

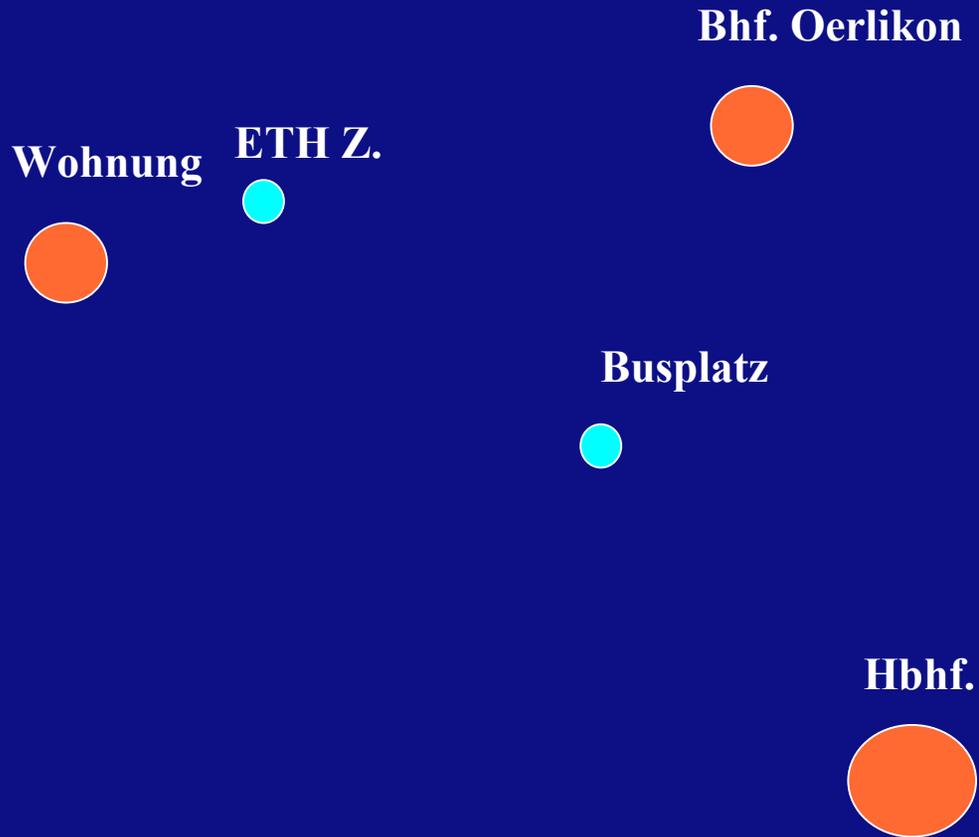
MODELLIERUNG INTER-MODALER WEGE IN MULTI-MODALE VERKEHRSNETZE

Piet H.L. Bovy

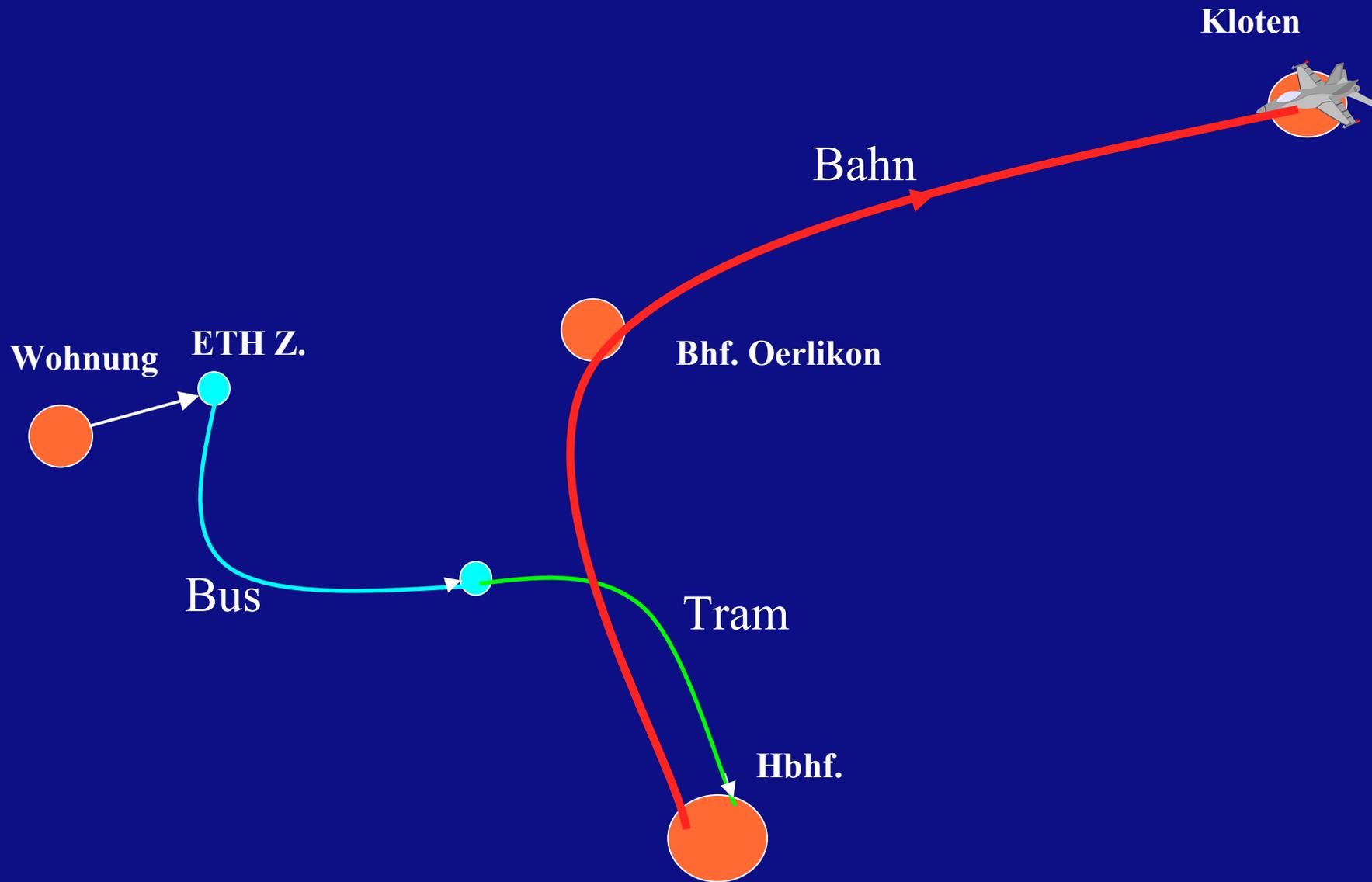
Technische Universitat Delft, Niederlande

Wege zum Flughafen (Kloten)

