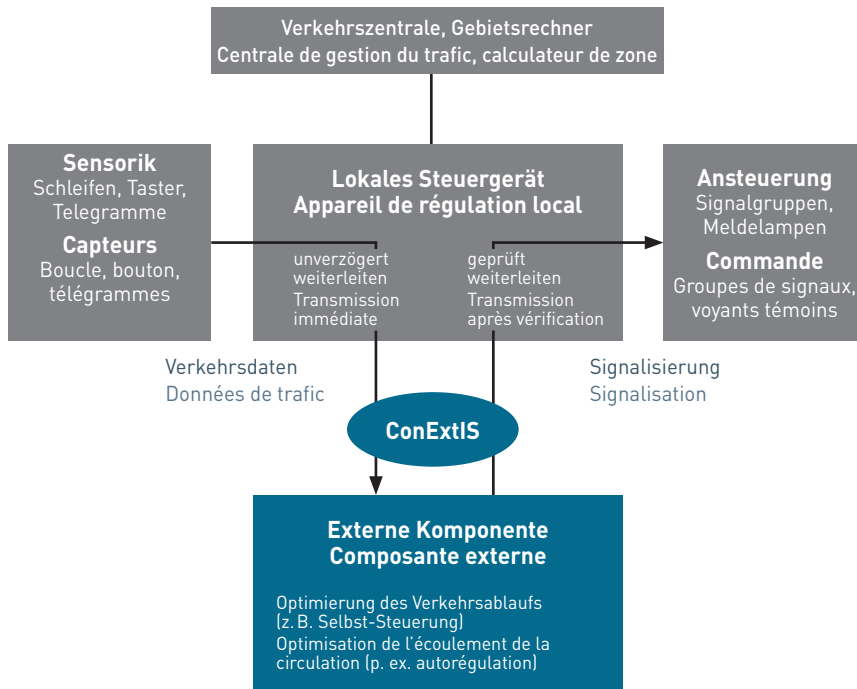
DESAX AG
Ernetschwilerstr. 25
8737 Gommiswald
T 055 285 30 85

DESAX AG
Felsenastr. 17
3004 Bern
T 031 552 04 55

DESAX SA
Ch. des Larges-Pièces 4
1024 Ecublens
T 021 635 95 55

Graffitischutz
Betonschutz
Desax-Betonkosmetik
Betongestaltung
Betonreinigung


DESAX
Schöne Betonflächen



5 | ConExtIS (Controller Extension Interface Specification) als offenes, lizenzfreies Protokoll zur Auslagerung rechenintensiver Steuerverfahren auf eine externe Komponente.

5 | ConExtIS (Controller Extension Interface Specification), un protocole ouvert et sans licence permettant le transfert sur une composante externe de méthodes de régulation impliquant des tâches de calcul intensives.

6 | Einbau des Industrie-PCs in den Steuergeräteschrank.

6 | Installation du PC industriel dans l'armoire de commande.

zung mit den beteiligten Akteuren die Schnittstelle ConExtIS (Controller Extension Interface Specification) entwickelt. ConExtIS spezifiziert ein schlankes Binärprotokoll auf TCP/IP. Neben Daten- und Nachrichtentypen definiert sie das Handshake beim Verbindungsaufbau und während der sekundlichen Signalbildupdates. Dabei bleiben die Kernaufgaben des Steuergeräts (z. B. Zentralenkommunikation, Betriebsmodi, Verkehrssicherheit) unbeeinträchtigt. Abbildung 5 zeigt, wie der IPC als externe Komponente mittels ConExtIS an ein Steuergerät angebunden ist. Mit dem Steuergeräte-Lieferanten (Bergauer AG) wurde die Schnittstelle ausprogrammiert und nach erfolgreichen Werkstatttests als Software-Update aufs Steuergerät und den IPC aufgespielt. Als IPC wurde das Modell C6030 von Beckhoff gewählt. Es fand mit seinen handlichen Massen 129 x 133 x 76 mm problemlos Platz im Steuergeräteschrank (Abb. 6). Die SST-Software ist auf dem IPC mittels Hardware-Dongle geschützt.

