

# Die Countdown-Ampel

Countdown und Verkehrsabhängigkeit mit ÖV-Eingriffen – verträgt sich das? Dem will die Stadt Bern nachgehen. Dazu ist der grosse Fussgängerübergang am Bahnhofplatz ausgewählt worden, der vom Individualverkehr und auch von einer Buslinie gekreuzt wird. Die verbleibende Zeit bis Grün für die Fussgänger\* wird von einem Lichterkreis angezeigt, der am Anfang voll ist und sich nach und nach im Uhrzeigersinn abbaut. Beim Erlöschen wird die Ampel grün. Die Geschwindigkeit, mit welcher sich der Kreis abbaut, ist nicht konstant, verändert sich aber nicht sprunghaft und geht auch nie in die andere Richtung, sodass der Lichterkreis nie wieder anwächst. Der Lichterkreis wird vom Steuerverfahren selbst angesteuert, denn nur dort ist das dazu nötige Wissen vorhanden.

## Le feu de signalisation avec compte à rebours

Compte à rebours et régulation adaptative avec interventions des TP: est-ce compatible? La ville de Berne souhaite explorer cette voie. Le grand passage pour piétons situé près de la place de la gare et traversé par le trafic individuel et par une ligne de bus a été choisi pour ce projet. Les piétons peuvent voir le temps restant avant le passage au feu vert par un cercle lumineux. Celui-ci est complet au début et diminue progressivement dans le sens horaire. Le feu passe au vert quand le cercle lumineux s'éteint. La vitesse à laquelle le cercle diminue n'est pas constante, mais elle ne varie pas non plus de manière brusque et ne va jamais dans l'autre sens, de sorte que le cercle lumineux ne se remet jamais à croître. Il est commandé par le système de régulation qui dispose des informations requises à cet effet.



VON  
**DANIEL BÄRLOCHER**  
Dipl. Bau-Ing. ETH, Geschäftsführer,  
Rudolf Keller & Partner Verkehrs-  
ingenieure AG, Muttenz



VON  
**ALAIN KUTTER**  
Dipl. Siedlungsplaner HTL, Mitglied  
der Geschäftsleitung, Leiter Standort  
Bern, Rudolf Keller & Partner  
Verkehrssysteme AG, Bern



VON  
**MEMMO TAMBURRINO**  
Dipl. EL.-Ing. ETH, Geschäftsführer,  
vs | verkehrssysteme ag, Muttenz



VON  
**ANDRE EISENMANN**  
M.Sc. Mathematik, Softwarearchitekt  
vs | verkehrssysteme ag, Muttenz



VON  
**ANOUK ALLENSPACH**  
MSc Bau-Ing. EPF,  
Projektleitung VP Stadt Bern

\* Die maskuline Form von Substantiven wird in diesem Artikel in ihrer sogenannten unmarkierten semantischen Bedeutung verwendet – grammatikalisch maskulin ist nicht gleichzusetzen mit inhaltlich maskulin.



1 | Countdown-Ampel in Bern. Rechts oben der Kreis aus LED-Lichtchen, der anzeigt, wie lange es noch dauert, bis die Ampel von Rot auf Grün wechselt (Foto: M. Tamburrino).

1 | Le feu de signalisation avec compte à rebours à Berne: en haut à droite, le cercle composé de lampes LED indique le temps restant avant que le feu rouge ne passe au vert (photo: M. Tamburrino).

## Einführung

Seit dem 25. August 2021 stehen den Fussgängern beim grossen Übergang am Bahnhofplatz in Bern vier neue Countdown-Ampeln zur Verfügung. Diese zeigen mit einem Kreis aus LED-Lichtchen an, wie lange es noch dauert, bis die Ampel von Rot auf Grün wechselt. Vor allem wenn Leute in Eile sind, kann die Rotphase als sehr lange empfunden werden. Somit ist die Verlockung gross, wenn keine Fahrzeuge in Sicht sind, rasch die Strasse noch bei Rot zu überqueren. Die Countdown-Ampel soll dem entgegenwirken. Sie ist ein gutes Mittel, in solchen Situationen Klarheit zu schaffen, und erhöht damit die Sicherheit für alle Verkehrsteilnehmer. Die Stadt Bern begleitet die Einführung dieser Ampeln mit einem mehrmonatigen Versuchsbetrieb.

## Die Idee für Bern

Seit längerem gibt es in der Stadt Bern aus der Politik das Begehren, sogenannte Restzeitanzeigen für den Fussverkehr an Lichtsignalanlagen einzuführen. Aus verkehrstechnischer Sicht wurde dieser Wunsch auf die lange Bank geschoben, da dieses

## Introduction

Depuis le 25 août 2021, le passage pour piétons situé près de la place de la gare à Berne est équipé de quatre nouveaux feux de signalisation avec compte à rebours. Au moyen d'un cercle composé de lampes LED, ces feux indiquent le temps restant avant que le feu rouge ne passe au vert. Pour certains piétons, notamment les plus pressés, la durée du feu rouge peut paraître très longue. La tentation est alors grande, quand il n'y a aucun véhicule en vue, de traverser rapidement la rue alors que le feu est encore au rouge. Le feu de signalisation avec compte à rebours doit remédier à cette situation. Il s'agit d'un bon moyen pour clarifier de telles situations et améliorer la sécurité de tous les usagers de la route. La ville de Berne accompagne l'introduction de ces feux de signalisation dans le cadre d'un projet pilote de plusieurs mois.

## Le projet vu par Berne

Cela fait longtemps que les autorités bernoises souhaitent introduire les affichages du temps restant pour le trafic piétonnier au niveau des installations de feux de signalisation. Son introduction a été sans

Vorhaben im Konflikt mit den verkehrsabhängigen Steuerungen zu stehen scheint. Wie hat es die Stadt Bern nun doch geschafft, an einem der am stärksten frequentierten Übergänge beim Hauptbahnhof zusätzlich mit einer querenden Buslinie eine solche Countdown-Ampel umzusetzen?