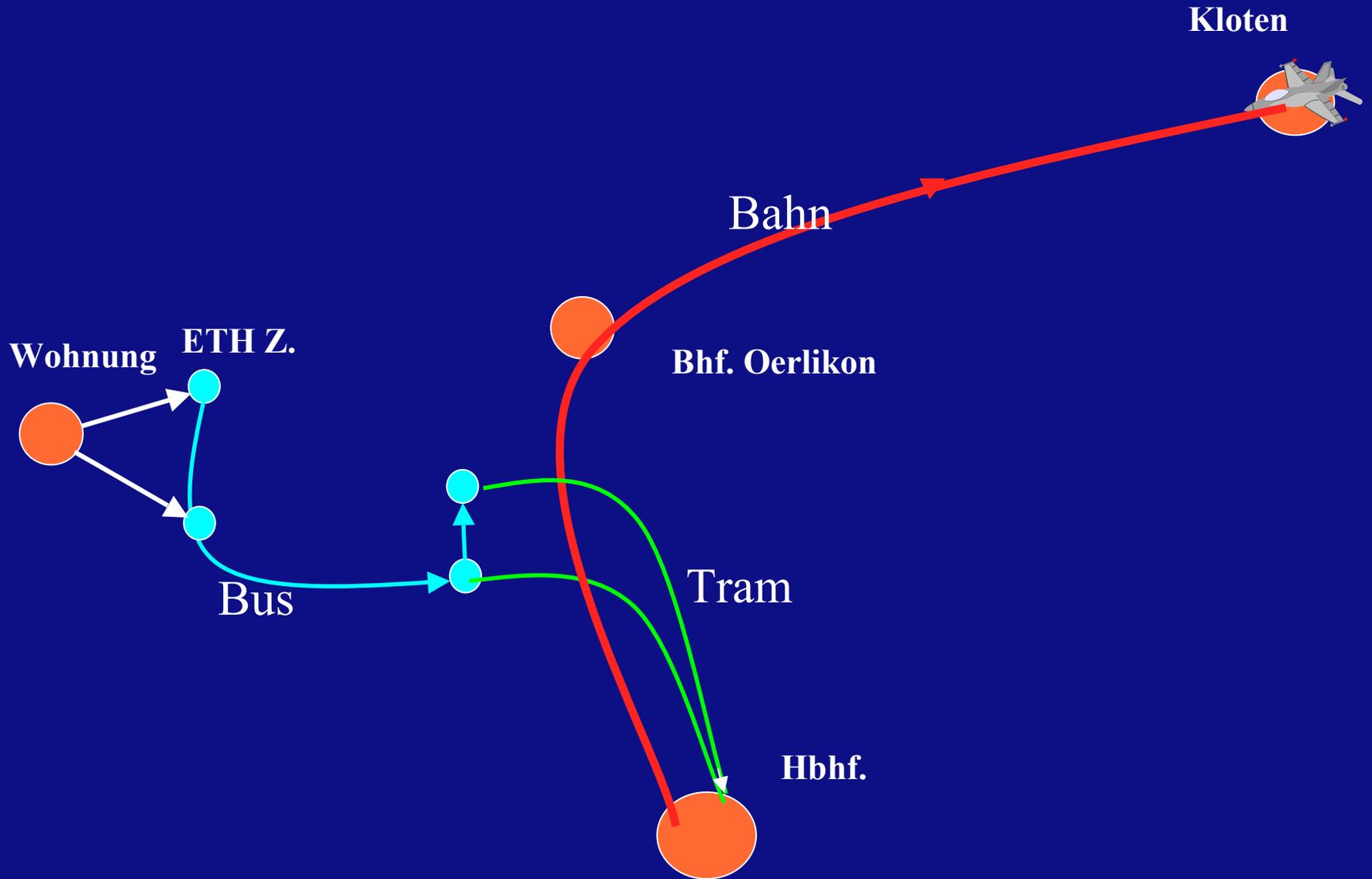
Kloten



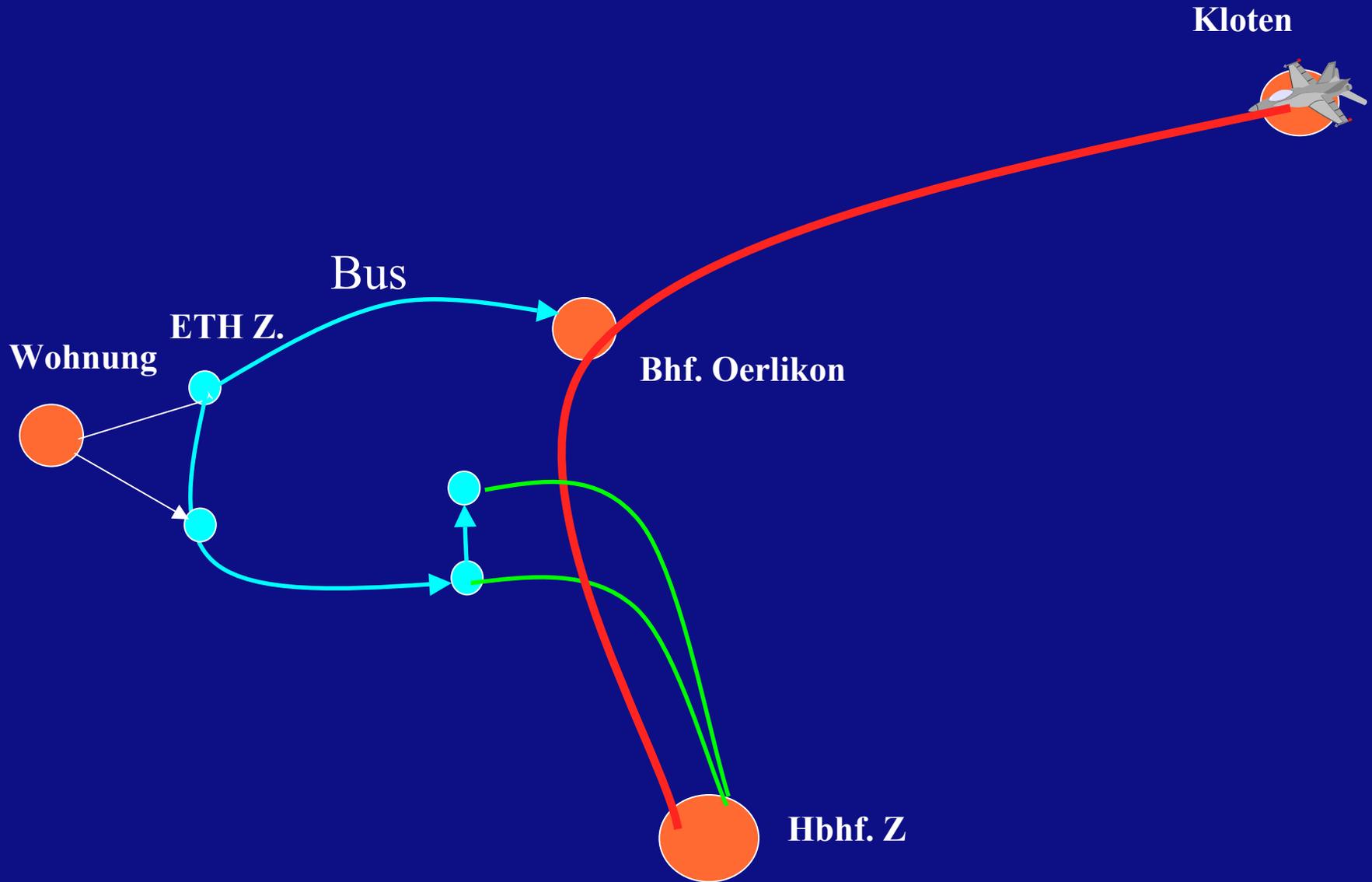
Route Nr. 1: Bus, Tram, Bahn



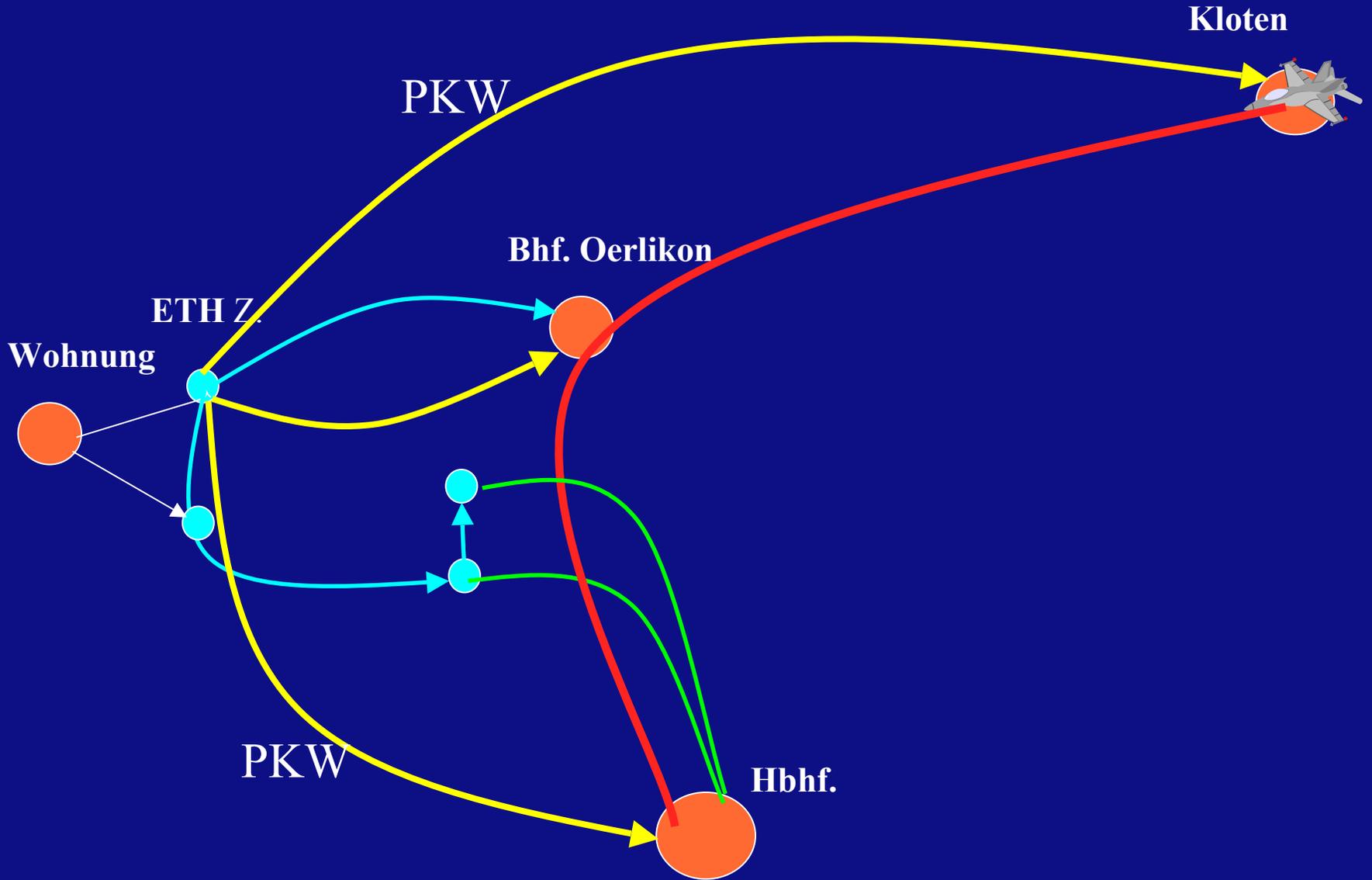
Route Nr. 2, 3 : Bus, Tram, Bahn



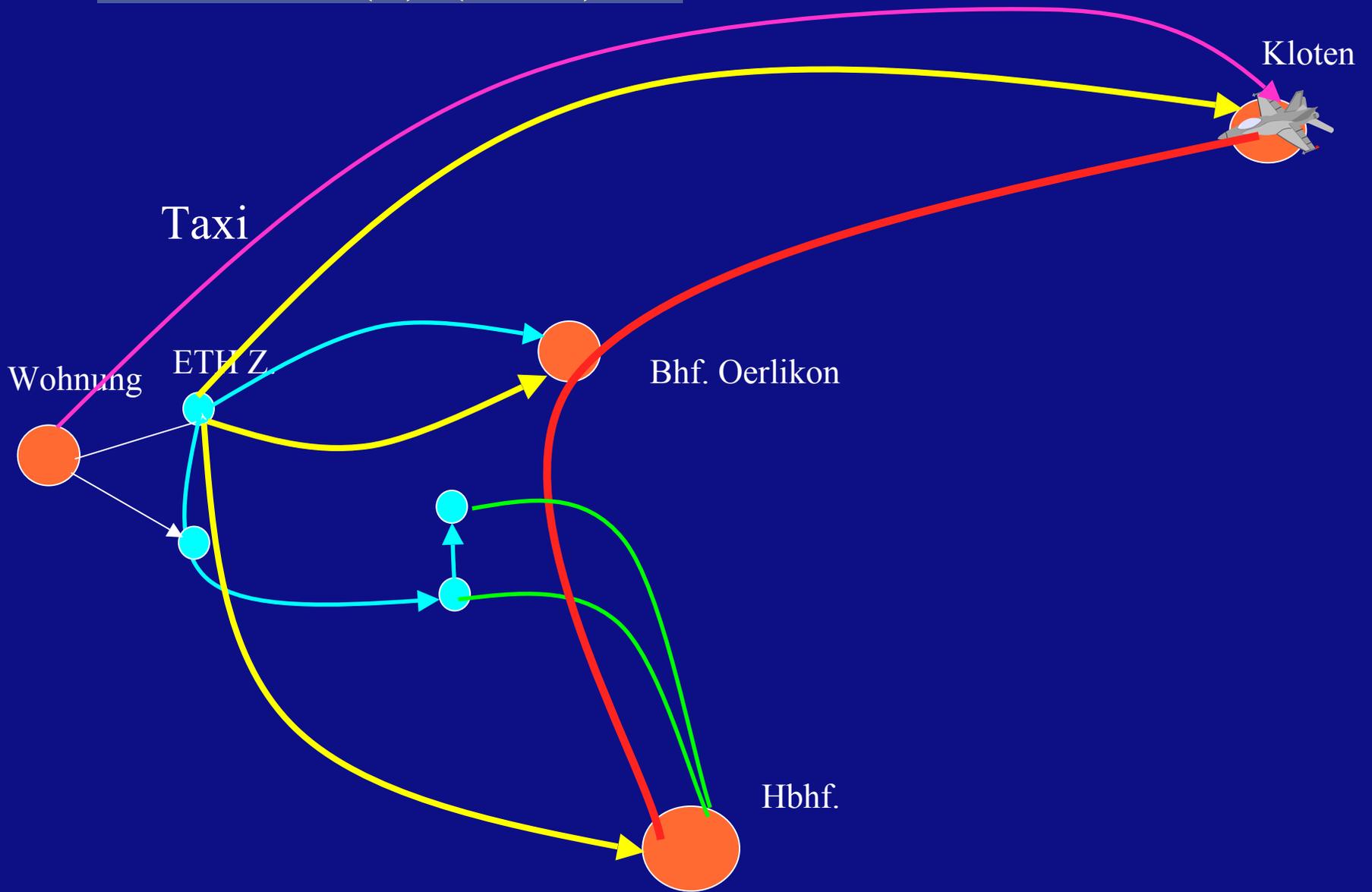
Route Nr. 4 : Bus, Tram, Bahn



Routen Nr. 5, 6, 7: Bringen Pkw



Route Nr (8) (Taxi)

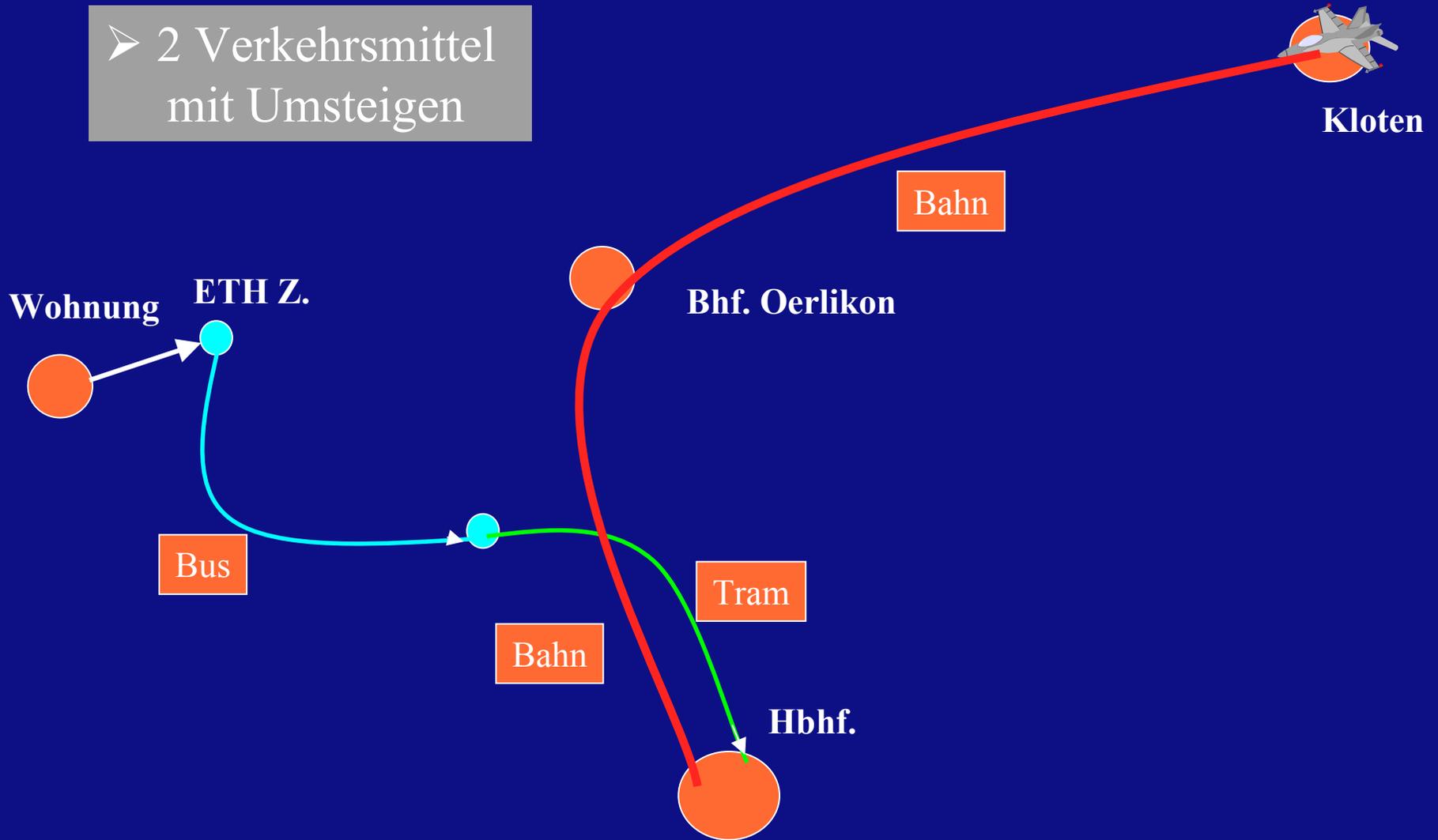


Was steht Ihnen bevor? → Übersicht

- **Problem Multimodalität und Planungsrelevanz**
- **Empirische Fakten über intermodale Mobilität**
- **Modellierung der komplexen Verkehrsmittelwahl**
- **Geschätzte Verhaltensparameter bei intermodaler Mobilität**
- **Verfahren zur multimodalen Verkehrsanalyse/prognose**
- **Ein neuer Ansatz: Routenwahl in Super/Hypernetzen**
- **Anwendungsbeispiel aus den Niederlanden**