Die SST-Instanzen der beiden LSA tauschen untereinander Daten aus. Zum einen sind dies die Fahrzeugankünfte, die zur Kurzzeitprognose an den Nachbarknoten weitergereicht werden, zum anderen die verfügbaren Stauraumkapazitäten zur Bewirtschaftung des Zuflusses. Dies geschieht durch einen proprietären UDP-basierten Message-Bus über das städtische LWL-Netzwerk. Dessen Sicherheitsanforderungen werden

sur TCP/IP. En plus des types de données et de messages, elle définit la connexion lors de l'établissement de la liaison et pendant la mise à jour continue de la signalisation. Les tâches principales de l'appareil de régulation (p. ex. communication avec la centrale, modes d'exploitation, sécurité du trafic) ne sont pas affectées. La figure 5 montre comment l'IPC est relié en tant que composante externe à un appareil de régulation au moyen de ConExtIS. Avec le fournisseur d'appareils de régulation (Bergauer AG), l'interface a été programmée et installée via une mise à jour logicielle sur l'appareil de régulation et l'IPC après des tests réalisés avec succès en atelier. Le modèle d'IPC choisi était un C6030 de la société Beckhoff. Grâce à ses dimensions compactes (129 x 133 x 76 mm), il a pu être installé sans problème dans l'armoire de commande (fig. 6). Le logiciel d'autorégulation est protégé par un dongle sur l'IPC.

Les instances d'autorégulation des deux installations échangent des données entre elles. Ces données sont d'une part les arrivées des véhicules qui sont transmises aux nœuds voisins pour établir des prévisions à court terme, et d'autre part l'espace disponible pour la gestion du trafic en arrivée. Les données sont échangées via un bus de message basé sur le protocole UDP du réseau de fibre optique de la ville. La sécurité du réseau n'est pas affectée par cet échange de données.



7 | Erst-Inbetriebnahme der Selbst-Steuerung.
7 | Première mise en service de l'autorégulation.

von diesem Datenaustausch nicht berührt. Das Datenvolumen ist mit weniger als 100 Byte/s vernachlässigbar klein. Eine Verbindung von den IPCs ins Internet gibt es nicht.

Angesichts der Natur des Praxistests war es dem Betreiber ein Anliegen, dass im Falle einer Störung seitens der SST automatisch in eine Rückfallebene umgeschaltet wird. Hierfür wurde ein Festzeit-Signalplan hinterlegt. Im Störfall wäre ein Wechsel zur Rückfallebene fließend und ohne Gelblinken sichergestellt.

Die Inbetriebnahme startete mit knotenweisen Erst-Inbetriebnahmen für ein bis zwei Stunden. Abbildung 7 hält einen Eindruck fest. Dabei wurden die Auffälligkeiten festgehalten, die im Antizipationsmodell hinterlegten Geschwindigkeitsannahmen überprüft und nachträglich auch die Log-Dateien vertieft analysiert. Daraus ging ein Software-Update hervor, das zunächst tagsüber und ab dem dritten Tag auch nachts in Betrieb gelassen wurde. Dieser Zyklus wurde im anschließenden Testbetrieb nach Bedarf wiederholt. Rückmeldungen von Seiten der Verkehrsbetriebe wie auch der Bevölkerung aus dem Quartier wurden gesammelt und berücksichtigt.

Schliesslich wurde die Effektivität der SST im Rahmen einer Wirkungskontrolle im Vergleich zur bisherigen Steuerung untersucht. Die Voraussetzungen für eine direkte Vergleichbarkeit sind gegeben, auch wenn die SST zusätzliche Detektoren verwendet, da sowohl die verkehrlichen Rahmenbedingungen als auch die konzeptionellen Anforderungen identisch sind.

Le volume de données, inférieur à 100 octets/s., est relativement faible. Les IPC ne sont pas connectés à Internet.

Compte tenu de la nature de l'essai pratique, le basculement automatique vers une solution de repli en cas de défaillance de l'autorégulation était une exigence de l'exploitant. Un plan de signalisation pour heures fixes a été enregistré à cet effet. En cas de défaillance, un transfert vers la solution de repli est garanti de manière fluide et sans clignotement jaune des feux indiquant une défaillance.

La solution a été mise en service nœud par nœud pendant une à deux heures. La figure 7 représente la première mise en service. Les anomalies ont été enregistrées, les hypothèses de vitesse consignées dans le modèle d'anticipation ont été vérifiées et les fichiers journaux ont ensuite été analysés de manière approfondie. Une mise à jour logicielle a ensuite été exécutée, d'abord en cours de journée, puis la nuit à partir du troisième jour. Ce cycle a été répété selon les besoins au cours de l'essai qui a suivi. Les retours d'information des sociétés de transport et des riverains ont été collectés et pris en compte.