Restzeitanzeigen teilen den Verkehrsteilnehmern mit, wie lange die Rotphase noch dauern wird. Normalerweise geschieht dies mit Zählern, welche die verbleibende Zeit in Sekunden angeben – häufig durch eine Zahlenanzeige, welche schrittweise herunterzählt. Solche Restzeitanzeigen entdeckt man immer wieder im Ausland, wo sie hauptsächlich bei Steuerungen mit hohen Umlaufzeiten und bei Festzeitsteuerungen eingesetzt werden. Ziel von Restzeitanzeigen ist es, die Verkehrsteilnehmer zu einem sicheren Verhalten zu bewegen. Die Restzeitanzeige für Fussgänger in Bern soll aufgrund der verkehrsabhängigen Steuerung jedoch nicht in Form eines Sekunden-Zeit Zählers erfolgen, sondern mit einem Punktekreis, dessen Punkte schrittweise bis Grünbeginn einzeln ausgeschaltet werden.

Auch wenn die Umsetzung einer Countdown-Ampel bei festzeitgesteuerten Anlagen wesentlich simpler ist, will man in Bern nicht auf die Vorteile der Verkehrsabhängigkeit verzichten. Die Priorisierung von klimaschonenden Verkehrsarten (öffentlicher Verkehr sowie Fuss- und Veloverkehr) hat vor allem an einem neuralgischen Ort, wie dem Zugangsbereich zum Hauptbahnhof Bern, eine hohe Bedeutung. In Bern kann der öffentliche Verkehr zu jeder Sekunde den Ablauf der Phasen zu seinen Gunsten verändern. Er kann sogar noch dann in den Ablauf eingreifen, wenn bereits ein Schalten in eine neue Phase beschlossen und der Übergang eingeleitet worden ist.

cesse reportée en raison de son incompatibilité apparente avec les systèmes adaptatifs de régulation du trafic. Comment la ville de Berne est-elle finalement parvenue à mettre en service ce feu avec compte à rebours près de la gare centrale, à l'un des passages pour piétons les plus fréquentés et traversé en plus par une ligne de bus?

Les affichages du temps restant informent les usagers du temps qu'il reste avant le passage du feu rouge au feu vert. Normalement, cette information est présentée au moyen de chiffres qui indiquent le temps restant en secondes, le plus souvent par un compte à rebours progressif. Ces affichages sont de plus en plus souvent visibles à l'étranger où ils sont principalement utilisés avec des régulations à durée de cycle élevée et des régulations à durée fixe. L'objectif des affichages du temps restant est d'inciter les usagers de la route à adopter un comportement sûr. À Berne, pour des raisons liées à la régulation du trafic, l'affichage du temps restant pour les piétons n'est pas un compteur de temps en secondes, mais un cercle lumineux dont les points s'éteignent progressivement jusqu'au passage au feu vert.

Certes, il est beaucoup plus simple de mettre en œuvre un feu de signalisation avec compte à rebours sur des installations commandées selon des durées fixes. La ville de Berne ne souhaite toutefois pas renoncer aux avantages d'une régulation adaptative. Les autorités privilégient la mobilité douce (transports publics, trafic piétonnier et trafic cycliste), en particulier aux endroits névralgiques comme la zone d'accès à la gare centrale de Berne. Dans cette ville, les transports publics peuvent modifier les phases à tout moment et à leur propre avantage. Ils peuvent même intervenir dans leur déroulement après la commutation et

ANZEIGE

**MAS** Infrastruktur und Verkehr  
Infrastructure et transport  
Infrastructure and transport

**BH** Berner  
Fachhochschule

**VSS** <>

**Jetzt anmelden! Inscrivez-vous maintenant!**  
Detaillierte Informationen finden Sie in den beigelegten Flyern in der Heftmitte oder unter [www.vss.ch](http://www.vss.ch)  
Les informations détaillées figurent dans les flyers joints à ce numéro ou en ligne sur [www.vss.ch](http://www.vss.ch)

Ein bereits gefasster Entschluss kann also rückgängig gemacht werden – dies ermöglicht dem öffentlichen Verkehr höchste Flexibilität.

Für die Stadt Bern sollte also eine Countdown-Ampel installiert werden, die auf das verkehrsabhängige Verhalten (besonders durch ÖV-Eingriffe) flexibel reagieren kann. Deshalb muss der Countdown je nach Situation langsamer oder schneller ablaufen können, je nachdem, ob die Fussgängerphase vorgezogen oder nach hinten geschoben werden muss. Allezeit ist sicherzustellen, dass der Countdown kontinuierlich herunterzählt und nie zurückspringt. So wird ein harmonischer Ablauf des Countdowns angestrebt, welcher die verbleibende Zeit bis zum Grün für den Nutzer greifbar macht.

## Vorhersehbarkeit versus Verkehrsabhängigkeit

Die Verkehrsabhängigkeit ist der grösste Feind der Vorhersehbarkeit. Es seien hier dazu zwei illustrierende Beispiele gezeigt, die aber nicht abschliessend sind.

### 1. Grünende für Fahrzeuge:

Das Gebiet vor der Haltelinie wird üblicherweise von einem Verlängerungsdetektor überwacht. Im Englischen wird das Gebiet als «Dilemma Zone» bezeichnet. Das «Dilemma» ist, ob ein Fahrzeug hier bremsen soll, wenn die Ampel auf Gelb wechselt, oder noch durchfahren soll. Stellt man fest, dass dort kein Fahrzeug mehr ist, kann die Grünphase sicher abgebrochen werden. Diese Überwachung ermöglicht es auch, dass ungenutzte Grünzeit anderen Verkehrsteilnehmern zugewiesen werden kann, meist anderen, kreuzenden Autos, Velos oder Fussgängern.

Üblicherweise wird sekundlich entschieden, ob die Grünphase beibehalten oder abgebrochen wird. Es ist leicht einzusehen, dass sich so etwas nicht mit einem Countdown verträgt, weder für eine Restgrünanzeige der eigenen Phase noch für eine Restrotanzeige einer anderen Phase.

