

# Netzsteuerung: Was ist das?

Eine Steuerung ist nur so gut wie die Information, die ihr zur Verfügung steht. Lokale Information führt zu einer lokalen Optimierung des Verkehrsablaufs. Weiter entfernte Information erweitert den Horizont der Steuerung mit dem Ziel einer weitsichtigeren Optimierung. Dabei steigt jedoch die Unsicherheit über den zukünftigen Verkehr. Soll bis auf den Nachbarknoten geblickt werden, dann bedarf es einer Absprache zwischen den Steuerungen untereinander. Zu Ordnungszwecken wird häufig eine übergeordnete Netzsteuerung herbeigezogen. Wir stellen in diesem Artikel das Prinzip der Netzsteuerung vor, formalisieren es und wenden es auf die Gegebenheiten der Schweiz an. Das wird anhand von Beispielen illustriert, die wir erfolgreich umgesetzt haben.



VON  
**THOMAS RIEDEL**

Dr. sc. techn. ETH, Geschäftsführer,  
Adaptive Traffic Control AG, Winterthur



VON  
**MEMMO TAMBURRINO**

Dipl. EL.-Ing. ETH, Geschäftsführer,  
vs | verkehrssysteme ag, Muttenz

Wenn man sieht, dass ein Lichtsignal mit dem Verkehr nicht mehr zurecht kommt, erhofft man sich eine höhere Intelligenz – üblicherweise eine Netzsteuerung. Netzsteuerungen gibt es vieler Art, einfache, komplizierte, es gibt wohl so viele Netzsteuerungen, wie es Projekte und Produkte gibt. Welche Netzsteuerung passt für diesen konkreten Fall? Wie wählen? Allen Netzsteuerungen sind gewisse Prinzipien gleich. Und die wollen wir hier vorstellen.

## La régulation de réseau: qu'est-ce que c'est?

Une régulation est aussi bonne que l'information dont elle dispose. L'information locale permet d'optimiser le flux de trafic local. Les informations plus éloignées élargissent l'horizon de la régulation dans le but d'une optimisation à plus grande échelle. Toutefois, l'incertitude quant au trafic futur s'accroît. Si l'on veut prendre en compte les carrefours voisins en même temps, il faut un accord entre les régulateurs. Dans cette situation, une forme de régulation de réseau est souvent utilisée. Nous présentons dans cet article le principe de la régulation de réseau, le formalisons et l'appliquons aux réalités de la Suisse, illustré par des exemples que nous avons réalisés avec succès.



VON  
**DANIEL BÄRLOCHER**

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

Quand on voit qu'un carrefour à feux ne peut plus gérer le trafic correctement, on souhaite une intelligence plus élevée, généralement une régulation de réseau. Les types de régulation de réseau sont nombreux, simples, compliqués, il y a probablement autant de régulations de réseau qu'il y a de projets et de produits. Quelle régulation de réseau convient à ce cas précis? Comment choisir? Certains principes sont identiques à toutes les régulations de réseau. Et nous allons les présenter ici.

## Erfahrung und Technologie

Eine Netzsteuerung zu entwerfen und zu implementieren hat viel mit Erfahrung zu tun. Die Firmen der Autoren haben darin rund 20 Jahre Erfahrung und haben über die Jahre eine wachsende Palette von Produkten und Dienstleistungen entwickelt, um Netzsteuerungen auf operativer und taktischer Ebene umsetzbar zu machen (vs | plus, vs | edge, vs | pCoq net). Sie bemühen sich um offene Schnittstellen, so dass die Komponenten auch in andere Systeme eingebaut werden können und sie insbesondere mit den Zentralen zusammenarbeiten können. Die Abbildungen in diesem Artikel stammen aus mit uns realisierten Projekten.

Die Technik entwickelt sich rasant weiter. Die Steuergeräte hingegen verkörpern Konstanz und Zuverlässigkeit und haben eine Lebensdauer, die mehrere «Generationen» der Technik überdauert.

Je nach Typ und Ausbaustand eines Steuergeräts kann es mehr oder weniger auf Information eingehen, die von einer höheren Ebene kommt. Eine regelbasierte, taktische Netzsteuerung kann sich einfach anpassen – und zusätzlich kann sie durch Erfahrung dazulernen, indem neue Situationen erkannt werden und neue Regeln angefügt werden können.

Eine Netzsteuerung hat andere Information als die einzelne Lichtsignalanlage. Das Ziel ist eine grössere Übersicht. Darum wird sie sicher etwas zur Verbesserung des Verkehrsflusses beitragen können:

- Wenn das Lichtsignal **überlastet** ist, könnte ein Teil des Verkehrs anderswo durchgeleitet oder an einem anderen Ort zurückgehalten werden?
- Eine **Grüne Welle** muss vielleicht angepasst werden, damit die Fahrzeuge durch Anhalten und wieder Anfahren keine Zeit und somit Kapazität für die Kreuzung verlieren und erst noch die Umwelt mehr belasten? Ist sie vielleicht durch zu viele **ÖV-Eingriffe** durcheinander geraten?
- Möglicherweise weiss ein Lichtsignal immer etwas **zu spät** Bescheid über einen herannahenden Fahrzeugpulk und benötigt ganz einfach mehr und früher Information, ohne dass bauliche Massnahmen vorgenommen werden müssen?