Enfin, l'efficacité de l'autorégulation par rapport au système précédent a été évaluée dans le cadre d'un contrôle. Même si l'autorégulation utilise des capteurs supplémentaires, les conditions pour une comparaison directe sont réunies: en effet, les conditions-cadres concernant le trafic et les exigences conceptuelles sont identiques.

Ergebnisse der Wirkungskontrolle

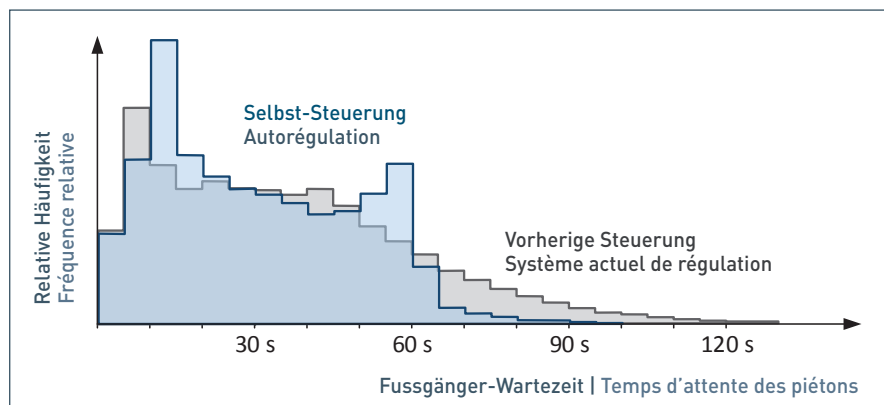
Mit der Wirkungskontrolle wurde das Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme (IVT) der ETH Zürich beauftragt. Grundlage für die quantitative Auswertung bildeten Detektor-, Signalzeiten- und auch Videoaufzeichnungen aus der 3. und 4. Kalenderwoche 2020, in denen einmal die SST und einmal die vorherige Steuerung lief. Der Zeitraum lag ausserhalb der Schulferien, und das Wetter war schneefrei und beständig. Die Ergebnisse wurden als Forschungsbericht^[2] veröffentlicht und sollen hier kurz zusammengefasst werden:

- **Die Bedienqualität des ÖV** lag bereits mit der vorherigen Steuerung auf einem sehr hohen Niveau. Die bis zu 123 Busse je Stunde mussten im Mittel 6 Sekunden bei Rot warten. Mit der SST konnten die Verlustzeiten auf 4 Sekunden gesenkt werden (-33%).
- **Fussgänger** mussten vom Drücken des Anforderungstasters bis zum nächsten Grün vorher durchschnittlich 35 Sekunden warten, mit der SST waren es 30 Sekunden (-14%). Insbesondere zeigt die Verteilung (Abb. 8), dass lange Wartezeiten fast vollständig eliminiert werden konnten: Mit der SST ging die Zahl der Fälle, in denen Fussgänger länger als 60 Sekunden warten müssen, um 75% zurück.
- **Die mittlere Wartezeit des MIV** sank von 35 auf nunmehr 27 Sekunden (-23%). Um die Qualität der Kolonnenführung zu beurteilen, wurden zusätzlich die Zeitlücken zwischen Grünende und der Ankunft des ersten Fahrzeugs bei Rot betrachtet. Ist der Wert kleiner als fünf Sekunden, sodass Fahrzeugführende abrupt abbremsen müssen, wurde dies als «harter Stopp» gewertet. Deren Häufigkeit konnte mit der SST um 26% gesenkt werden.