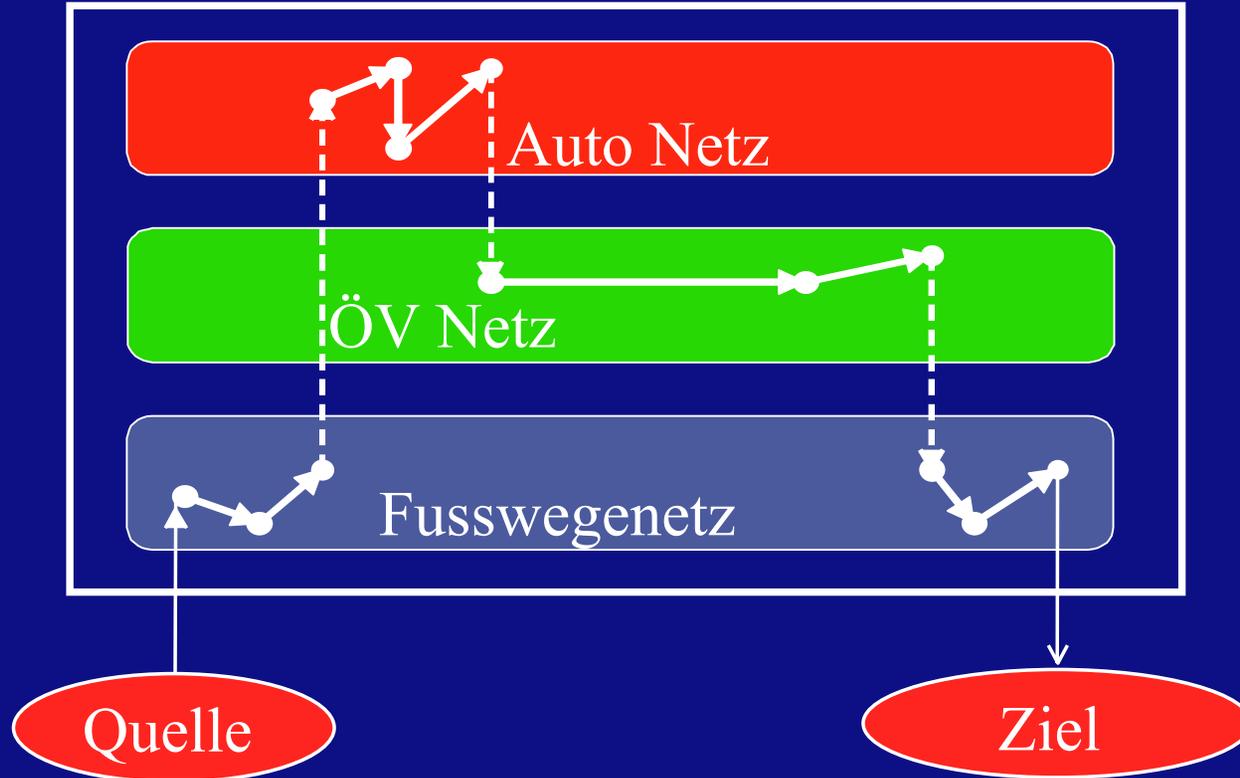
Definition inter-modaler Weg = Transportkette

- 2 Verkehrsmittel mit Umsteigen



Intermodale Wege

Intermodale Wege durchlaufen mehrere unimodale Netze nacheinander, wovon mindestens zwei für mechanisierten Verkehr.



Karakteristika intermodaler Wege

- 3% aller Wege (Niederlande) sind IM (4% in Deutschland)**
- > 20% der Wege zu grösseren Städten sind IM**
- 80% der Wege mit der Bahn sind IM**

- 80% der IM Wege sind mit ÖV**
- 60% der IM Wege sind mit der Bahn**

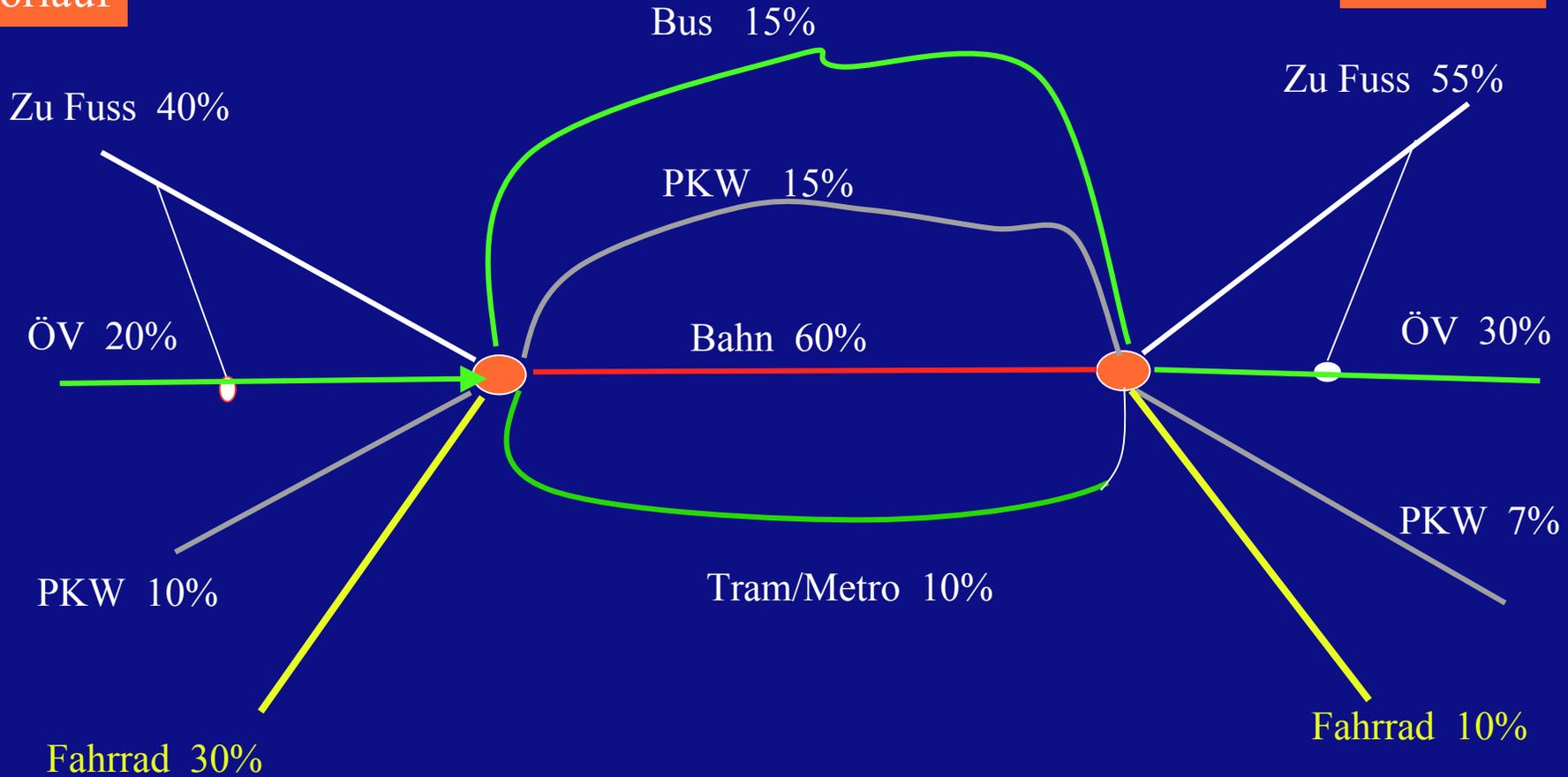
**IM Wege sind vorwiegend: wohnungsgebunden,
interlokal
zu grösseren Städten
zu den Innenstädten
längere Fahrten
für Berufs- und Ausbildungsverkehr**