## Expérience et technologie

Concevoir et mettre en œuvre une régulation de réseau a beaucoup à voir avec l'expérience. Cette expérience, les entreprises des auteurs l'ont acquise depuis une vingtaine d'années et ont développé au fil de ces années une gamme croissante de produits et de services pour rendre les régulations de réseau réalisables, opérationnelles et tactiques (vs | plus, vs | edge, vs | pCoq net). Elles s'efforcent de mettre en place des interfaces ouvertes afin que les modules puissent également être installés dans d'autres systèmes et, en particulier, coopérer avec les centrales. Les illustrations de cet article proviennent de projets qu'elles ont réalisés.

La technologie évolue rapidement. En revanche, les armoires incarnent constance et fiabilité, et ont une durée de vie de plusieurs «générations» de la technologie.

Selon le type et le niveau de configuration d'une armoire, celle-ci peut plus ou moins répondre à des informations venant d'un niveau supérieur. Une régulation de réseau tactique basée sur des règles peut facilement s'adapter – de plus, elle peut également apprendre par l'expérience, en permettant de détecter de nouvelles situations et d'ajouter de nouvelles règles.

Une régulation de réseau a d'autres informations qu'un carrefour à feux individuel. L'objectif en est une vue d'ensemble plus large. C'est pourquoi elle pourra avec certitude contribuer à l'amélioration de la fluidité du trafic:

- Si le carrefour à feux est **surchargé**, une partie du trafic pourrait-elle être acheminée ailleurs ou retenue ailleurs?
- Une **onde verte** doit peut-être être adaptée pour que les véhicules ne perdent pas de temps, donc de capacité pour le carrefour, en s'arrêtant et en repartant, et en polluant encore plus l'environnement? Peut-être s'est-elle embrouillée par trop **d'interventions par les transports en commun**?
- Peut-être qu'un carrefour à feux détecte toujours un peu **trop tard** les groupes de véhicules qui s'approchent et nécessite tout simplement plus d'informations et plus tôt sans qu'il soit nécessaire de procéder à des travaux de construction?

Es ist wichtig, auf der Ebene der Netzsteuerung alle Generationen von Steuergeräten miteinbeziehen zu können.

- Vielleicht schadet ein **eifrig optimierendes** Lichtsignal dem Ziel der Optimierung des gesamten Systems?
- Vielleicht haben sich die **Verkehrsflüsse** unerwartet verändert? Vielleicht werden die einzelnen Verkehrsströme nicht so wie vorgesehen, somit untereinander ungerecht behandelt?
- Peut-être qu'un carrefour à feux **optimisant très efficacement** nuit en réalité à l'objectif d'optimisation de l'ensemble du système?
- Peut-être les **flux de trafic** ont-ils changé de manière inattendue? Peut-être que les différents flux de trafic ne sont pas traités comme prévu, donc de manière injuste entre eux?

## Ein Blick in die Welt

Weltweit steuern am häufigsten fixe Phasenabläufe die Knotenpunkte. Je nach Tageszeit können andere Programme geschaltet werden. Der Verkehrsingenieur hat alles im Voraus berechnet – auch eine etwaige Koordination zwischen benachbarten Kreuzungen.

Das Umschalten zwischen Programmen kann zeitlich festgelegt sein oder an Verkehrsmengen gebunden. Das ist eine erste Form der Netzsteuerung. Es braucht dazu eine zentrale Instanz mit Regeln. Und es braucht Sensoren zum Zählen der Verkehrs-

## Un regard sur le monde

Dans le monde, les carrefours sont le plus souvent contrôlés par des phases fixes. Différents programmes peuvent être activés en fonction de l'heure de la journée. L'ingénieur de trafic a tout calculé à l'avance, y compris une éventuelle coordination entre les carrefours voisins.

La commutation entre programmes peut être définie dans le temps ou liée aux volumes de trafic. C'est une première forme de régulation de réseau. Pour cela, une autorité centrale avec des règles est nécessaire. Et il faut des capteurs pour compter la quantité de

---

ANZEIGE



menge. Wir nennen diese Instanz üblicherweise Jahresautomatik (JAUT).

In der anglophonen Welt ist es weit verbreitet, diesen Ansatz zu verallgemeinern und nicht nur Programme zu schalten, sondern auch die Versatzzeit «Offset» zwischen den Kreuzungen dynamisch anzupassen sowie die Grünzeitverteilung «Split» für die einzelnen Zufahrten. Häufig kann auch die Umlaufzeit «Cycle» dynamisch angepasst werden. Dazu benötigt man mehr Sensoren, die nicht nur zählen. Dann kann auf zentraler Ebene Information über Fahrzeugpuls errechnet werden, die durch ein Schätzmodell durch das System propagiert werden.

Werden die Sensoren zusätzlich auch im Steuergerät verwendet, können sie lokal zum Anmelden von Verkehr oder zum Verlängern von Grün verwendet werden. Das ist eine erste Aufteilung der Aufgaben: die Netzsteuerung muss nicht bis ins Kleinste dem Steuergerät befehlen, was es zu schalten hat, sondern kann sich auf die Erarbeitung und Interpretation der Übersicht konzentrieren, die «Strategie». Das Steuergerät kümmert sich um die Details, das «Operative».

