

# MODERNE VERKEHRSMODELLE UND RAUMPLANUNG

## Einsatz, Möglichkeiten und Chancen

*Casimir de Rham*

(Dr. Casimir de Rham, Dipl.El.Ing. ETH, MBA INSEAD; SYSTEMS CONSULT, Habsburgstraße 12, CH-3006 Bern)

### 1. EINLEITUNG

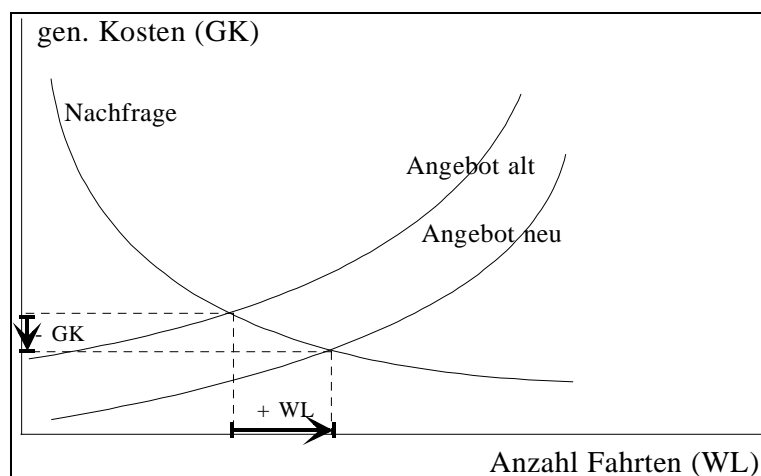
Die Raumplaner haben gelernt, räumliche und zeitliche Angebote an Infrastrukturen zu planen. Dabei müssen sie Annahmen über die Nutzung dieser Angebote durch die Nachfrage treffen. Typische Fragen wie « Welche Nachfrage wird das Angebot zu welchen Bedingungen benützen ? » müssen möglichst genau beantwortet werden, denn die hohen Investitionen erschweren nachträgliche Kurskorrekturen erheblich. In diesem Umfeld sind alle Mittel und Methoden willkommen, mit denen die Reaktion der Nachfrage auf Änderungen des Angebots geschätzt werden kann. Verkehrsmodelle sind ein Mittel, um solche Zusammenhänge im Bereich der Verschiebung von Personen und Gütern abzubilden. Das erklärte Ziel ist, die prädiktive Leistung bezüglich Nachfrageverhalten zu erhöhen.

Zuerst werden die Grundlagen moderner Verkehrsmodelle kurz vorgestellt und anschließend drei typische Anwendungsbereiche, nämlich Umwelt, Intermodalität und Erreichbarkeit gezeigt. Überlegungen über die technologische Entwicklung und deren Folgen für die Modellierung schließen den Beitrag ab.

### 2. DIE GRUNDLAGE DER MODERNEN VERKEHRSMODELLE

In Verkehrsmodellen werden Angebot und Nachfrage mit Funktionen abgebildet. Die Angebotsfunktionen bilden das Verhalten des Angebots ab. Im Individualverkehr (IV) sind es die Funktionen zwischen Fahrzeit und Belastung, im öffentlichen Verkehr (ÖV) Funktionen zwischen Unkomfort und Belastung.

Die Nachfragefunktionen bilden das Verhalten der Nachfrage ab. Dieses Verhalten spiegelt sich in der Anzahl der Fahrten ab, die zwischen zwei Zonen stattfinden. Die Anzahl der Fahrten hängt einerseits von den sozioökonomischen Daten der Zonen, andererseits von Wegdaten zwischen den Zonen ab. Wenn das Angebot (= die Netze) mit der Nachfrage (= die Fahrtenmatrix) belastet wird, ändern sich die Bedingungen (= die generalisierten Kosten). Mit steigender Belastung nehmen die generalisierten Kosten zu, was wiederum einen dämpfenden Einfluß auf die Nachfrage hat. Diese Zusammenhänge können als Gleichgewichtspunkt zwischen Angebots- und Nachfragefunktion dargestellt werden. (Figur 1)