Résultats du contrôle d'efficacité

La réalisation du contrôle d'efficacité a été confiée à l'Institut pour la planification du trafic et des systèmes de transport (IVT) de l'EPF de Zurich. L'analyse quantitative reposait sur des enregistrements de détecteurs, de temps de signaux et des enregistrements vidéo effectués au cours des semaines 3 et 4 de 2020, avec utilisation de l'autorégulation pendant une semaine et du système précédent pendant l'autre semaine. L'essai s'est déroulé en dehors des vacances scolaires et la météo était stable et sans neige. Les résultats ont été publiés dans un rapport de recherche^[2] et sont résumés succinctement ici:

- **La fiabilité du service des TP** était déjà très élevée avec le système précédent. Les bus, dont le nombre pouvait atteindre 123 par heure, devaient attendre 6 secondes au feu rouge. Avec l'autorégulation, le temps d'attente est descendu à 4 secondes (-33%).
- Auparavant, les **piétons** devaient patienter en moyenne 35 secondes entre l'actionnement du bouton d'appel et le passage du feu au vert. Avec l'autorégulation, cette durée est passée à 30 secondes (-14%). La répartition (fig. 8) montre que les temps d'attente particulièrement longs ont été supprimés presque entièrement. Avec l'autorégulation, le nombre de cas dans lesquels les piétons doivent attendre plus de 60 secondes a chuté de 75%.
- **Le temps d'attente moyen du TIM** est passé de 35 à 27 secondes (-23%). Pour évaluer la qualité de la gestion des colonnes, les durées entre la fin du feu vert et l'arrivée du premier véhicule au feu rouge ont été analysées. Si la valeur est inférieure à cinq secondes, de sorte que les véhicules soient contraints à freiner brusquement, cela est considéré comme un «arrêt complet». Avec l'autorégulation, cette fréquence a diminué de 26%.



8 | Begrenzung der Wartezeiten auf maximal 60 Sekunden.

8 | Limitation des temps d'attente à 60 secondes maximum.

Fazit: grosser Erfolg

Die Stadt Luzern wertet den Praxistest als grossen Erfolg: Die SST führt zu allen Tageszeiten zu Effizienzgewinnen in Form zuverlässig kürzerer Wartezeiten für alle Verkehrsmittel.^[3] Der eingangs geschilderte Zielkonflikt zwischen ÖV und Fussverkehr wird deutlich entschärft, zumal im Nachgang an die Wirkungskontrolle die Fussverkehrsqualität mittels geeigneter Nachjustierungen nochmals signifikant verbessert wurde.

Die Grünzeiten werden mit der SST effizienter genutzt, was auch die Verkehrssicherheit erhöht: Die Akzeptanz, bei Rot zu warten, steigt, wenn ersichtlich ist, dass zugleich Verkehr abgewickelt wird, und wenn man sich auch darauf verlassen kann, dass die Rotzeiten nicht unerträglich lang werden. Die Förderung eines attraktiven und sicheren Fuss- und Veloverkehrs wie auch des öffentlichen Verkehrs gemäss den Bestrebungen der städtischen Mobilitätsstrategie werden durch die SST deutlich unterstützt. Dass die SST zudem gut mit sich ändernden Verkehrsflüssen zurechtkommt, wie sie es bei Baustellenaktivitäten im näheren Umfeld des Testperimeters unter Beweis stellen konnte, unterstreicht deren verkehrliche und betriebliche Flexibilität noch zusätzlich.

Zwar ist der Algorithmus der SST aus Betreibersicht eine Black Box. Doch seine Wirkungsweise erschliesst sich unmittelbar: Die Konfiguration mittels Bedingungen, Gewichten und Regeln erlaubt die Definition eines klaren und begreifbaren Anforderungsprofils an den selbst-gesteuerten Verkehrsablauf. Nicht zuletzt erleichtert diese an konkreten Kenngrössen ausgerichtete Konfiguration auch den Diskurs mit der Politik und der Bevölkerung.

Was die Anlagentechnik betrifft, so konnte die SST in die vorhandene Steuergerätetechnik integriert werden. Ein Steuergeräteersatz war nicht erforderlich. Dabei liefen die Anbindung und Interaktion zwischen IPC und Steuergerät sehr robust. Eine Störunganfälligkeit liess sich bislang nicht feststellen.

Der Zugriff auf den IPC erfolgte vor Ort vom Laptop aus oder aber via VPN-Zugang, was ein komfortables Einspielen von Updates erlaubte. Beim Zugriff via VPN-Verbindung ist die geregelte Vergabe der entsprechenden Zugriffsrechte durch den Betreiber zur Wahrung der Cyber-Sicherheit Bedingung.