## Anderer Weg in Mitteleuropa

In Mitteleuropa sind wir einen anderen Weg gegangen. Wir optimieren zuerst den einzelnen Knoten und stattdessen ihn mit so vielen Detektoren aus wie dazu nötig sind. Dann versuchen wir, dass der Knoten mit den Nebenknoten möglichst im Takt bleibt. Dazu können wir die Signalpläne in Signalrahmen umwandeln («darf grün sein», «muss rot sein») und erhalten so ein stabiles Funktionieren – auch ohne Kommunikation unter den Steuergeräten.

Später ist eine Zentralebene hinzugekommen, zuerst einfach in Form der bereits erwähnten Jahresautomatik – später ergänzt mit einer verkehrsabhängigen Makrosteuerung oder ausgebaut als eigene Ebene der Netzsteuerung, um die aktuelle «Taktik» vorzugeben. Manchmal können sich Steuergeräte auch gegenseitig Informationen direkt zukommen lassen. Mit dem Anhalten der Zyklussekunde für Gebiete ist experimentiert worden, was dem «Cycle» in der anglophonen Welt entspricht. Größere Systeme kommen dadurch aber leicht durcheinander. Lieber verteilen wir Grünzeit «Split» dynamisch anders und lassen die Detektoren die Fahrzeuge lokal genügend früh erkennen, so dass sich der Versatz «Offset» dynamisch anpassen kann, ohne Schätzmodell. Und was wir besonders gut können: Wir können den ÖV priorisieren und trotzdem eine Koordination aufrechterhalten. Das geht mit den anglophonen Systemen nicht so einfach.

trafic. Nous appelons généralement cette instance un suivi automatique selon calendrier.

Dans le monde anglophone, il est très courant de généraliser cette approche et non seulement de commuter entre les programmes mais aussi d'adapter de manière dynamique le temps de décalage «offset» entre les carrefours, ainsi que la répartition du temps vert «split» pour chaque accès. Souvent, le temps cycle «cycle» peut également être ajusté de manière dynamique. Pour cela, il faut plus de capteurs qui ne comptent pas seulement les véhicules. Il est alors possible de calculer par un modèle d'estimation, au niveau central, des informations sur les groupes de véhicules propagés à travers le système.

Si les capteurs sont également utilisés dans l'armoire, ils peuvent annoncer du trafic ou prolonger le vert localement. C'est un premier partage des tâches: la régulation de réseau n'a pas besoin de commander minutieusement à l'armoire ce qu'elle doit faire mais peut se concentrer sur l'élaboration et l'interprétation de la vue d'ensemble, la «stratégie». L'armoire s'occupe des détails, l'«opérationnel».

## Une autre voie en Europe centrale

En Europe centrale, nous avons suivi une autre voie. Nous optimisons d'abord le carrefour individuel et nous le dotons du nombre de détecteurs nécessaire. Puis nous essayons de le garder en rythme avec les carrefours voisins. Pour ce faire, nous pouvons convertir les plans de feux en plans cadres de feux («peut être vert», «doit être rouge») et nous pouvons ainsi maintenir un fonctionnement stable, même sans communication entre les armoires.

Par la suite, un niveau central s'ajoute, d'abord simplement sous la forme du suivi automatique selon calendrier déjà mentionné, puis complété par une commande macro dépendante du trafic ou développé comme un niveau propre de régulation de réseau pour définir la «tactique» actuelle. Parfois les armoires peuvent aussi échanger des informations directement entre elles. Des expériences avec arrêt de la seconde de cycle ont été effectuées pour certaines régions, ce qui correspond à la variation du cycle dans le monde anglophone. Mais les systèmes plus grands s'emmêlent facilement. Nous préférons distribuer le temps vert «split» de manière dynamique et laisser les détecteurs détecter les véhicules assez tôt pour que le décalage «offset» puisse s'adapter de manière dynamique, sans modèle d'estimation. Et ce que nous faisons particulièrement bien, c'est de donner la priorité aux transports en commun tout en maintenant une coordination. Ce n'est pas si simple avec les systèmes anglophones.

## So funktioniert die Netzsteuerung

Netzsteuerung hat

- mit verteilter **Intelligenz** zu tun: wer kann was?
- mit verteilter **Kompetenz** zu tun: wer darf was?
- mit verteilter **Information** zu tun: wer weiss was?
- mit verteilter **Kommunikation** zu tun: wer sagt wem was wann?
- mit verteilter **Anzeige** zu tun: wem kann was mitgeteilt werden?

### Verteilte Intelligenz

Es muss die richtige Information am richtigen Ort zur Verfügung stehen: die Beobachtbarkeit muss gegeben sein, um korrekte Steuerentscheide fällen zu können. Zusätzliche Informationen können die Qualität der Entscheide erhöhen, wie redundante Fahrzeitmessungen.

### Verteilte Kompetenz

Eine Netzsteuerung darf gewisse Befehle an das Steuergerät geben, aber vielleicht nicht immer. Darf das Steuergerät einen Befehl ablehnen? Muss das gemeldet werden?