Verkehrsmittelanteile bei intermodalen Wegen

Vorlauf

Haupttransport

Nachlauf

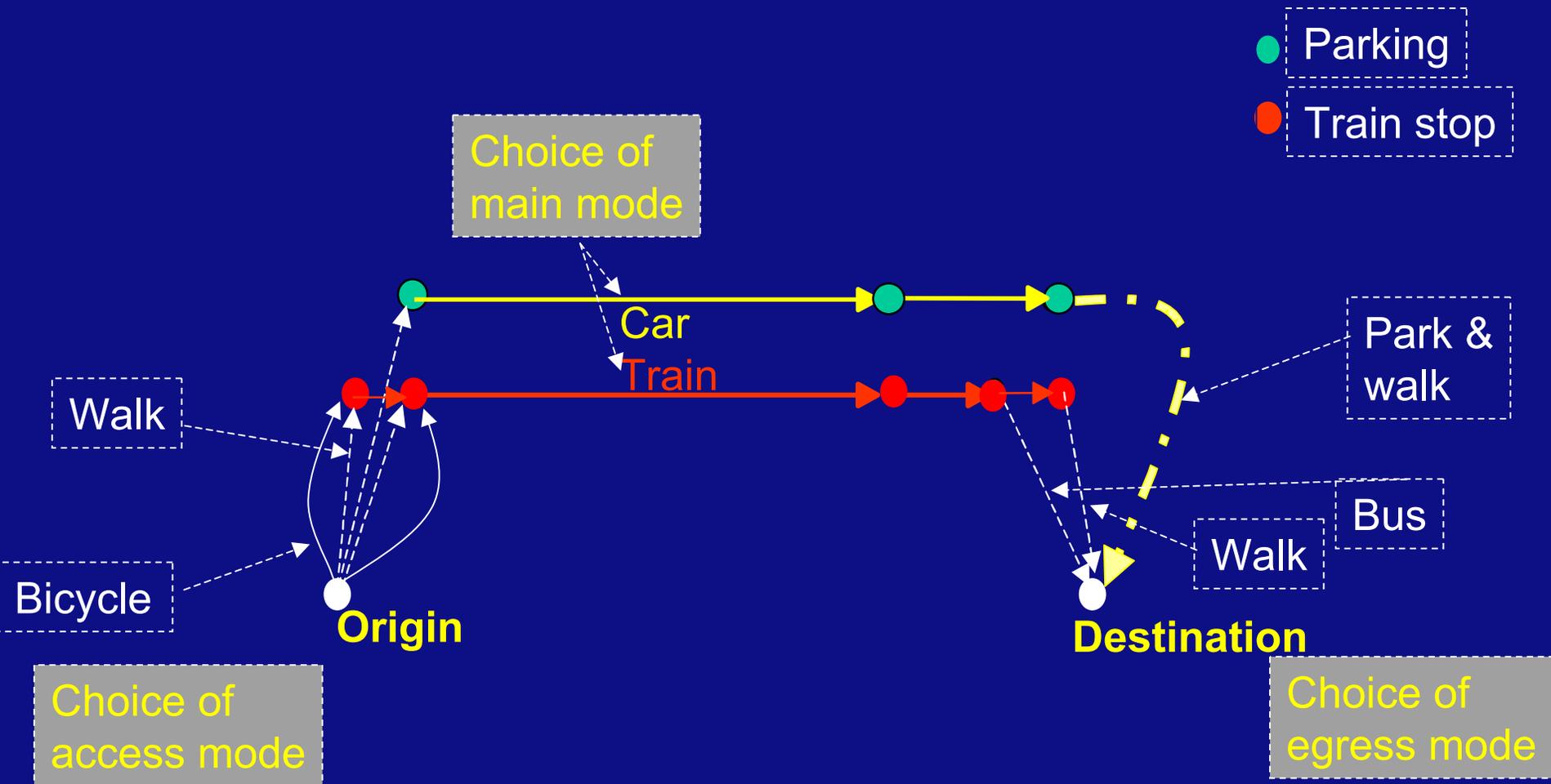


Planungsrelevanz intermodaler Wege

- **IM Personenverkehr ist Nischenmarkt, dennoch wichtig**
- **IM Personenverkehr wichtig für den ÖV**
- **Park & Ride Vorkehrungen**
- **IM Personenverkehr wichtig für die Städte**

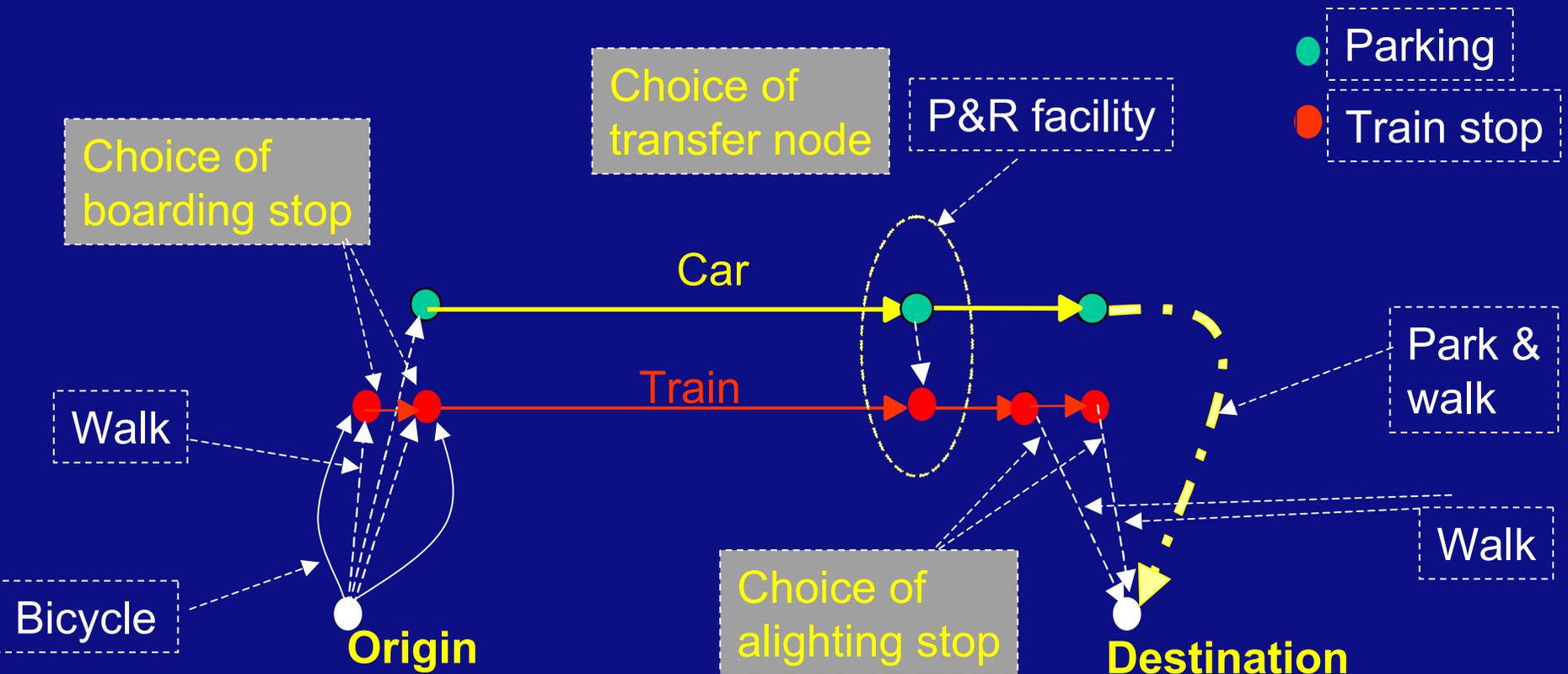
Multi-modale Entscheidungssituation (1)