### 2. Grünbeginn für den öffentlichen Verkehr

Steht ein Bus oder ein Tram an einer Haltestelle vor einer Ampel, so kann das Türschliesssignal genutzt werden, um dem Fahrzeug Grün zu erteilen. Solange das Fahrzeug nicht abfahren will, beeinflusst es den Steuerungsablauf nicht. Es erhält erst dann Grün, wenn es Abfahrbereitschaft gemeldet hat. Es versteht sich von selbst, dass der Zeitpunkt des Türschliessbefehls nicht genau vorhergesehen werden kann. Somit ist auch dieses Verfahren nicht verträglich mit Countdowns.

la transition dans une nouvelle phase. Une décision déjà prise peut donc être annulée, ce qui assure une flexibilité maximale.

La ville de Berne envisage donc l'installation d'un feu de signalisation avec compte à rebours capable de s'adapter de manière flexible au trafic (en particulier du fait des interventions des TP). Par conséquent, le compte à rebours doit pouvoir défiler de manière plus ou moins rapide, en fonction de la situation, selon que la phase réservée au passage des piétons doit être anticipée ou retardée. Le compte à rebours doit toujours être décroissant et ne jamais défiler dans l'ordre croissant. L'objectif est de parvenir à un défilement homogène du compte à rebours, qui montre aux utilisateurs le temps restant avant le passage au feu vert.

## Prévisibilité et régulation adaptative

La régulation adaptative est l'ennemi principal de la prévisibilité. Deux exemples représentatifs le montrent et pourraient être complétés par beaucoup d'autres.

### 1. Fin du feu vert pour les véhicules:

La zone en amont de la ligne d'arrêt est généralement surveillée par un détecteur de prolongation. En anglais, cette zone est appelée «Dilemma Zone». Ici, le «dilemme» est de savoir si un véhicule doit freiner lorsque le feu passe au jaune ou s'il doit continuer. Si l'on constate qu'il n'y a plus de véhicule à cet endroit, la phase de feu vert peut être interrompue en toute sécurité. Cette surveillance permet aussi d'attribuer le temps de feu vert non utilisé à d'autres usagers de la route, le plus souvent d'autres véhicules, des vélos ou des piétons circulant dans le sens perpendiculaire.

Généralement, la décision de maintenir la phase de feu vert ou de l'interrompre intervient à chaque seconde. De toute évidence, un tel système n'est pas compatible avec un compte à rebours avec affichage du temps de feu vert ou de feu rouge restant.

### 2. Début du feu vert pour les transports publics

Si un bus ou un tramway se trouve à un arrêt juste avant un feu de signalisation, le signal de fermeture des portes peut être mis à profit pour donner le feu vert au véhicule. Tant que le véhicule n'est pas prêt à partir, il n'influe pas sur le déroulement de la régulation. Il n'obtient le feu vert qu'après avoir signalé qu'il est prêt au départ. Il va de soi qu'il est impossible de prévoir avec exactitude la fermeture des portes. Ainsi, cette méthode n'est pas non plus compatible avec des feux avec compte à rebours.



Diese Unsicherheit gibt es auch für fahrende Fahrzeuge auf jeder Meldestrecke, wo die Steuerung auf die Überfahrt eines Fahrzeuges über den nächsten Meldepunkt warten muss, um den nächsten Entschcheid zu treffen.

## Implizite Countdowns

Rot-Gelb vor Grün ist in der Schweiz seit den 1970er-Jahren bekannt. Rot-Gelb wurde damals als Information deklariert, mit welcher die Fahrzeuge die Motoren rechtzeitig anwerfen können. So gesehen ist Rot-Gelb vor Grün eine kurze Restrotanzeige.

Österreich praktiziert eine Variante mit Grünblinken vor Gelb, um auf das baldige Ende der Grünphase aufmerksam zu machen. Das ist eine kurze Restgrünanzeige.

Es gibt also auch für eine verkehrsabhängige Steuerung Abläufe mit starrer und somit vorhersehbarer Dauer. Aber für eine Countdown-Ampel ist das zu kurz. Da muss der Übergang länger vorhersehbar sein.

## Erfahrungen aus Asien mit dem motorisierten Verkehr

In Fernost wird zum allergrössten Teil zyklisch gesteuert. Verkehrsabhängigkeit im Sinn, wie wir sie verwenden, oder gar die Bevorzugung des öffentlichen Verkehrs ist technisch selten implementiert. Die Einführung von Countdowns für den motorisierten Verkehr schon vor längerer Zeit hat zu einer Reduktion des Stresses geführt, und das mit moderaten Kosten.

Damit eine gewisse Flexibilität in der Steuerung der Ampeln gewahrt oder erreicht werden kann, verzichten mittlerweile viele Städte auf lange Countdowns, die bei 80 Sekunden und mehr Rot beginnen, und beginnen erst bei etwa 20 Sekunden herabzuzählen. Dabei ist es durchaus üblich, dass die 0 nicht erreicht wird und die Zahlenanzeige vorher ausschaltet. Das hat meistens technische Gründe: die Countdown-Zähler kommunizieren nicht mit dem Steuergerät, sondern schätzen anhand des letzten Umlaufs, wie der aktuelle ablaufen wird, und starten die Countdown-Zähler mit den entsprechenden Werten. Wenn von der Zentrale inzwischen die Rot- oder Gründauer angepasst worden ist, stimmt die Vorhersage nicht mehr genau. Ein solches Anpassen pro Umlauf ist weit verbreitet und wird bereits als Verkehrsabhängigkeit bezeichnet.

Cette incertitude existe aussi pour tous les véhicules qui circulent sur une séquence de points d'annonce où la régulation doit attendre le franchissement du point d'annonce suivant afin de pouvoir prendre la prochaine décision.

## Compte à rebours implicites

Le feu rouge et jaune précédant le passage au feu vert sont utilisés en Suisse depuis les années 1970. À l'époque, les usagers devaient se servir de cette information pour démarrer leur moteur à temps. Ce système de feu rouge et jaune avant le passage au feu vert correspond donc à un bref affichage du temps de feu rouge restant.