## Ainsi fonctionne la régulation de réseau

La régulation de réseau fonctionne

- avec de l'**intelligence** distribuée: qui a quelle capacité?
- avec de la **compétence** distribuée: qui peut faire quoi?
- avec de l'**information** distribuée: qui sait quoi?
- avec de la **communication** distribuée: qui dit quoi à qui et quand?
- avec un **affichage** distribué: à qui peut-on communiquer quoi?

### Intelligence distribuée

La bonne information doit être disponible au bon endroit: l'observabilité doit être assurée pour pouvoir prendre des décisions de régulation correctes. Des informations supplémentaires peuvent améliorer la qualité des décisions, comme des mesures de temps de trajet redondantes.

### Compétence distribuée

Une régulation de réseau peut donner certaines commandes à l'armoire, mais peut-être pas toujours. L'armoire peut-elle refuser une commande? Faut-il le signaler?

---

Die Verteilung von Intelligenz, Kompetenz und Information muss gut durchdacht und – wenn möglich – formalisiert sein, damit auch in grösseren Systemen eine Netzsteuerung beherrschbar bleibt.

---

### Verteilte Information

Eine Netzsteuerung weiss über einen grösseren Bereich Bescheid. Dafür fehlt ihr aber vielleicht das Detailwissen am einzelnen Knoten, wie Zeitlücken, Positionen des Öffentlichen Verkehrs, aktuell ungleich verteilt Verkehrsflüsse.

### Verteilte Kommunikation

Wer schickt wem Befehle, wer schickt wem Informationen, wer schickt wem Meldungen und Rückmeldungen? Braucht es überhaupt Kommunikation? Genügt bilaterale Kommunikation? Braucht es eine zentrale Instanz? Oder beides?

### Verteilte Anzeige

Wer ist sonst noch in eine Netzsteuerung eingebunden? Anzeigetafeln? Countdown-Zähler? Der Öffentliche Verkehr? Verkehrsleitsysteme? Parkhäuser? Notfallfahrzeuge? Geschwindigkeitsempfehlungen? Intelligente, evtl. selbstfahrende Autos?

### Information distribuée

Une régulation de réseau est au courant d'une région plus étendue. Par contre, elle n'a peut-être pas les connaissances détaillées du carrefour individuel, telles que les créneaux intervéhiculaires, les positions des transports en commun, les flux de trafic actuellement injustement répartis.

### Communication distribuée

Qui envoie des commandes à qui, qui envoie des informations à qui, qui envoie des messages et qui leur répond? Est-ce qu'on a besoin de communication? La communication bilatérale est-elle suffisante? Faut-il une instance centrale? Ou les deux?

### Affichage distribué

Qui d'autre est impliqué dans une régulation de réseau? Des tableaux d'affichage? Des compteurs à rebours? Les transports en commun? Des systèmes de guidage de trafic? Des parkings? Des véhicules d'urgence? Des recommandations de vitesses? Des voitures intelligentes, peut-être autonomes?





1 | Blick auf den Wankdorfplatz in Bern (Foto: C. Jucker).  
 1 | Vue sur la Wankdorfplatz à Berne (photo: C. Jucker).

## Strategisch – Taktisch – Operativ

Verkehrssteuerungen lassen sich drei Ebenen zuordnen:

- Operative Ebene
- Taktische Ebene
- Strategische Ebene

Die Idee einer impliziten Koordination der operativen Ebene über Rahmenpläne ist alt und seit den 1980er-Jahren in Produkten erhältlich. Die taktische Ebene ist jünger, die ersten Applikationen sind seit den 2000er-Jahren verfügbar. Die strategische Ebene wird häufig durch die Zentrale des Steuergeräte-Herstellers wahrgenommen mit den unterschiedlichsten Funktionen.

### Die operative Ebene

Die operative Ebene, das Steuergerät, kümmert sich um die sekundengenaue Steuerung mit der nötigen Auswertung lokaler Information anhand lokaler Bedingungen und unter eventueller Beachtung von

## Stratégique – tactique – opérationnelle

Trois niveaux peuvent être attribués à la gestion de trafic:

- Le niveau opérationnel
- Le niveau tactique
- Le niveau stratégique

L'idée d'une coordination implicite du niveau opérationnel par le biais de plans cadres est ancienne et disponible en produits depuis les années 1980. Le niveau tactique est plus récent; les premières applications sont disponibles depuis les années 2000. Le niveau stratégique est souvent réalisé par un fournisseur d'armoires avec les fonctions les plus diverses.

### Le niveau opérationnel

Le niveau opérationnel, l'armoire, s'occupe de la commande à la seconde près avec l'analyse nécessaire de l'information locale sur la base de conditions locales et dans le respect éventuel des exigences qui peuvent

Vorgaben, die von einer höheren Ebene her kommen können. Dazu verfügt es in den meisten Fällen über mehr als ein Programm, um verschiedene Verkehrssituationen abdecken zu können, da ein Programm Modellgrenzen unterworfen ist.

### Die taktische Ebene

Die taktische Ebene inszeniert das geordnete Zusammenspiel einer Gruppe von Steuergeräten, beispielsweise zur Aufrechterhaltung einer Grünen Welle, falls sie nicht implizit über Signalrahmen gekoppelt werden kann. Sie geht auf Veränderungen des Verkehrs ein.