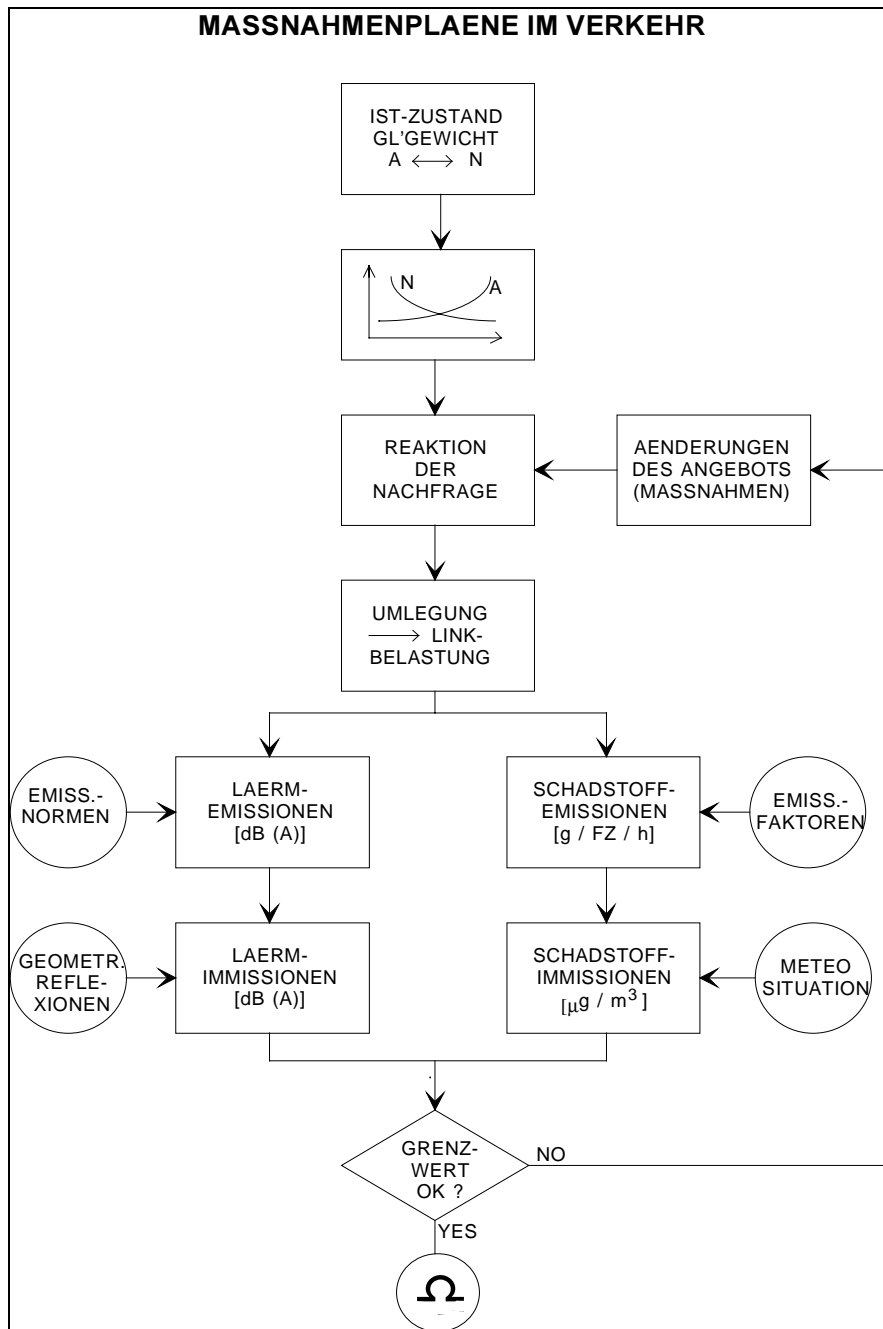


Figur 1. Reaktion der Nachfrage auf eine Änderung des Angebots

Mit der Senkung der Angebotskurve werden nicht nur die generalisierten Kosten gesenkt (-GK), sondern auch der Gleichgewichtspunkt nach rechts verschoben (+WL). Diese Anzahl zusätzlicher Fahrten entspricht dem durch das verbesserte Angebot induzierten Verkehr.