Multiple mode choices



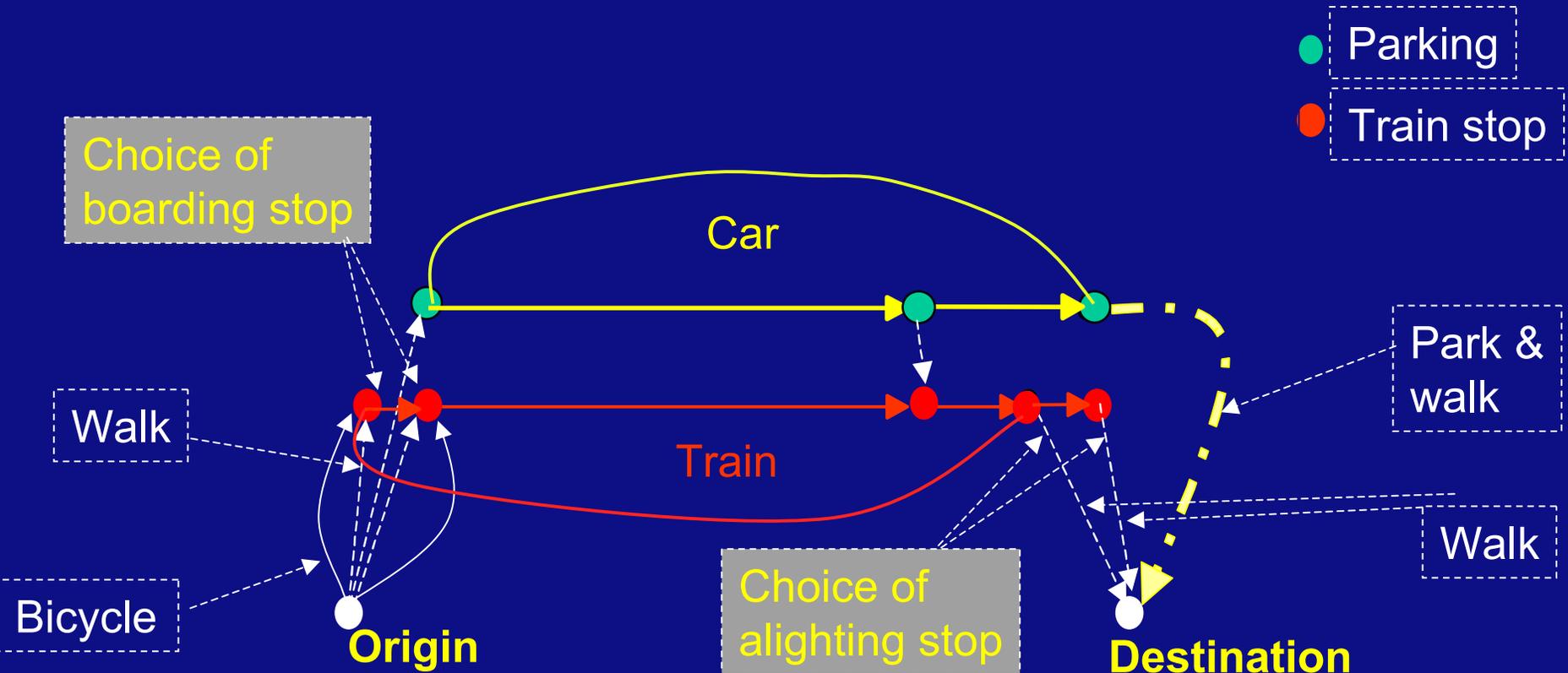
Multi-modale Entscheidungssituation (2)

Multiple stop choices

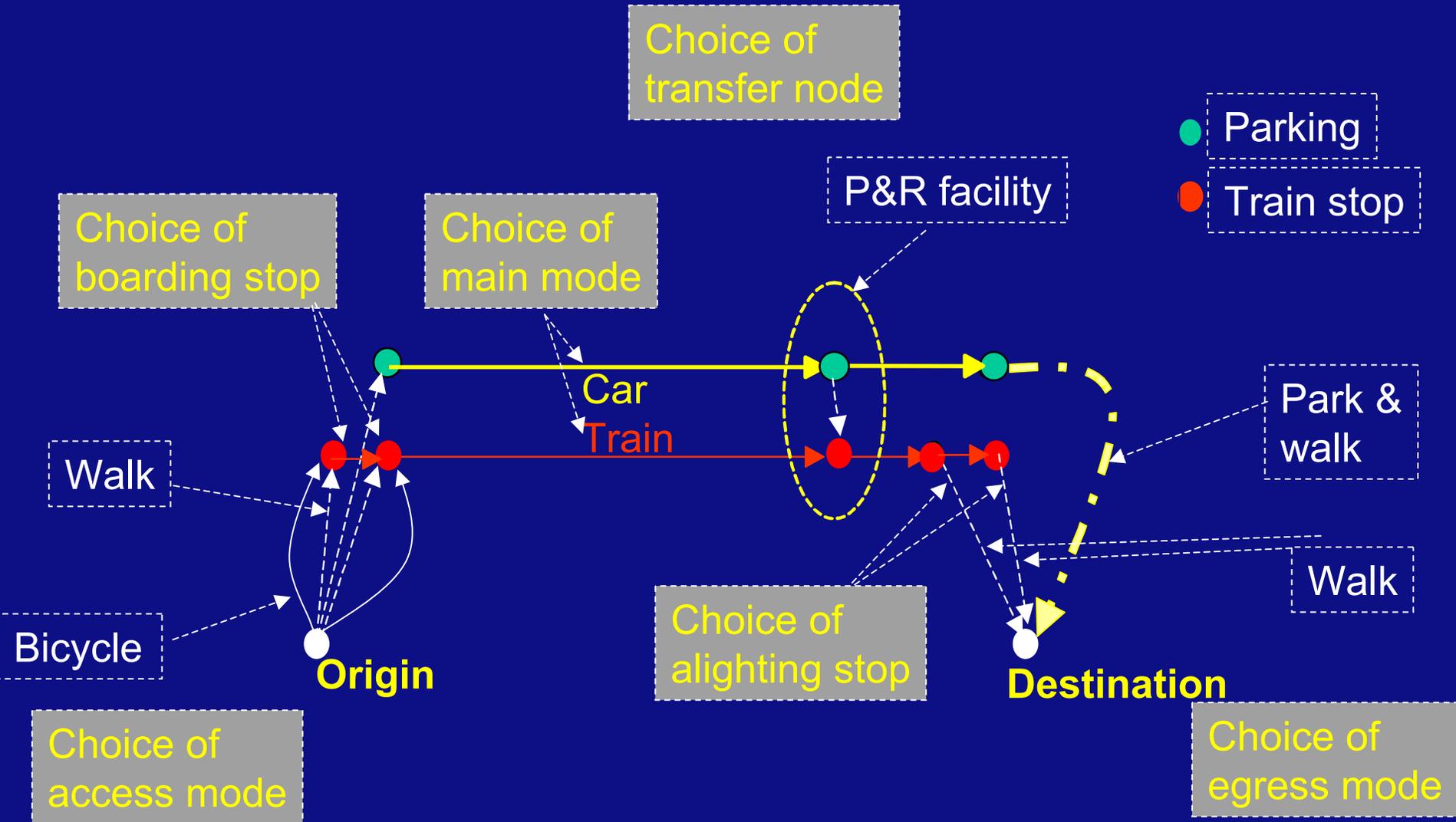


Multi-modale Entscheidungssituation (3)

Multiple route and train type choices



Multi-modale Entscheidungssituation



Empirische Untersuchung der multimodalen Mobilität im Korridor D-R-D-L

Anliegen: Welche Reisealternativen stehen zur Verfügung?
Wie sieht das Entscheidungsverhalten aus?

Methodik: Wahlbasierte Stichproben: Bahn, Bus, und PKW
Von jedem Probanden detailliert festlegen der :

1. durchgeführten Reise
2. subjektiven Alternativenmenge !!
3. objektiven Alternativenmenge !!

Anwendung: interregionaler Verkehr (25 – 100 km)

Stichprobenumfang:	Bahn :	1500
	Regionalbus:	200
	PKW:	100

Verfügbare Reisealternativen intermodaler Wege mit der Bahn (Korridor D-R-D-L)