Es stellte sich heraus, dass ein weniger leistungsfähiger IPC genügt hätte. In nachfolgenden Projekten wird deshalb das Modell CX2030 von Beckhoff verwendet. Bei der Anbindung mittels ConExtIS ist es nebst der IPC-Lösung grundsätzlich auch denkbar, die SST-Soft-

Conclusion: un franc succès

Pour la ville de Lucerne, l'essai pratique est un franc succès: quels que soient le moment de la journée et le moyen de transport,^[3] l'autorégulation permet une réduction des temps d'attente. Le conflit entre les TP et le trafic piétonnier est nettement atténué, d'autant plus que la qualité de la mobilité piétonne a encore été sensiblement améliorée après le contrôle d'efficacité, grâce à des ajustements appropriés.

Avec l'autorégulation, les temps de feu vert sont utilisés plus efficacement, ce qui améliore la sécurité du trafic: les usagers acceptent plus facilement d'attente au feu rouge s'ils constatent que cela fluidifie le trafic et qu'ils savent que les temps d'attente sont raisonnables. L'autorégulation soutient les efforts de la ville en matière de mobilité de manière significative, en garantissant la sécurité et l'attractivité du trafic piétonnier et cycliste ainsi que des transports publics. En outre, l'autorégulation s'adapte bien aux fluctuations des flux de trafic – cela a pu être constaté au niveau d'activités de chantier exécutées dans l'environnement immédiat du périmètre de l'essai, ce qui souligne encore plus sa flexibilité en matière de gestion opérationnelle du trafic.

Certes, l'algorithme de l'autorégulation peut paraître complexe aux yeux des exploitants. Mais son efficacité est immédiatement visible: la configuration au moyen de conditions limites, de pondérations et de règles permet de définir un profil d'exigences clair et compréhensible concernant le trafic autorégulé. Cette configuration basée sur des grandeurs caractéristiques spécifiques facilite le débat avec les autorités politiques et la population.

Concernant l'installation technique, l'autorégulation a pu être intégrée dans le système de régulation actuel. Ce dernier n'a pas eu besoin d'être remplacé. La connexion et l'interaction entre l'IPC et l'appareil de régulation ont été très fiables. Aucune sensibilité aux pannes n'a été constatée jusqu'à présent.

L'accès à l'IPC a eu lieu sur place depuis un ordinateur portable ou via un accès VPN, ce qui a facilité l'installation des mises à jour. Lors de l'accès via une connexion VPN, l'attribution réglementée des droits d'accès par l'exploitant était nécessaire afin de garantir la cybersécurité.

Il s'est avéré qu'un IPC moins performant aurait suffi. Lors des projets suivants, le choix se portera donc sur le CX2030 de Beckhoff. En cas de connexion via ConExtIS, l'exécution du logiciel d'autorégulation directement sur l'appareil de régulation ou sur un serveur central est une alternative envisageable à l'uti-

ware direkt auf dem Steuergerät oder aber auf einem zentralen Server laufen zu lassen. Voraussetzung für ersteres wäre die Bereitstellung einer genügend hohen Rechenleistung seitens des Steuergeräts, für letzteres kleine Latenzen der Verbindung zwischen Server und Steuergerät.

Ausblick

Urbane Verkehrssysteme sind mehr und mehr vom Umstand geprägt, dass sie gestiegenen multimodalen wie auch stadträumlichen Bedürfnissen Rechnung zu tragen haben, jedoch die hierfür erforderlichen Flächen etwa für Veloverkehrsangebote nicht ohne Kapazitätseinbussen freigespielt werden können. Auch bezüglich der Verkehrssicherheit sind die Anforderungen gestiegen und führen nicht selten zu Kapazitätsreduktionen: Es erfordert zusätzliche Grünzeiten, wenn man auf bedingte Verträglichkeiten zwischen abbiegendem MIV und querendem Fussverkehr verzichtet. Zudem benötigt es längere Grünzeiten, wenn den tieferen Gehgeschwindigkeiten älterer Menschen beim Queren der Strasse entsprochen werden soll.

Am Beispiel der Tribschenstrasse konnte die SST aufzeigen, dass sie in dieser Hinsicht neue Handlungsspielräume zugunsten einer flächeneffizienten multimodalen Nutzung der Strassenräume bei gesteigerter Verkehrssicherheit freizusetzen vermag. Deshalb hat die Stadt Luzern entschieden, die SST in der Tribschenstrasse beizubehalten und weitere Standorte zu prüfen. Zudem ist in absehbarer Zeit vorgesehen, im Zuge der neuen Gesamtverkehrskonzeption die beiden mittels SST gesteuerten LSA um weitere Dosierfunktionen in Abhängigkeit der Verkehrslage im angrenzenden Verkehrssystem zu ergänzen und hiermit die SST auch in die strategische Verkehrssteuerung zu integrieren.