En Autriche, on utilise une variante avec un feu vert clignotant qui précède le passage au feu jaune pour signaler aux usagers que la phase de feu vert est sur le point de se terminer. Cela correspond à un bref affichage du temps de feu vert restant.

Il existe donc, aussi pour une régulation adaptative, des procédés avec une durée fixe, donc prévisible. Mais cela ne suffit pas pour un feu de signalisation avec compte à rebours. Il faut un laps de temps plus long pour pouvoir prévoir la transition.

## Expériences en Asie avec le trafic motorisé

En Asie de l'Est, on utilise surtout des régulations cycliques. La régulation adaptative telle que nous l'utilisons y est rarement employée, tout comme des solutions techniques privilégiant les transports publics. Les feux avec compte à rebours pour le trafic motorisé ont été introduits depuis longtemps et ont permis de réduire le stress et ce, à moindre coût.

Pour conserver ou permettre une certaine flexibilité dans la régulation des feux de signalisation, de nombreuses villes renoncent entretemps au long compte à rebours selon lequel le temps restant de feu rouge commence à 80 secondes, voire davantage, et défile seulement à partir d'environ 20 secondes. Il n'est pas rare que le 0 ne soit pas atteint et que l'affichage soit désactivé avant la fin du compte à rebours. Cela s'explique souvent par des raisons techniques: les compteurs à rebours ne communiquent pas avec l'appareil de régulation, mais calculent le prochain cycle sur la base du cycle précédent, avant de démarrer avec ces valeurs. Si la centrale de régulation a entre-temps adapté la durée du feu rouge ou du feu vert, la prévision n'est alors plus aussi précise. Cette adaptation selon le cycle est très répandue et se veut déjà une régulation adaptative.

Die Gründe liegen aber auch in der Sicherheit für den motorisierten Verkehr, für Countdowns bei Rot sowie bei Grün: Wenn sich die Zahlen der 0 nähern, neigen Fahrzeuge noch bei Rot zu einem Frühstart und noch bei Grün zu übermässiger Beschleunigung. Das hat in der Vergangenheit zu Unfällen geführt, vor allem auch dann, wenn die Countdown-Zähler nicht ganz genau wissen, wann der Wechsel wirklich stattfindet.

## Vorhersehbarkeit mit Verkehrsabhängigkeit

Wer mehr Vorhersehbarkeit möchte, muss die Entscheidungsfreiheit der verkehrsabhängigen Steuerung reduzieren. Das geht nur auf Kosten der Flexibilität der Verkehrsabhängigkeit und beschränkt die Suche nach dem Optimum. Als Optimum verfolgt die Verkehrsabhängigkeit hauptsächlich zwei Ziele, nämlich die Maximierung der Kapazität des Knotenpunkts und die Minimierung der Verlustzeiten, mindestens des öffentlichen Verkehrs.

Je weiter in die Zukunft die Vorhersehbarkeit blicken soll, umso mehr muss sich die geschaltete Steuerung von diesem Optimum entfernen und umso mehr sinkt die Kapazität des Knotenpunkts. Falls man nahe an der Kapazitätsgrenze ist, wird es darum längere Staus geben. Gleichzeitig können die Wartezeiten für alle Verkehrsteilnehmer ansteigen.

Zur Lösung dieses Dilemmas muss man zwei Dinge vorsehen:

- Eine **gemässigte Vorhersehbarkeit**, welche nicht zu weit in die Zukunft blicken muss, und
- eine **flexible Vorhersehbarkeit**, welche nicht stur die Sekunden zählen muss, sondern die Countdown-Geschwindigkeit den neuen Erkenntnissen der Vorhersage anpassen kann.

Die verkehrsabhängige Steuerung muss möglichst weit in die Zukunft blicken können, um die Countdown-Zähler korrekt zu bedienen. So wird sie selten überrascht und muss die Zähler nicht anhalten oder übermässig beschleunigen. Zur Erweiterung des zeitlichen Horizonts gibt es konstruktive und algorithmische Möglichkeiten. Welcher Zeithorizont der Vorhersage zu welchen Einbussen der Optimalität der Verkehrsabhängigkeit führt, ist bisher noch nicht systematisch untersucht worden. Zwei Beispiele der Erweiterung des zeitlichen Horizonts sollen hier genannt werden, ein konstruktives und ein algorithmisches:

Les raisons sont également liées à la sécurité du trafic motorisé, pour les comptes à rebours au feu rouge comme au feu vert: lorsque les chiffres approchent du 0, les véhicules ont tendance à repartir alors que le feu est encore au rouge et à accélérer de manière excessive quand le feu est vert. Par le passé, cela a provoqué des accidents, surtout lorsque les compteurs à rebours ne savent pas exactement quand la transition a vraiment lieu.

## Combiner prévisibilité et régulation adaptative

Si l'on souhaite avoir davantage de prévisibilité, il faut réduire la liberté de décision de la régulation adaptative. Cela ne peut se faire qu'au détriment de sa flexibilité et cela limite la recherche d'une solution optimale. Pour l'atteindre, la régulation adaptative poursuit deux objectifs principaux: maximiser la capacité du carrefour et réduire les temps d'attente, au moins pour les transports publics.

Plus la prévisibilité doit se projeter loin dans l'avenir, plus la régulation choisie doit s'écarter de cette situation optimale et plus la capacité du carrefour diminue. Si l'on s'approche de la limite de capacité, il y aura des embouteillages plus longs. De même, les temps d'attente peuvent augmenter pour tous les usagers de la route.

Pour remédier à ce dilemme, il faut prévoir deux choses:

- une **prévisibilité modérée**, qui ne doit pas se projeter trop loin dans l'avenir, et
- une **prévisibilité flexible** qui ne doit pas compter de manière rigide les secondes, mais qui est en mesure d'adapter la vitesse du compte à rebours en fonction des nouvelles informations fournies par la prévision.