mit verschiedenen Verkehrsmitteln: 6

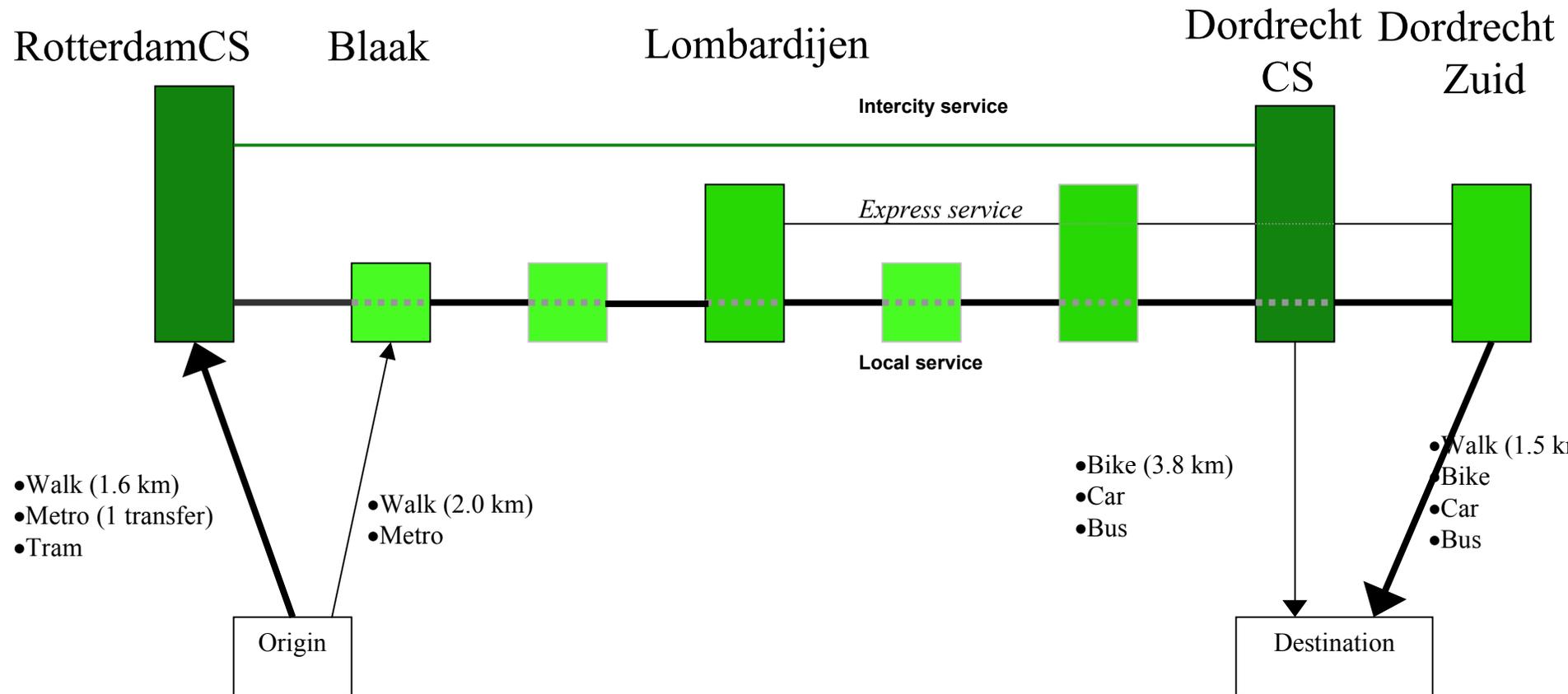


Verschiedene Alternativen: 14 (12)

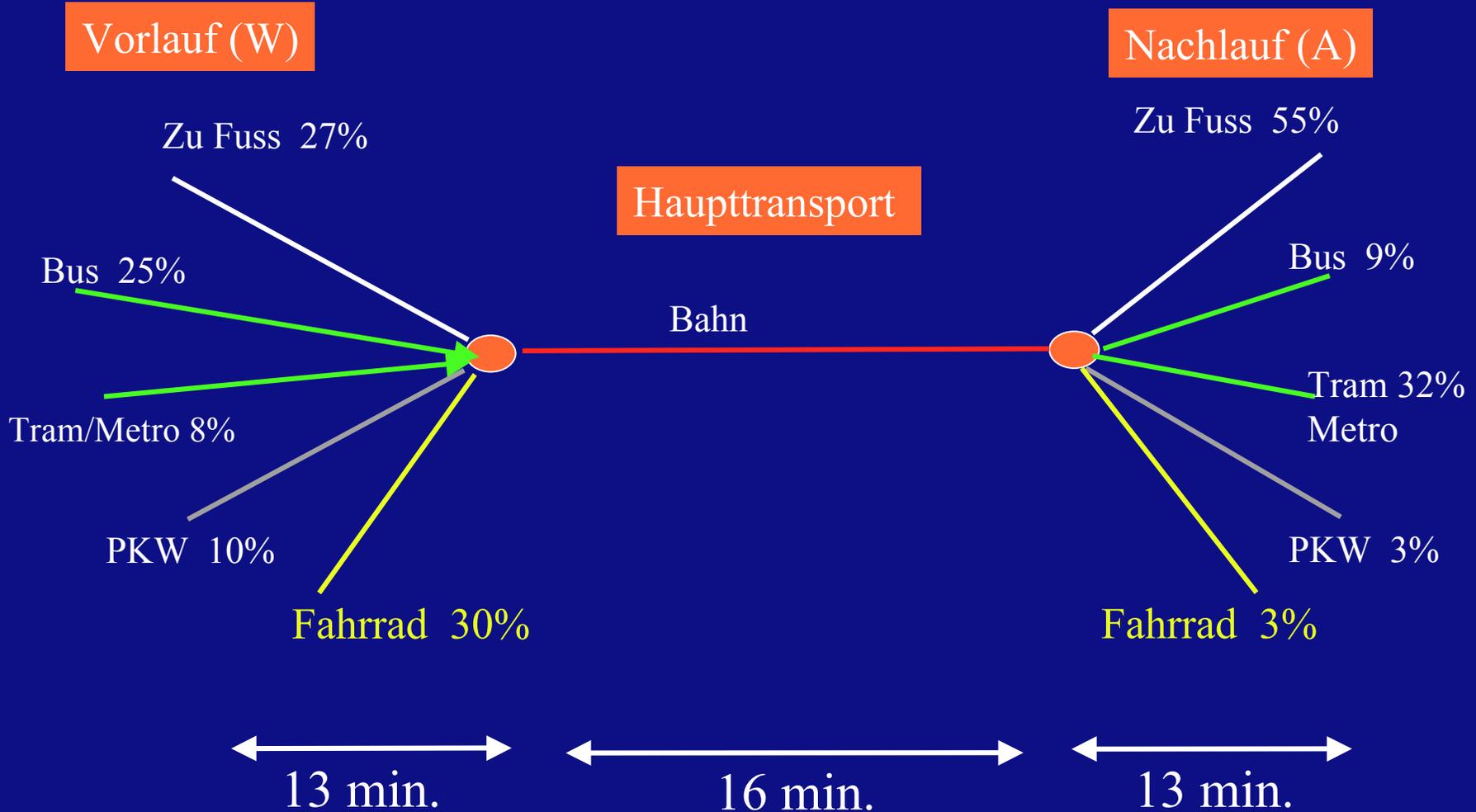
Var: 1 - 62



Route and mode choice alternatives (62) of respondent 41852



Verkehrsmittelanteile bei intermodalen Wegen mit der Bahn (Korridor D-R-D-L)



Relative Gewichte der Zeitkomponenten multi-modaler Wege (Bahnbenutzer)

- **In-Fahrzeug-Zeit Bahn = 1,0**

Vor/Nachlaufzeiten:

- **mit Fuss/Fahrrad/PKW = 1,6**
- **Mit Bus/Tram/Metro = 0,8 !!**

- **Wartezeit erste H-Stelle = 2,2**
- **Wartezeit Bahn-Bahn = 2,2**
- **Gehzeiten (alle) = 2,0**

(Vor/Nachlaufgewichte sind gleich)

Relative Gewichte der Zeitkomponenten multi-modaler Wege (Bahnbenutzer)

Umsteige-Penalty (in Minuten IFZ Bahn):

(Alle ÖV-Kombinationen)

Umstieg auf kurze Folgezeit = 5,7 min

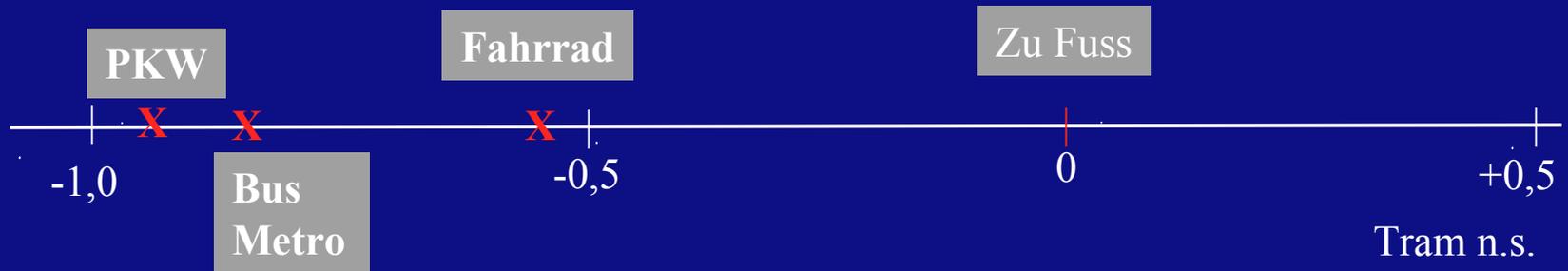
Umstieg auf lange Folgezeit = 11,4 min

(Kurz = < 10 min.)