Sie muss ebenfalls über sekundengenaue Information verfügen, reichert sie aber auch zu Intervall-bezogenen Grössen an wie Verkehrszustände, Längen von Warteschlangen oder gar Fahrzeiten. Die Entscheide der taktischen Ebene sind langsamer als sekundengenau. Entscheide können

- kurzzeitige Eingriffe in die operative Ebene sein
- oder Programmwechsel.

Es kann in einem System mehrere taktische Gebiete geben, die möglicherweise untereinander kommunizieren müssen. Die taktische Ebene weiss sehr genau über die Verkehrslage Bescheid, was auch nach aussen kommuniziert werden kann, ohne dass Entscheide zu treffen sind.

venir d'un niveau supérieur. Dans la plupart des cas, il dispose de plus d'un programme pour couvrir différentes situations de trafic, étant donné qu'un programme est soumis à des limites de modèle.

### Le niveau tactique

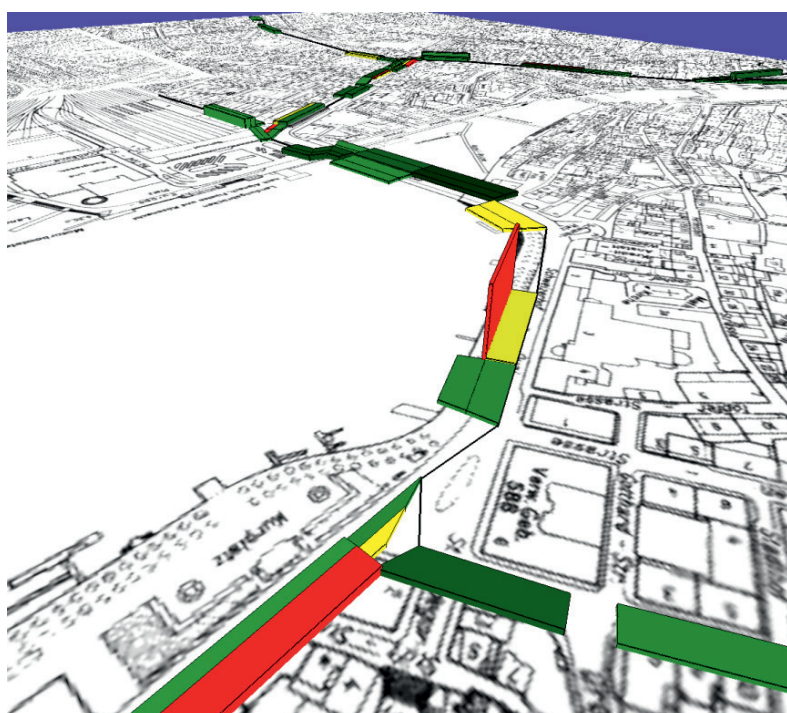
Le niveau tactique met en scène l'interaction ordonnée d'un groupe d'armoires, par exemple pour maintenir une onde verte, si elle ne peut pas être couplée implicitement par des plans cadres. Ce niveau s'adapte aux changements de flux de trafic.

Ce niveau doit également disposer d'informations précises à la seconde mais il les convertit aussi en valeurs d'intervalles telles que les conditions de circulation, les longueurs de files d'attente ou même les temps de trajet. Les décisions du niveau tactique sont

- plus lentes qu'à la seconde. Les décisions peuvent être
- des interventions de courte durée sur le niveau opérationnel
  - des changements de programme.

Dans un même système, il peut y avoir plusieurs régions tactiques qui pourraient devoir communiquer entre elles. Le niveau tactique connaît très bien la situation du trafic, ce qui peut également être communiqué à l'extérieur sans qu'il soit possible de prendre des décisions.

## Die taktische Ebene entdeckt das Überschreiten der Modellgrenzen der Programme der operativen Ebene.



2 | Eine schon ältere taktische Ebene in Luzern aus dem Jahre 2001 zeigt abstrahiert den Verkehr auf einer Achse: Anzahl Fahrzeuge (Breite), Zeitverlust (Höhe), Füllgrad (Dunkelheit), Verkehrszustand (Farbe).

2 | Un niveau tactique déjà plus ancien de 2001 à Lucerne montre la circulation sur un axe: nombre de véhicules (largeur), perte de temps (hauteur), niveau de remplissage (obscurité), état de circulation (couleur).

### Die strategische Ebene

Die strategische Ebene kümmert sich um grosse Gebiete oder um eine ganze Stadt und macht Vorgaben zu Stabilität und Optimierung des gesamten Netzwerks. Sie beeinflusst den Verkehr über längere Zeiträume. Sie kann der Planung dienen oder dem Eingriff in die Regelung. Sie benötigt die Daten in weniger guter Auflösung und muss sie manchmal dort schätzen können, wo sie nicht messbar sind. Entscheidungen werden schnellstens alle drei Minuten, meist aber in längeren Zeitabständen getroffen.