La régulation adaptative doit pouvoir se projeter le plus loin possible dans l'avenir pour utiliser correctement le compteur à rebours. Elle sera ainsi rarement prise en défaut et ne devra pas arrêter ou accélérer excessivement les compteurs. Pour élargir l'horizon temporel, il existe des possibilités constructives et algorithmiques. À ce jour, aucune étude complète n'a encore été effectuée pour déterminer quel horizon temporel de la prévision entraîne quelles pertes pour la régulation adaptative. Deux exemples pour élargir l'horizon temporel sont présentés ici: l'un constructif, l'autre algorithmique.

### 1. Verschieben der Detektoren von der Haltelinie weg

Detektoren, die weiter entfernt liegen, ermöglichen es der Steuerung, ein bisschen früher zu wissen, wann ein Fahrzeug sich anmeldet oder wann der Verkehrsfluss ausdünnert. Allerdings wird das Wissen immer unsicherer, je weiter man die Detektoren von der Haltelinie wegschiebt, denn die Wahrscheinlichkeit von Störungen oder verändertem Fahrverhalten zwischen dem Detektor und der Haltelinie steigt damit. Solches Verschieben ermöglicht es der Steuerung, die Entschlüsse beispielsweise 10 Sekunden vor dem Phasenwechsel zu fassen und dann einen konstanten Countdown einleiten zu können.

### 2. Grössere Grünfenster für den öffentlichen Verkehr

Da man früher einen Entschluss fassen muss und nicht möchte, dass das Fahrzeug bremsen muss, muss man Reservezeiten einbauen und dem Fahrzeug etwas früher Grün erteilen. Das führt allerdings zu einer Verschlechterung der Kapazität für die kreuzenden Verkehrsteilnehmer.

## Die Vorgeschichte in den Niederlanden

Viele Restzeitanzeigen im Ausland sind in Festzeitsteuerungen implementiert. Die Wechsel von Rot auf Grün und umgekehrt sind da perfekt vorhersehbar, ausser vielleicht bei Programmwechseln. In den Niederlanden ist, wie bei uns, nahezu jede Kreuzung mit Detektoren ausgerüstet und wird verkehrsabhängig gesteuert. Selbst bei voller Verkehrsabhängigkeit (ohne fixe Umlaufzeit) finden Countdown-Zähler vermehrt ihren Einsatz. Sie sind weit verbreitet und werden von vielen Kommunen für Fahrräder und Zu-Fuss-Gehende eingesetzt. Das Ziel dieser Zähler ist es, die Anzahl der Personen zu reduzieren, die das Rotlicht ignorieren, sowie denjenigen, die auf Grün warten, mehr Komfort zu ermöglichen.

Die Erfahrungen mit verkehrsabhängigen Countdowns in den Niederlanden bestätigen, dass es unmöglich ist, die Zeit bis zum Grün für einen bestimmten Moment genau vorherzusagen. Als man anfänglich mit Zahlenwerten in Sekunden experimentierte, war die Reaktion der breiten Öffentlichkeit alles andere als positiv. Angezeigt wurde immer die berechnete, maximale Wartezeit, auch wenn die tatsächliche Wartezeit in der Regel viel kürzer ausfiel. Das führte dazu, dass die angezeigten verbleibenden Sekunden unvermittelt zu niedrigeren Werten sprangen oder die Countdown-Geschwindigkeit kurzfristig deutlich erhöht wurde. Viele Leute dachten, der numerische Countdown-Zähler sei defekt und ignorierten ihn oder reichten gar Beschwerde ein. Deshalb werden

### 1. Éloigner les détecteurs de la ligne d'arrêt

Les détecteurs, s'ils sont plus éloignés, permettent à la régulation de savoir un peu plus tôt à quel moment un véhicule s'annonce ou à quel moment la circulation diminue. Cependant, plus on éloigne les détecteurs de la ligne d'arrêt, moins l'information sera fiable. En effet, la probabilité de la survenance de dérangements ou d'un changement du comportement de conduite entre le détecteur et la ligne d'arrêt augmente. Le fait d'éloigner les détecteurs permet à la régulation de prendre les décisions par exemple 10 secondes avant le changement de couleur du feu de signalisation et de déclencher un compte à rebours constant.

### 2. Temps de feu vert plus long pour les transports publics

Comme l'on doit prendre une décision plus tôt et que l'on souhaite éviter que le véhicule ne freine, il faut créer des réserves de temps et donner un peu plus tôt le feu vert au véhicule. Toutefois, cela se fait au détriment des capacités pour les usagers de la route dans le sens perpendiculaire.

## Un précédent aux Pays-Bas

De nombreux affichages du temps restant sont intégrés dans des régulations à durée fixe. Le passage du feu rouge au feu vert et inversement est parfaitement prévisible, sauf en cas de changement de programme. Aux Pays-Bas, comme en Suisse, presque tous les carrefours sont dotés de détecteurs et la régulation se fait de manière adaptative. Les compteurs à rebours sont utilisés uniquement lorsque la régulation est pleinement adaptative (sans temps de cycle fixe). Ils sont très répandus et de nombreuses communes les utilisent pour les cyclistes et les piétons. Ces compteurs visent à réduire le nombre d'usagers qui ignorent le feu rouge et à offrir davantage de confort à ceux qui attendent le passage au feu vert.

Les expériences avec les compteurs à rebours adaptatifs utilisés aux Pays-Bas confirment qu'il est impossible de prévoir avec précision la durée jusqu'au passage au feu vert pour un moment donné. Lorsque les affichages avec les secondes ont été expérimentés, les réactions de la population ont été tout sauf positives. L'affichage indiquait systématiquement la durée d'attente maximale calculée, même si le temps d'attente réel était en général beaucoup plus court. Les secondes restantes affichées passaient soudainement à des valeurs plus basses ou la vitesse du compte à rebours s'accélérait brusquement. De nombreux usagers pensaient que les compteurs à rebours numériques étaient défectueux, ils les ignoraient ou portaient même plainte. Par conséquent, les Pays-





2 | Inbetriebnahme der Countdown-Ampel (Foto: M. Tamburrino).