### 3. DER EINBEZUG DER UMWELT IM PLANUNGSZYKLUS

In der Schweiz sind die Kantone seit ca. 10 Jahren verpflichtet, « Maßnahmenpläne zur Luftreinhaltung » zu erstellen. Neu war dabei, daß die Aspekte Luftschadstoffe und Lärm im Planungszyklus integriert werden mußten.



Figur 2. Der Einbezug von Umweltfragen im Planungszyklus

Zuerst wird das Verkehrsmodell im IST-Zustand etabliert und kalibriert. Aus diesem IST-Zustand werden die Nachfragefunktionen geschätzt. Mit diesen Funktionen wird die Reaktion der Nachfrage auf die Maßnahmen (= Angebotsänderungen) berechnet. Der Mehr- und Minder-Verkehr produziert Lärm- und Schadstoff-Emissionen. Die Schadstoff-Emissionen (kg/h) werden entsprechend meteorologischen Situationen und Dispersionsgesetzen zu Immissionen ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) transformiert. Falls diese Immissionen die gesetzlichen Grenzwerte überschreiten, muß ein neuer Planungszyklus mit neuen Maßnahmen getätigt werden.

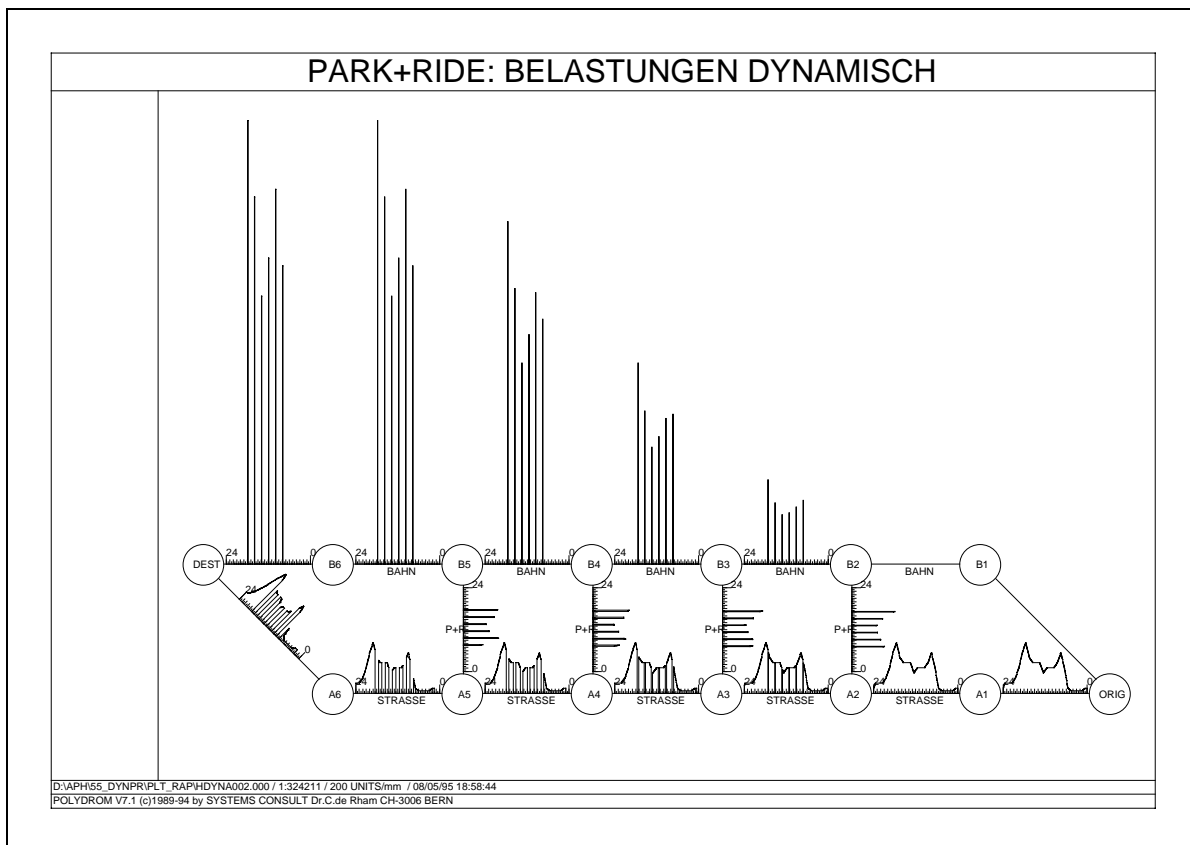
#### 4. DER EINSATZ FÜR INTERMODALE PROBLEME

Mit der heutigen Belastung der Infrastrukturen nimmt der Anteil monomodaler Fahrten stetig ab. Das Optimum zwischen Fahrzeit, Komfort, Kosten, Dichte, usw. kann nicht mehr mit dem gleichen Verkehrsmittel von der Quelle bis zum Ziel garantiert werden. Eine typische Lösung für diese notwendige Intermodalität sind Park-and-Ride (P+R) Infrastrukturen. Das folgende Beispiel ist dieser Problematik gewidmet.

Personen wollen von Außenbezirken (rechts im Bild) in ein Stadtzentrum (links im Bild) fahren. Die Straßenkapazität nimmt in Richtung Zentrum ab. Abgesehen von « captives », die keine Wahl haben, können die Personen zwischen drei Möglichkeiten auswählen:

- ganzen Weg mit dem Individualverkehr (IV) zurücklegen
- Start mit dem IV, Umsteigen in P+R, weiter mit dem öffentlichen Verkehr (ÖV)
- ganzen Weg mit dem ÖV zurücklegen

Die Wahl wird in Funktion der momentanen minimalen generalisierten Kosten von der Quelle zum Ziel getroffen. Personen, die kurz vor der Abfahrt einer Bahn am P+R vorbeifahren, können dank dem ÖV ihren Aufwand senken (Figur 3). Auf den Strassenstrecken sind die Ganglinien, auf den Bahnstrecken die Anzahl der Personen pro Zug erkennbar.