### Makroskopisches oder mikroskopisches Verkehrsmodell

Netzsteuerungen mit hinterlegten makroskopischen Verkehrsmodellen, üblicherweise auf strategischer Ebene, tendieren zu hoher Komplexität in ihrer Parametrierung und zu hoher Sensibilität bezüglich Parameteränderungen. Dafür kommen sie häufig nur mit Zählwerten, Belegungsgraden und Grünzeiten aus – also ohne Rohdaten.

Mikroskopische Verkehrsmodelle benötigen flankengenaue Messungen, was bei uns so gut wie Standard geworden ist. Sie können einzelne Zufahrten bezüglich Staulänge, Reisezeit, Halte oder gar Spurwechsel beobachten. Da sie für die meisten Steuergeräte zu rechenintensiv sind, trifft man sie häufig auf der taktischen Ebene an. Das ermöglicht eine anschauliche Formulierung von gewünschten Beobachtungen: ein Rückstau wird zu lang, eine Zufahrt wird nicht häufig genug behandelt, ein Koordinationsband ist löchrig. Und der Verkehrsingenieur weiss dann häufig auch gleich, was er im Fall solcher Beobachtungen unternehmen muss: er kann Regeln aufstellen.

### Regelbasiert oder Zielfunktion

Auf allen Ebenen strebt man nach einem Optimum. Doch was ist das Optimum? Wartezeit lässt sich nicht minimieren und gleichzeitig der Durchsatz maximieren. Jeder Verkehrsteilnehmer (ÖV, MIV, Fussgänger, Velos) kann seine eigenen Ziele haben wie beispielsweise:

- **Komfort:** wenig Wartezeit für Fahrzeuge oder auch Fussgänger, vor allem für den ÖV angewendet

### Le niveau stratégique

Le niveau stratégique s'occupe de grandes régions ou d'une ville entière et donne des orientations sur la stabilité et l'optimisation de l'ensemble du réseau. Il affecte le trafic sur de longues périodes. Il peut servir à la planification ou à l'intervention dans la régulation. Il a besoin de données de moins bonne résolution et doit parfois pouvoir les estimer là où elles ne sont pas mesurables. Les décisions sont prises au plus vite toutes les trois minutes mais le plus souvent à intervalles plus longs.

### Modèle de trafic macroscopique ou microscopique

Les régulations de réseau à la base de modèles de trafic macroscopiques, généralement au niveau stratégique, ont tendance à être très complexes dans leur paramétrage et à avoir une grande sensibilité aux variations de paramètres. En revanche, elles peuvent souvent se contenter de valeurs de comptage, de niveaux d'occupation, de temps verts, c'est-à-dire sans données brutes.

Les modèles de trafic microscopiques nécessitent des mesures précises aux flancs, ce qui est devenu la norme chez nous. Ils peuvent observer des accès individuels en termes de longueur des files, de temps de trajet, de temps d'arrêt ou même de changement de voie. Étant donné qu'ils sont trop gourmands en calcul pour la plupart des armoires, on les trouve souvent au niveau tactique. Cela permet une formulation claire des observations souhaitées: une file d'attente devient trop longue, un accès n'est pas traité assez souvent, une bande de coordination est perforée. Et l'ingénieur de trafic sait souvent tout de suite ce qu'il doit faire en cas de telles observations: il peut établir des règles.

Die Entscheide auf taktischer Ebene kommen häufig mit einfachen Regeln aus.

### Basé sur des règles ou fonction cible

À tous les niveaux, on est à la recherche d'un optimum. Mais quel est l'optimum? Le temps d'attente ne peut pas être minimisé tout en maximisant le débit. Chaque usager de la route (transports en commun, trafic individuel, piétons, vélos) peut avoir ses propres objectifs:

- **Confort:** peu d'attente pour les véhicules ou même les piétons, en particulier pour les transports en commun



- **Effizienz des Systems:** möglichst hoher Durchsatz (Fahrzeuge pro Stunde)
- **Stabilität des Fahrplans:** Gesamtreisezeit des ÖV und Garantie von Anschlüssen
- **Umweltbelastung:** möglichst wenig Halte, gleichmässige Geschwindigkeit
- **Staulänge:** Begrenzen, um beispielsweise ein Überstauen des Nachbarknotens zu vermeiden

Auf operativer Ebene im Steuergerät kommen häufig Zielfunktionen zum Einsatz, die aus gewichteten Summen von beobachteten Grössen bestehen – wer die höchste Zahl erreicht, bekommt als nächster Grün – und wer unter eine gewisse Zahl fällt, bekommt das Grün weggenommen. Dazu kommen noch weitere Regeln, wie beispielsweise die Behandlung aller Signalgruppen in einem Umlauf und in Zentrumsgebieten. Sie haben häufig so viele weitere Restriktionen, dass die Regelung nur noch wenig Entscheidungsspielraum hat (Fussgänger-Grün und Halte des ÖV, Vorstarts, Minimal- und Maximalzeiten, etc.).