2 | Mise en service du feu de signalisation avec compte à rebours (photo: M. Tamburrino).

in den Niederlanden in Countdown-Zählern keine numerischen Werte mehr angezeigt.

Heute haben die Anzeigen dieser Countdown-Zähler in den Niederlanden alle einen Kreis von 32 LEDs. Jede LED steht für die gleiche Anzahl verbleibender Sekunden. Die gesamte verbleibende Zeit entspricht dabei der maximalen vorhersehbaren Wartezeit unter der gegebenen Verkehrsabhängigkeit. Verändert sich der Verkehrsablauf, beispielsweise aufgrund eines geringeren Verkehrsaufkommens, wird die gesamte verbleibende Zeit, wie auch die Zeit pro LED, neu berechnet. Der Countdown wird dadurch schneller.

Da wir auch in Bern mit verkehrabhängigen Steuerungen konfrontiert sind, ist dieser Ansatz für den Umgang mit der Vorhersage- Ungenauigkeit aufgegriffen worden, und die damit verbundenen Gedanken und Anforderungen sind in die Entwicklung des Prognose-Algorithmus eingeflossen.

## Die Hardware

Der in den Niederlanden eingesetzte Countdown-Zähler mit 32 LEDs verfügt über zusätzliche Anzeigemöglichkeiten der Begriffe «TRAM», «BUS» und

Bas n'utilisent plus de compteurs à rebours avec affichage des valeurs numériques.

Aujourd'hui, les affichages de ces compteurs comportent tous un cercle composé de 32 LED. Chaque LED correspond à un nombre identique de secondes restantes. Le temps restant correspond au temps d'attente maximal prévisible, avec prise en compte de la régulation en fonction du trafic. Si un changement se produit dans le déroulement du trafic, par exemple à la suite d'un trafic plus faible, le temps restant et le temps d'affichage de chaque LED sont recalculés. Le compte à rebours est alors plus rapide.

La ville de Berne utilise elle aussi des régulations adaptatives. Cette approche a donc été utilisée pour faire face au caractère imprécis de la prévision. Les principes et les exigences correspondants ont été intégrés dans le développement de l'algorithme de prévision.

## Le matériel

Le compteur à rebours à 32 LED utilisé aux Pays-Bas dispose de possibilités d'affichage supplémentaires, à savoir les termes «TRAM», «BUS» et «STOP», en plus



«STOP» zusätzlich zum Kreis aus LEDs. In Bern hat man darauf verzichtet, denn vor dem Bahnhof in Bern quert die Buslinie 20 den Überweg, sodass mehrheitlich nur noch die Anzeige «BUS» dargestellt würde, zusammen mit der verbleibenden Zeit bis zum Grünbeginn. Es soll aber immer nur der Countdown angezeigt werden, auch bei einer Bus-Anmeldung. Der Lieferant hat deshalb ein spezielles Produkt für Bern entwickelt. Dafür musste die Produkt-Konformität nachgewiesen werden, sodass Bern ein eigenes Produkt vor Ort in Betrieb nehmen konnte: «Countdown Signal Type Berne».

Die 32 LEDs werden über 5 digitale Eingänge angesteuert. Es kann ein beliebiger Zustand angezeigt werden, auch ein Anhalten ist möglich. Pro Sekunde kann eine Zustandsänderung befohlen werden, was dem Takt der Entscheidungen der verkehrsabhängigen Steuerung entspricht.

### Umsetzung mit vs | plus und Berechnung der Vorhersage durch die Steuerung

Wie kommt das verkehrsabhängige Steuerverfahren zu einer aussagekräftigen, kontinuierlichen und möglichst genauen Prognose? In einem ersten Schritt gehen wir die Aufgabe mit klassischen Mitteln an: wir stellen uns auf den Standpunkt eines Verkehrsingenieurs, der sich in der Planungsphase Gedanken zur Verkehrssituation zu verschiedenen Tageszeiten macht (Morgenspitze, Tagesprogramm, Abendspitze, Nacht). Daraus kann ein Rahmenplan resultieren, was die Überlegungen und die Vorhersage möglicherweise vereinfacht. Ein Rahmenplan ist aber nicht zwingend.

Für die Berechnungen muss der Algorithmus unter anderem verschiedenste Detektoranmeldungen auswerten. Das können Fussgängerdrücker, ÖV-Meldepunkte, Verlängerungs- und Staudetektoren des Individualverkehrs oder auch Sondereingriffe von Notfallfahrzeugen sein. Das Steuerverfahren erzeugt damit Anmeldungen für Verkehrsströme, die dann für die Schätzung des Prognosewerts herangezogen werden.

Zudem werden Zwischenzeiten, Versatzzeiten und auch Signalübergänge (Signalfolgen) zur Berechnung der Vorhersage miteinbezogen. Daraus resultiert schliesslich eine statistische Verteilung von unterschiedlichen Vorhersagen, aus denen mittels eines Best-Fit-Verfahrens die Lösung gewählt wird, welche für die Steuerung der Restrotanzeige verwendet wird.

du cercle composé de LED. La ville de Berne a renoncé à cette option. En effet, le passage pour piétons devant la gare est traversé par la ligne de bus 20. La mention «BUS» serait ainsi régulièrement affichée en plus du temps restant avant le passage au feu vert. Seul le compte à rebours doit être affiché, même quand un bus est annoncé. Le fournisseur a donc mis au point un produit spécialement adapté à la ville de Berne. La conformité du produit a dû être certifiée pour que Berne puisse mettre en service un produit spécifique à la ville: «Countdown Signal Type Berne».