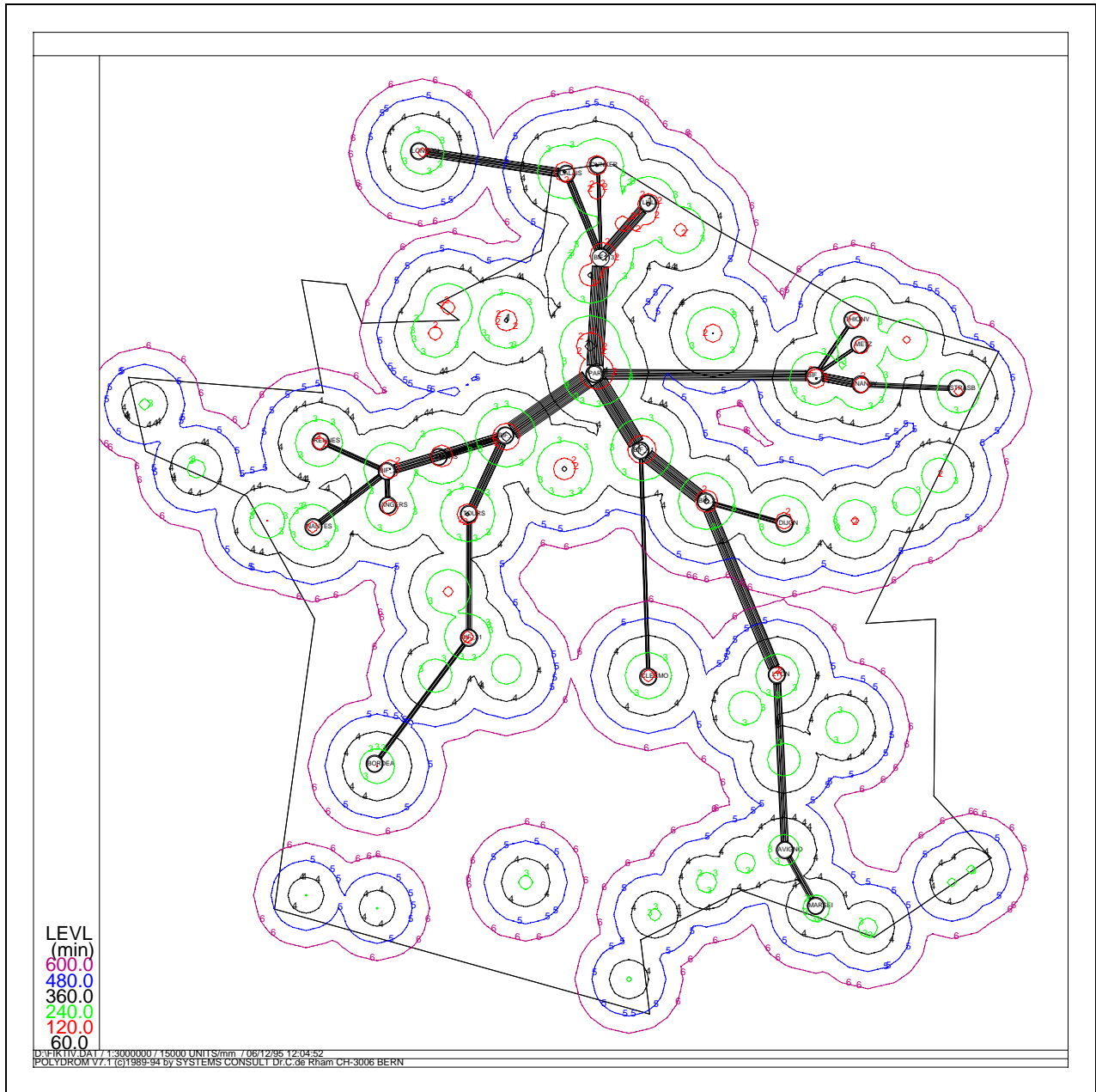


Figur 3. Intermodale Simulation von P+R-Anlagen

Dieses Beispiel verdeutlicht auch die ökonomische Gratwanderung eines P+R Betriebes. Damit eine P+R Anlage benützt wird, muß der Weg von der Quelle zum Ziel trotz Umsteigen, Warten, Parkgebühren, Unsicherheit, usw. folgende Bedingung erfüllen:

- Der Anfang der Fahrt muß mit dem IV attraktiver sein als mit dem ÖV und
- das Ende der Fahrt muß mit dem ÖV attraktiver sein als mit dem IV.

## 5. DER EINSATZ FÜR DIE BERECHNUNG VON ERREICHBARKEITEN



Figur 4. Erreichbarkeit: Isochronen - französisches Bahnnetz

Neben den Graphiken liefert das Programm automatisch die numerischen Angaben über die Erreichbarkeit der diversen Strukturdaten. Hier ein Beispiel für den Vergleich einer Variante mit herkömmlichen Zügen und einer Variante mit Hochgeschwindigkeitszügen. Die Tabelle beantwortet die Frage: Wie viele Personen sind in welchem Zeitintervall erreichbar ?

Tab. 1: ERREICHBARKEIT DER BEVÖLKERUNG (ABSOLUTE WERTE)

VON	BIS	herkömml.	hochg.	diff	diff%
0:00	1:00:00	12809.0	17256.0	4447.0	7.8
1:00:00	2:00:00	4629.0	19555.0	14926.0	26.1
2:00:00	3:00:00	3788.0	6127.0	2339.0	4.1
3:00:00	4:00:00	13250.0	4013.0	-9237.0	-16.2
4:00:00	5:00:00	5190.0	0.0	-5190.0	-9.1
5:00:00	6:00:00	891.0	0.0	-891.0	-1.6
6:00:00	7:00:00	5409.0	0.0	-5409.0	-9.5
7:00:00	8:00:00	985.0	0.0	-985.0	-1.7

Ergänzend zu den absoluten Werten können ebenfalls die relativen Werte angegeben werden, um die Frage zu beantworten: Wie viele Personen sind dank der neuen Infrastruktur mit welchem Zeitgewinn erreichbar?