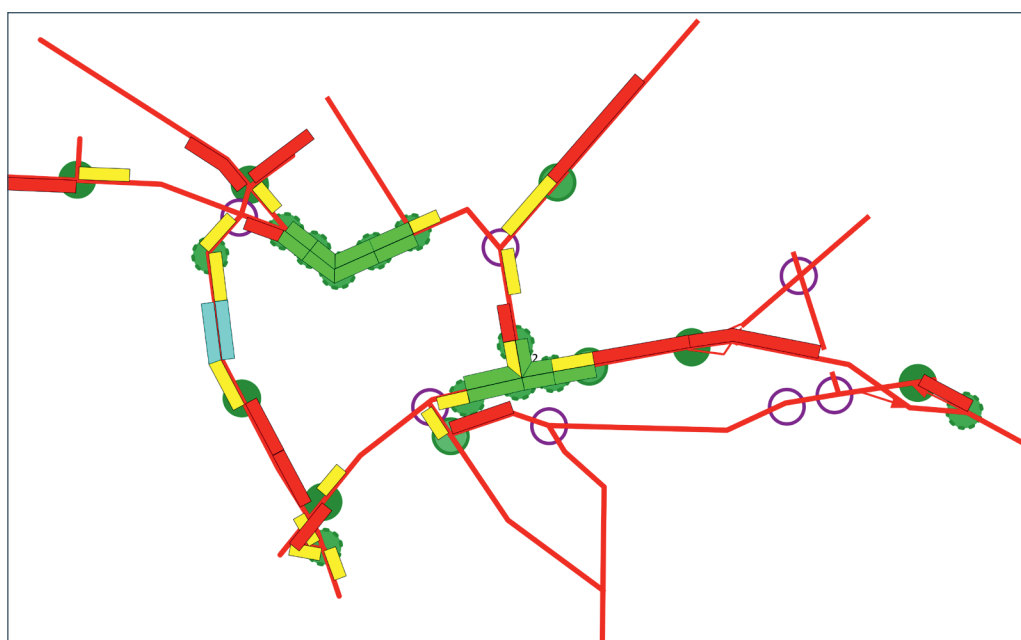
Auf taktischer Ebene geht es ruhiger zu. Es werden Situationen gesucht, in welchen in die operative Ebene eingegriffen werden soll – beispielsweise ein zu grosser Füllgrad eines Puffers oder zu viele Halte in einem koordinierten Gebiet. Es ist so wie eine Online-Qualitätsanalyse, die bei Erreichen von Schwellwerten zu vordefinierten Reaktionen greift. Die dazu nötigen Funktionen zur Beobachtung können recht kompliziert werden, sind aber standardisierbar. Die Regeln für die Eingriffe hingegen können in überschaubaren Tabellen formuliert werden.

- **Efficacité du système:** débit le plus élevé possible (véhicules par heure)
- **Stabilité des horaires:** temps de voyage total des transports en commun et garantie de correspondances
- **Pollution:** le moins d'arrêts possible, vitesse uniforme
- **Longueur des files:** limiter pour éviter, par exemple, l'encombrement du carrefour voisin

Au niveau opérationnel dans l'armoire, on utilise souvent des fonctions cibles, qui sont composées de sommes pondérées de valeurs observées – celle qui atteint le chiffre le plus élevé est le prochain vert – et celle qui tombe sous un certain nombre perd le vert. À cela s'ajoutent d'autres règles, telles que le traitement de tous les groupes de feux par cycle et souvent des restrictions supplémentaires dans les régions centrales à tel point que la régulation n'a plus que peu de marge de décision (vert piéton en fonction d'arrêt des transports en commun, départ avancé, temps minimal et maximal, etc.).

Au niveau tactique, c'est plus calme. Des situations sont définies pour intervenir au niveau opérationnel, par exemple un niveau de remplissage trop important d'une section ou trop d'arrêts dans une région coordonnée. C'est comme une analyse de la qualité en ligne qui utilise des réactions prédéfinies lorsque des valeurs sont atteintes. Les fonctions requises pour l'observation peuvent être assez compliquées mais peuvent être standardisées. En revanche, les règles relatives aux interventions peuvent être formulées dans des tableaux de taille gérable.

- 3 | Die Abbildung zeigt regelungstechnische Zielvorgaben zur Bewirtschaftung von Segmenten in Solothurn:  
 Puffer für Rückstau (rot),  
 zyklische Puffer (gelb),  
 koordinierte Gebiete (grün),  
 Verbot von Stau (blau).
- 3 | L'illustration montre des objectifs de la régulation pour certaines zones à Soleure:  
 zone tampon pour les files (rouge),  
 tampons cycliques (jaune),  
 zones coordonnées (verte),  
 interdiction d'embouteillages (bleu).





4 | Die Abbildung zeigt eine Beobachtbarkeitsanalyse in Bern rund um den Wankdorfplatz: rosa: gut beobachtbar, gelb: mässig beobachtbar, grün: Fluss beobachtbar.

4 | L'illustration montre une analyse d'observabilité à Berne autour de la Wankdorfplatz: bien observable (rose), modérément observable (jaune), flux observable (vert).

Auf strategischer Ebene werden häufig Verkehrsmodelle verwendet, welche optimale Phasenabläufe versuchen vorherzuberechnen, teilweise auch mit Hilfe von Simulation. Je weniger Sensoren vorhanden sind und je länger die Messintervalle werden, umso mehr muss eine strategische oder taktische Regelung mit Verkehrsmodellen arbeiten, Informationen ergänzen und Flüsse schätzen.