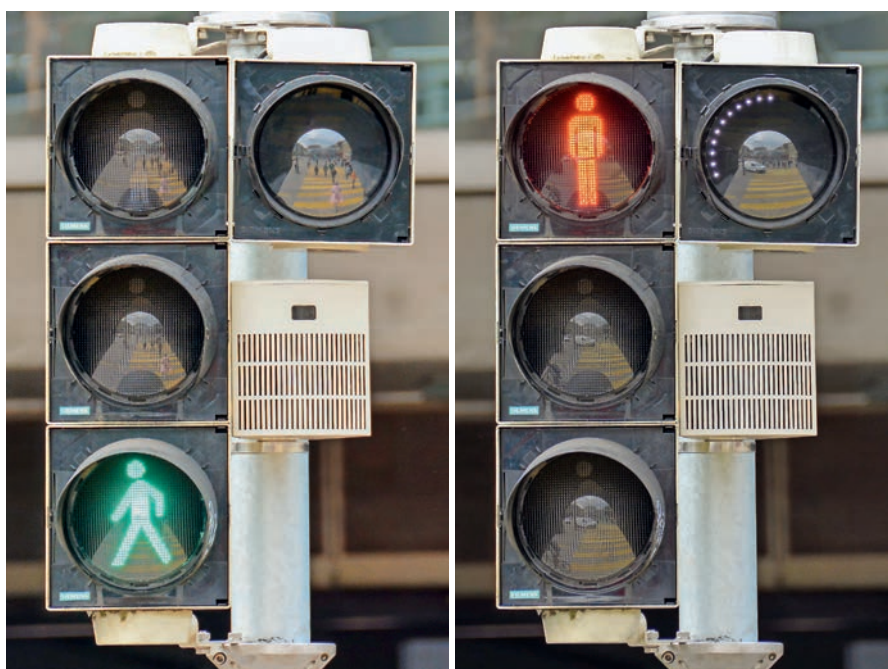
Les 32 LED sont commandées par 5 entrées numériques. L'affichage peut indiquer n'importe quel état; un arrêt est également possible. Un changement d'état peut être ordonné à chaque seconde, ce qui correspond à la cadence de décision propre à la régulation adaptative.

### Réalisation avec vs | plus et calcul de la prévision par la régulation

Comment la régulation adaptative peut-elle garantir une prévision pertinente, continue et très précise? Dans un premier temps, nous abordons cette tâche avec des moyens classiques: nous nous mettons à la place d'un ingénieur de la circulation qui réfléchit, au cours de la phase de planification, à la situation du trafic à différents moments de la journée (pics du matin, programme journalier, pics en soirée, nuit). Sur cette base, il est possible d'établir un programme-cadre, ce qui peut simplifier les réflexions et la prévision. Ce n'est toutefois pas une obligation.

Pour les calculs, l'algorithme doit notamment analyser des annonces de détecteur très variées: boutons-poussoirs actionnés par les piétons, points d'annonce des TP, détecteurs de prolongation et d'encombrement du trafic individuel, interventions spéciales de véhicules d'urgence. La méthode de régulation génère donc pour les courants de circulation des annonces qui peuvent être exploitées pour calculer la valeur prévisionnelle.

Les temps interverts, les temps de décalage et les transitions de signaux (séquences de feux) sont également pris en compte pour calculer la valeur prévisionnelle. Au final, il en résulte une distribution statistique des différentes prévisions, parmi lesquelles on choisit, au moyen d'une méthode de meilleur ajustement («Best Fit»), la solution qui sera utilisée pour commander l'affichage du temps de feu rouge restant.



3 | Anzeige des Countdown-Signals bei Grün und Rot  
(Foto: M. Tamburrino).

3 | Affichage du compte à rebours au feu vert et au feu rouge  
(photo: M. Tamburrino).

### Die Zeit ist elastisch

In einer verkehrabhängigen Steuerung wie vs | plus wird in jedem Berechnungszyklus zur Steuerung, typischerweise sekundlich, die aktuelle Situation analysiert und die Restzeit neu berechnet. Dabei können sich laufend Änderungen ergeben, welche die Restzeit verlängern oder verkürzen und ihr somit einen elastischen Charakter verleihen. Diese Änderungen können nur schwer direkt auf eine Anzeige abgebildet werden. Zudem würden Sprünge für Verwirrung sorgen. vs | plus bedient sich deshalb ausgeklügelter Algorithmen, welche auch bei grossen Zeitsprüngen einen möglichst weichen und gleichmässigen Verlauf der Vorhersage erzeugen. So wird dem Betrachter ein homogenes, gleichmässiges Bild geliefert und mit der Anzeige ein Gefühl für die verbleibende Dauer der Rotphase vermittelt.

Und so wird der Vorhersagewert jede Sekunde neu berechnet. Aufgrund weiterer Anmeldungen, der abgelaufenen Dauer eines Grünsignals oder auch des Wegfallens von Anmeldungen werden die Berechnungen im Sekundentakt angepasst. Die Anpassungen äussern sich darin, dass der Prognosewert meist nicht linear verläuft, sondern auch einmal gestreckt oder gestaucht wird, und so die Anzeige einmal schneller oder langsamer gegen 0 läuft.

Die aktuelle Implementation basiert auf einer Anzeige von 32 LED-Lämpchen. Wenn nun also zu Beginn der Rotphase eine Rot-Vorhersage von 64 Sekunden berechnet wird, dann entspricht jede LED einer Dauer von 2 Sekunden. Alle 2 Sekunden wird eine LED ausgeschaltet werden. Sollte nun nach 14 Sekunden

### Le temps est élastique

Dans un système adaptatif comme vs | plus, la situation actuelle est analysée à des fins de régulation à chaque cycle de calcul, généralement chaque seconde, et le temps restant est recalculé. Des changements rallongeant ou réduisant le temps restant peuvent se produire en permanence et confèrent un caractère élastique à la régulation. Ces changements peuvent difficilement être représentés sur un affichage. De plus, les sauts de l'affichage entraîneraient une certaine confusion. Par conséquent, vs | plus utilise des algorithmes sophistiqués qui garantissent un déroulement le plus souple et le plus homogène possible de la prévision, même en cas de variations temporelles importantes. L'utilisateur dispose ainsi d'un affichage homogène et uniforme qui lui donne une idée du temps de feu rouge restant.