Tab. 2: ERREICHBARKEIT DER BEVÖLKERUNG (RELATIVE WERTE)

VON	BIS	UNIT	TOTAL	CUMUL
-180.0	-120.0	min	10271.0	10271.0
-120.0	-60.0	min	20113.0	30384.0
-60.0	0.0	min	6548.0	36932.0
0.0	60.0	min	17009.0	53941.0

(negativ = Zeitgewinn, positiv = Zeitverlust)

## 6. DIE CHANCEN

Die Rechen- und Speicherleistung der Computer wird weiterhin alle 2 Jahre circa um einen Faktor 10 zunehmen, bis die physikalischen Grenzen der Quantenphysik erreicht sind. Vorläufig sind die Grenzen "nur technologisch", es sind Probleme, die mit bekannter Technologie gelöst werden können und auch laufend gelöst werden. Das hat für die Verkehrsmodellierung die wichtige Konsequenz, daß es sich schon heute lohnt, für morgen zu denken. Die Frage "Was ist mit heutiger Technologie machbar?" kann ersetzt werden durch "Was wäre von der Methodik her die beste Lösung?".

Ob diese Lösung erst einige Jahren später voll realisierbar ist, spielt langfristig eine untergeordnete Rolle. Die Integration des Individual- und öffentlichen Verkehrs im selben Modell oder die Schließung der Rückkoppelung zwischen Angebot und Nachfrage sind typische Anwendungen dieser Überlegungen. Vor fünf Jahren wurden solche Abweichungen vom klassischen Vierschritt-Modell als unrealistisch und exotisch betrachtet. Heute gibt es Dutzende von gelungenen Anwendungen.

Bei derartigen Überlegungen muß eine Wahrheit immer wieder laut und stark gesagt werden (am besten alle geraden Jahre): Es hat keinen Sinn, in Methoden zu investieren, mit denen man dem Ziel näher kommt aber mit denen das Ziel nicht erreicht werden kann! Konkret angewandt: Es hat keinen Sinn, getrennte Modelle für den Individual- und den öffentlichen Verkehr zu entwickeln, wenn man später Intermodalität untersuchen will. Oder: Es hat keinen Sinn, Gleichgewichtsumlegungen mit mathematischer Programmierung zu entwickeln, wenn man später zeitabhängige Systeme analysieren will.

Umgekehrt kann man folgendes behaupten:

Es macht Sinn, die Modelle flexibler bezüglich Kalibration mit externen Daten zu gestalten, denn die Anzahl und die Vielfalt der externen Datenquellen nimmt stetig zu.

Es macht Sinn, die Komponenten Angebot und Nachfrage jetzt schon für die volle Integration in dynamische Modelle vorzubereiten. In einigen Jahren werden Verkehrsmodelle nur noch dynamisch sein. Das Angebot wird zeitabhängig sein (Fahrpläne, zeitlich variable Ge- und Verbote), die Nachfrage wird sich entsprechend Ganglinien verhalten.

Es macht Sinn, sich Gedanken über die Integration der Fehlerfortpflanzung in den Berechnungen zu machen. Heute werden die Resultate immer noch als Mittelwerte ausgegeben. In zukünftigen Modellen werden Angaben über die Streuung der Resultate ein integrierter Bestandteil des Outputs sein.

Es macht Sinn, sich Gedanken über die gegenseitigen Abhängigkeiten zwischen Verkehrsnachfrage und Raumnutzung zu machen, weil dies garantiert einmal zu den Fähigkeiten der Modelle gehören wird. Bis dahin sind aber noch einige Symposien notwendig, um die Hühner und die Eier im richtigen Rückkoppelungszyklus einzubinden...