Ob die SST auch an verkehrlich zentraleren Orten mit ausgeprägteren Überlasteffekten und multimodal höherer Nachfrage in der Lage ist, die Effizienz der Verkehrsabwicklung ebenso zu steigern, muss erst noch bestätigt werden. Hierzu werden die aktuell laufenden und bevorstehenden Testbetriebe im In- und Ausland weiter Aufschluss geben.

Mit Spannung darf man auch die weitere technologische Entwicklung im Bereich der Sensorik erwarten. So würde eine KI-basierte Auswertung von Kameras die Ankunftsprognose auch im Fussverkehr ermöglichen – vor allem, weil die SST den Verkehrsablauf flexibel gestalten kann und sich mit ihr die Erwartungen, die man an kooperative Verkehrssysteme (C-ITS) und V2X-Anwendungen knüpft, direkt realisieren lassen.

lisation d'un IPC. Dans ce dernier cas, l'appareil de commande doit garantir une puissance de calcul suffisamment élevée. Dans le premier cas, la connexion entre le serveur et l'appareil de régulation requiert de brefs temps de latence.

Perspectives

Les systèmes de circulation urbaine doivent de plus en plus tenir compte de la hausse des besoins multimodaux et urbanistiques. Or les surfaces nécessaires pour y répondre, p. ex. pour créer des offres dédiées au trafic cycliste, ne peuvent être libérées sans pertes de capacités. Les exigences en matière de sécurité du trafic ont également augmenté et entraînent souvent des réductions de capacités: il faut des temps de feu vert supplémentaires si l'on renonce à certaines compatibilités entre le TIM obliquant et les flux piétonniers traversants. De même, des temps de feu vert plus longs sont nécessaires pour permettre aux personnes âgées, qui se déplacent plus lentement, de traverser la route.

Dans l'exemple de la Tribschenstrasse, l'autorégulation a montré qu'elle pouvait créer de nouvelles possibilités au profit d'une utilisation multimodale efficace des espaces routiers tout en améliorant la sécurité du trafic. La ville de Lucerne a donc décidé de conserver l'autorégulation dans la Tribschenstrasse et d'envisager son utilisation à d'autres endroits. Par ailleurs, la nouvelle conception globale des transports prévoit de compléter prochainement les deux installations de feux de circulation autorégulées par d'autres fonctions de dosage selon le trafic dans le système de transport connexe, et donc d'intégrer l'autorégulation dans la gestion stratégique du trafic.

Toutefois, la capacité de l'autorégulation à améliorer l'efficacité de la gestion du trafic dans des espaces routiers plus centraux, avec une surcharge de trafic marquée et une demande multimodale plus élevée, reste à confirmer. Les essais en cours et à venir en Suisse ainsi qu'à l'étranger fourniront de précieux aperçus à ce sujet.

Le développement technologique des capteurs retiendra toute notre attention. Une analyse des caméras basée sur l'intelligence artificielle permettrait d'anticiper aussi l'arrivée des flux piétonniers, notamment parce que l'autorégulation peut organiser de manière flexible l'écoulement de la circulation. Une liaison avec des systèmes de transport coopératifs (C-ITS) et des applications V2X est ainsi envisageable.

Neue Perspektiven für Qualitätssicherung und Verkehrsmonitoring

Auch zur Qualitätssicherung und für das Verkehrsmonitoring zeigt die SST neue Perspektiven auf: Die SST stellt modellbasiert aufbereitete Verkehrsinformationen über einen Message-Bus im Netzwerk bereit. Darauf kann ein Verkehrsrechner oder eine Verkehrsleitzentrale auch zugreifen. Ein Betreiber würde so vom Arbeitsplatz aus live verfolgen können, ob beispielsweise eine Parameteränderung die gewünschte Wirkung zeigt. Mittels geeigneter Statistiken liesse sich weiterhin im laufenden Betrieb auswerten, ob und wie gut ein definiertes Anforderungsprofil umgesetzt wird. Ein solches kontinuierliches Monitoring bietet ein effektives Instrument der Qualitätssicherung.