La valeur prévisionnelle est ainsi recalculée à chaque seconde. Les calculs sont ajustés chaque seconde et tiennent compte des nouvelles annonces, de la durée écoulée d'un feu vert ou de la suppression d'annonces. Les ajustements se manifestent par le fait que la valeur prévisionnelle n'est généralement pas linéaire, mais qu'elle est parfois étirée ou comprimée et que l'affichage se rapproche plus ou moins rapidement de 0.

La solution mise en œuvre repose sur un affichage composé de 32 LED. Lorsqu'une prévision de temps de feu rouge de 64 secondes est calculée au début du feu rouge, chaque LED correspond alors à une durée de 2 secondes. Une LED s'éteint toutes les 2 secondes. Si, au bout de 14 secondes (7 LED sont déjà éteintes),

(7 LEDs schon ausgeschaltet) eine grössere Korrektur die Vorhersage von 50 auf 25 Sekunden verkürzen, wären für die verbleibenden 25 LEDs genau 25 Sekunden übrig, und das Auslösen einer LED würde danach sekundlich erfolgen, bis keine mehr brennt und das Grünsignal erteilt wird. Umgekehrt kann es auch vorkommen, dass die Berechnung nach oben korrigiert werden muss und so der Countdown verlangsamt wird. Dieses dynamische bzw. elastische Anpassen der Restrot-Dauer auf die Anzahl verfügbarer LEDs ist das Herzstück der Countdown-Ampel. Die Anpassungen erfolgen in Echtzeit.

Das eingesetzte Steuerverfahren ist unabhängig vom Anzeigeelement und der Anzahl LEDs. Es kann auch mit anderen Anzeige-Vorgaben umgehen und andere Anzeigen steuern.

## Erste Erfahrungen und Ausblick

Die Stadt Bern testet diesen neuen Typ einer Countdown-Ampel beim Bahnhofplatz im Rahmen eines mehrmonatigen Pilotversuchs. Der Versuch hat insbesondere zum Ziel, das Verhalten der Verkehrsteilnehmer zu beobachten und auszuwerten. Während der ersten Wochen war die Countdown-Ampel jeweils zwischen 16.00 und 19.00 Uhr in Betrieb. Die Betriebszeiten werden dann schrittweise ausgedehnt. Erste Beobachtungen zeigen, dass tendenziell zwischen 15 und 20% weniger Rotlichtübertretungen erfolgen als vorher beobachtet. Verläuft der Versuch erfolgreich, sollen später auch bei anderen Lichtsignalanlagen Countdown-Ampeln zum Einsatz kommen.

Beim Knoten am Bahnhof Bern handelt es sich um eine Zwei-Phasensteuerung, wobei eine Phase der Überweg ist. Die meisten Lichtsignalanlagen in Bern sind aber komplexer mit mehr Überwegen und mit mehr Konfliktpunkten, also auch mit mehr als nur zwei Phasen. Somit ist eine grössere Komplexität zu erwarten. Weiter wird es auch priorisierten öffentlichen Verkehr mit spontanen Eingriffen aus verschiedenen Richtungen geben. Nur eine verallgemeinerte, algorithmische Lösung wird mit solch steigender Komplexität fertig werden, die bei allen Knoten mit entsprechender Parametrierung eingesetzt werden kann. Es wird empfohlen, vorsichtig mit Aussagen bezüglich eines flächendeckenden Einsatzes von Countdown-Ampeln zu sein, da das Pilotprojekt sowohl bezüglich Komplexität als auch Steuerung einfach gehalten war. Wir dürfen aber feststellen, dass im geschilderten Versuch die Restzeitanzeige plausibel und zuverlässig ist.

une correction majeure rectifie la prévision, qui passe alors de 50 à 25 secondes, il resterait alors précisément 25 secondes pour les 25 LED restantes. Une LED s'éteindrait alors à chaque seconde jusqu'à ce que toutes les LED soient éteintes et que le feu passe au vert. Inversement, le calcul peut aussi être rectifié à la hausse. Le compte à rebours doit alors être ralenti. Cette adaptation dynamique et/ou élastique du temps de feu rouge restant selon le nombre de LED disponibles forme le coeur du feu de signalisation avec compte à rebours. Les adaptations ont lieu en temps réel.

Le nombre de LED et l'élément d'affichage ne sont pas liés à la méthode de régulation utilisée. Celle-ci peut appliquer d'autres règles d'affichage et commander d'autres types d'affichage.

## Premières expériences et perspectives

La ville de Berne teste ce nouveau type de feu de signalisation avec compte à rebours près de la place de la gare dans le cadre d'un projet pilote de plusieurs mois. Il vise notamment à observer et à analyser le comportement des piétons. Pendant les premières semaines, le feu de signalisation avec compte à rebours a été en service entre 16h00 et 19h00. Les heures de fonctionnement sont progressivement étendues. Selon les premières observations, on constate une baisse des dépassements de feu rouge comprise entre 15 et 20%. Si le test est réussi, d'autres installations de feux de circulation avec compte à rebours devraient être mises en service ultérieurement.

Une régulation à deux phases est appliquée au carrefour de la gare de Berne; l'une d'elles étant le passage pour piétons. Toutefois, la plupart des installations de feux de circulation à Berne sont plus complexes, car elles comportent davantage de passages pour piétons et de points de conflit. Il ne s'agit donc pas d'installations à seulement deux phases. Il faut donc s'attendre à une complexité accrue. Il peut également y avoir un trafic public prioritaire avec des interventions spontanées en provenance de différentes directions. Seule une solution algorithmique généralisée permettra de remédier à une telle complexité. Cette solution pourra être utilisée à tous les carrefours, avec un paramétrage correspondant. La prudence est de mise concernant la généralisation des feux de signalisation avec compte à rebours car la régulation utilisée pour le projet pilote était simple. Mais nous constatons que l'affichage du temps restant dans le test décrit est plausible et fiable.