Au niveau stratégique, on utilise souvent des modèles de trafic qui essaient de calculer à l'avance des séquences de phases optimales, en partie à l'aide de simulations. Moins il y a de capteurs et plus les intervalles de mesure sont longs, plus une régulation stratégique ou tactique doit fonctionner avec des modèles de trafic pour compléter l'information et estimer les flux.

### Beobachten und Regeln

Jede Regelung, auf welcher Ebene auch immer, führt zyklisch die folgenden vier Schritte aus. Die ersten beiden Schritte werden Beobachtung (Abb. 4) genannt, im dritten und vierten Schritt wird die eigentliche Regelung ausgeführt.

### Observer et réguler

Chaque régulation, quel que soit son niveau, effectue cycliquement les quatre étapes suivantes. Les deux premières étapes sont appelées observation (fig. 4), la troisième et la quatrième effectuent la régulation.

Nur was beobachtbar ist, kann auch geregelt werden.

- **Erfassen:** die Detektoren erfassen den Verkehr in Form von Rohdaten. Ebenfalls erfasst werden die Befehle, die an die Lichtsignale geschickt werden.
- **Beobachten:** aus den plausibilisierten Informationen über die Detektoren und die Signalgruppen errechnet der Beobachter angereicherte Messwerte wie Längen von Warteschlangen oder Geschwindigkeiten. Er kann auch bei genügender Information einzelnen Fahrzeugen folgen.

- **Capturer:** les détecteurs captent le trafic sous la forme de données brutes. Les commandes envoyées aux feux sont également captées.

- **Observer:** à partir d'informations des détecteurs et des groupes de feux vérifiées comme plausibles, l'observateur calcule des valeurs de mesure enrichies telles que des longueurs de files d'attente ou des vitesses. Il peut également suivre des véhicules individuels en cas d'information suffisante.

---

Je anschaulicher die Resultate der Beobachtung sind, umso besser kann das Verkehrsgeschehen verstanden werden, und umso einfacher kann die Regelung gestaltet werden.

---

- **Entscheiden:** anhand der vom Beobachter angereicherten Messwerte entscheidet der Regler nach gegebenen Zielfunktionen und gegebenen Einschränkungen (z.B. Rahmensignalen).
- **Befehlen:** der Regler setzt die Entscheide in Befehle an die Signalgruppen oder andere Elemente zur Anzeige um.
- **Décider:** sur la base des valeurs de mesure enrichies par l'observateur, le régulateur décide d'après des fonctions cibles et des contraintes données (par exemple plans cadres).
- **Commander:** le régulateur met en œuvre les décisions par commandes aux groupes de feux ou à d'autres éléments pour les afficher.

In Zukunft wird auch die Kommunikation an die Fahrzeuge immer wichtiger werden, beispielsweise um ihnen eine Verkehrslage zu übermitteln oder auf Phasenwechsel vorzubereiten. Die ist sowohl bei autonomen und nicht-autonomen Fahrzeugen als auch bei anderen Verkehrsteilnehmenden denkbar. Die taktische Ebene kann solche Information liefern. Für die kurzfristige Vorhersage der Phasenwechsel ist die operative Ebene zuständig, da nur sie weiss, was sie in den nächsten Sekunden schalten wird. Für die mittelfristige Situation ist die taktische Ebene zuständig, denn sie kennt die Fahrzeuge, die von den umliegenden Knoten abefahren sind.

In Zukunft werden auch andere Typen von Netzsteuerungen wichtig werden, wie solche zur Koordination von Velohaupttrouten und von dominanten Fussgängerströmen oder zur Harmonisierung von Verkehrsbelastungen zur Bewirtschaftung von Verkehrsgebieten. Die Prinzipien werden die gleichen sein.

Nun hoffen wir, dass es verständlich geworden ist, wie Netzsteuerungen funktionieren und wie sie geplant und eingesetzt werden können.

À l'avenir, la communication aux véhicules deviendra elle aussi de plus en plus importante, par exemple pour leur transmettre une situation de trafic ou pour les préparer à des changements de phase, que les véhicules récepteurs soient autonomes ou non, ou même qu'il s'agisse d'autres usagers de la route que les véhicules. Le niveau tactique peut fournir de telles informations. La prévision à court terme des changements de phase est assurée par le niveau opérationnel car il est le seul à savoir ce qu'il va faire dans les secondes à venir. Le niveau tactique est responsable de la situation à moyen terme car il connaît les véhicules qui ont quitté les carrefours environnants.

À l'avenir, d'autres types de régulation de réseau prendront eux aussi de l'importance comme ceux pour la coordination de voies cyclables principales et des flux piétonniers dominants ou encore d'harmonisation de densité de trafic pour la gestion de secteurs. Les principes en seront les mêmes.

Nous espérons que la manière dont les régulations de réseau fonctionnent et comment elles peuvent être planifiées et utilisées est maintenant devenue compréhensible.

---

Regeln und Zielfunktionen können in Parameter gefasst oder ausprogrammiert werden. Parameter eignen sich gut für komplexe Knoten und das Zusammenspiel zwischen Knoten. Ausprogrammierung benötigt man, wenn man die Abläufe massgeschneidert sekundengenau kontrollieren will.

---