Zwar wurde ConExtIS ursprünglich entwickelt, um die rechenintensive SST-Software auszulagern. Doch die klare Entkoppelung von Steuergerät und Steuerlogik schafft zusätzliche Möglichkeiten: Zum einen trägt die unabhängige Austauschbarkeit jeder der beiden Seiten den unterschiedlichen Lebenszyklen von Hard- und Software Rechnung. Denn während Steuergeräte vielerorts über 20 Jahre abgeschrieben werden, unterliegt Software viel kürzeren Zyklen. Und da ConExtIS nicht auf die SST festgelegt ist, sondern auch anderen Steuerverfahren offensteht, liessen sich Steuerungs-Dienstleistungen zukünftig auf Basis dieser Schnittstelle ausschreiben.

Bei einem angestrebten Einsatz der SST an weiteren Standorten wäre zunächst zu prüfen, ob das vorhandene Steuergerät bereits über ConExtIS verfügt oder sich nachrüsten lässt. Ansonsten könnte bei einer Neuausschreibung die Schnittstelle ein Anforderungskriterium sein. Bislang ist ConExtIS auf den Steuergeräten «TTM® nodeControl» der Bergauer AG, «VR.NetCAN» der VR AG und «Sitraffic sX» von Siemens umgesetzt. Die Voraussetzungen für einen Wettbewerb sind somit gegeben.

De nouvelles perspectives pour l'observation de la circulation et pour l'assurance

L'autorégulation ouvre de nouvelles perspectives en matière de monitoring du trafic. L'autorégulation met des informations sur le trafic basées sur des modèles à la disposition du réseau via un bus de message. Un système de régulation du trafic ou une centrale de gestion du trafic peut aussi accéder à ces données. Un exploitant peut ainsi déterminer en direct, depuis le poste de travail, si une modification des paramètres produit l'effet intentionné. Des statistiques appropriées permettent de vérifier pendant l'exploitation si un profil d'exigences a été mis en œuvre et avec quelle qualité. Un tel monitoring continu représente un outil efficace d'assurance qualité.

Initialement, l'interface ConExtIS avait été développée pour transférer le logiciel d'autorégulation requérant des calculs intensifs sur un équipement externe. Le découplage entre l'appareil et la logique de régulation offre de nouvelles possibilités: d'une part, l'interchangeabilité indépendante des deux parties tient compte des différents cycles de vie entre le matériel et le logiciel. En effet, la durée d'amortissement des appareils de régulation dépasse souvent 20 ans alors que les logiciels ont des cycles de vie nettement plus courts. Comme ExtIS n'est pas liée à l'autorégulation, mais qu'elle est aussi ouverte à d'autres méthodes de régulation, les prestations de régulation pourront à l'avenir faire l'objet d'appels d'offres sur la base de cette interface.

Si l'utilisation de l'autorégulation est envisagée dans d'autres lieux, il conviendrait de vérifier d'abord si l'appareil de régulation possède déjà l'interface ConExtIS ou s'il peut en être équipé. Sinon, la présence de cette interface pourrait être un critère exigé en cas de nouvel appel d'offres. Jusqu'à présent, l'interface ConExtIS est disponible sur les appareils de régulation «TTM® nodeControl» de Bergauer AG, «VR.NetCAN» de VR AG et «Sitraffic sX» de Siemens. Les conditions nécessaires pour une vraie concurrence sont ainsi réunies.

Literatur/Quellen

- [1] Eine Beschreibung des KOMO-Projektes inklusive Schlussbericht ist ebenfalls auf der Webseite <http://www.energieschweiz.ch/komo-projekte> verfügbar.
- [2] Genser, A., M. Neuenschwander und A. Kouvelas [2020] Wirkungsanalyse Selbst-Steuerung, Forschungsbericht, <https://doi.org/10.3929/ethz-b-000456701>, IVT, ETH Zürich, Zürich.
- [3] Karrer, T. [2020] Praxistest Selbst-Steuerung – Mehr «Grün» für alle, Kurzbericht, https://www.stadtluzern.ch/_docn/2990923/Kurzbericht_SST_20201124.pdf, Tiefbauamt, Stadt Luzern, Luzern.