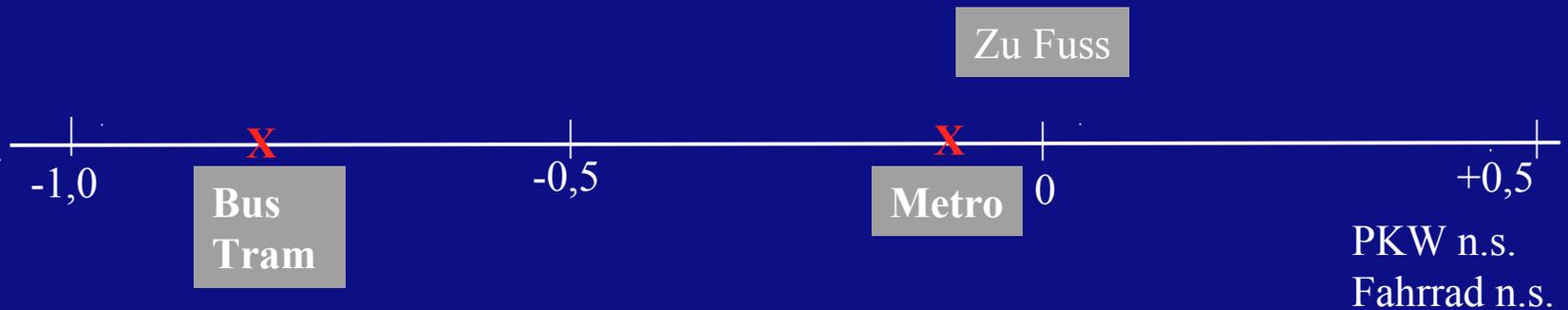
Verkehrsmittelspezifische Konstanten des Vorlaufs und Nachlaufs (Bahnreisende)

Geschätzt mit NL-4

Wohnungsseite

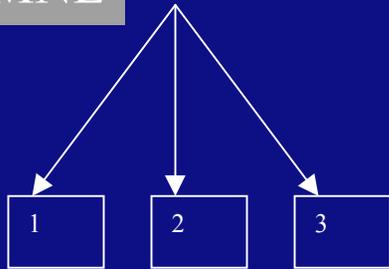


Aktivitätenseite

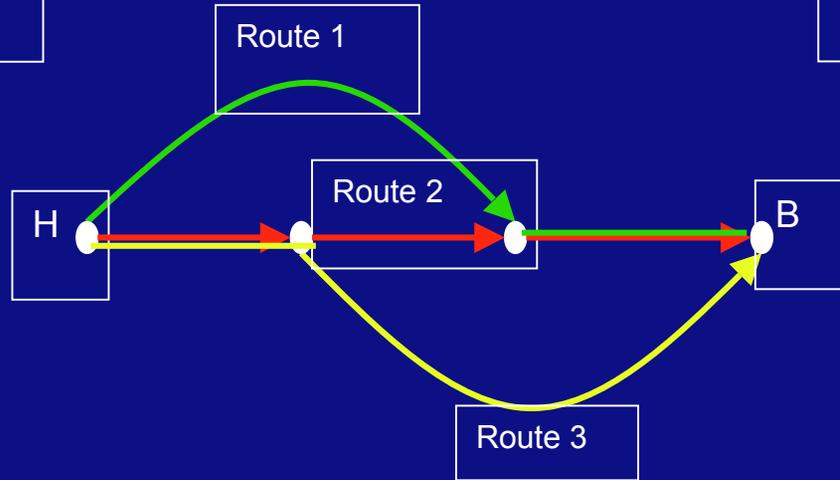
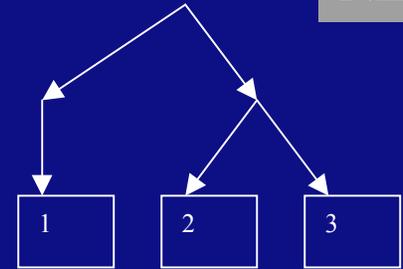


Entscheidungsmodellstrukturen für multimodale Wege

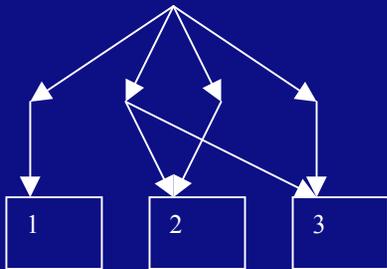
MNL



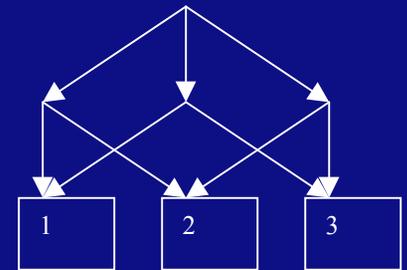
NL



CNL oder PD

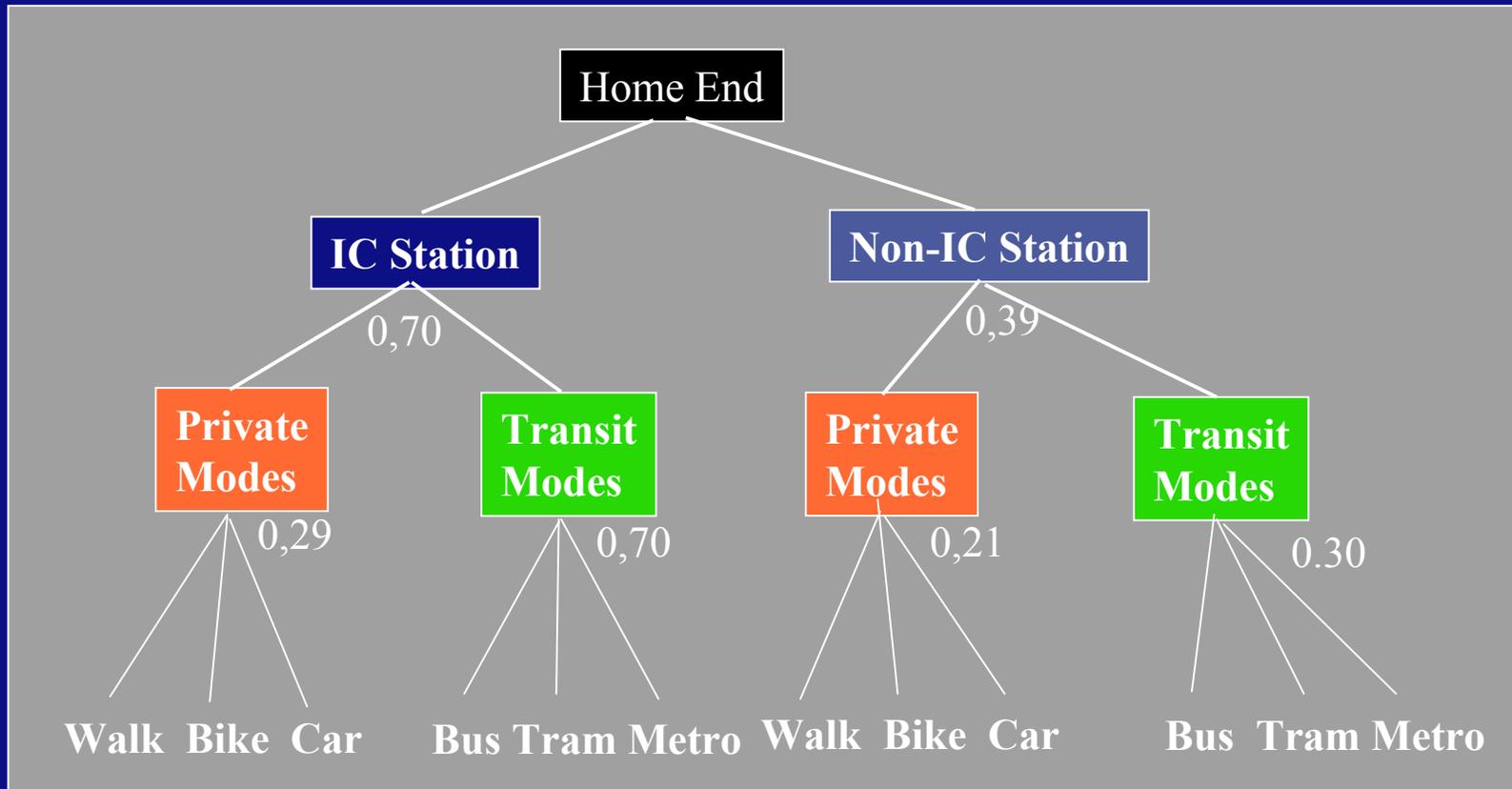


PCL



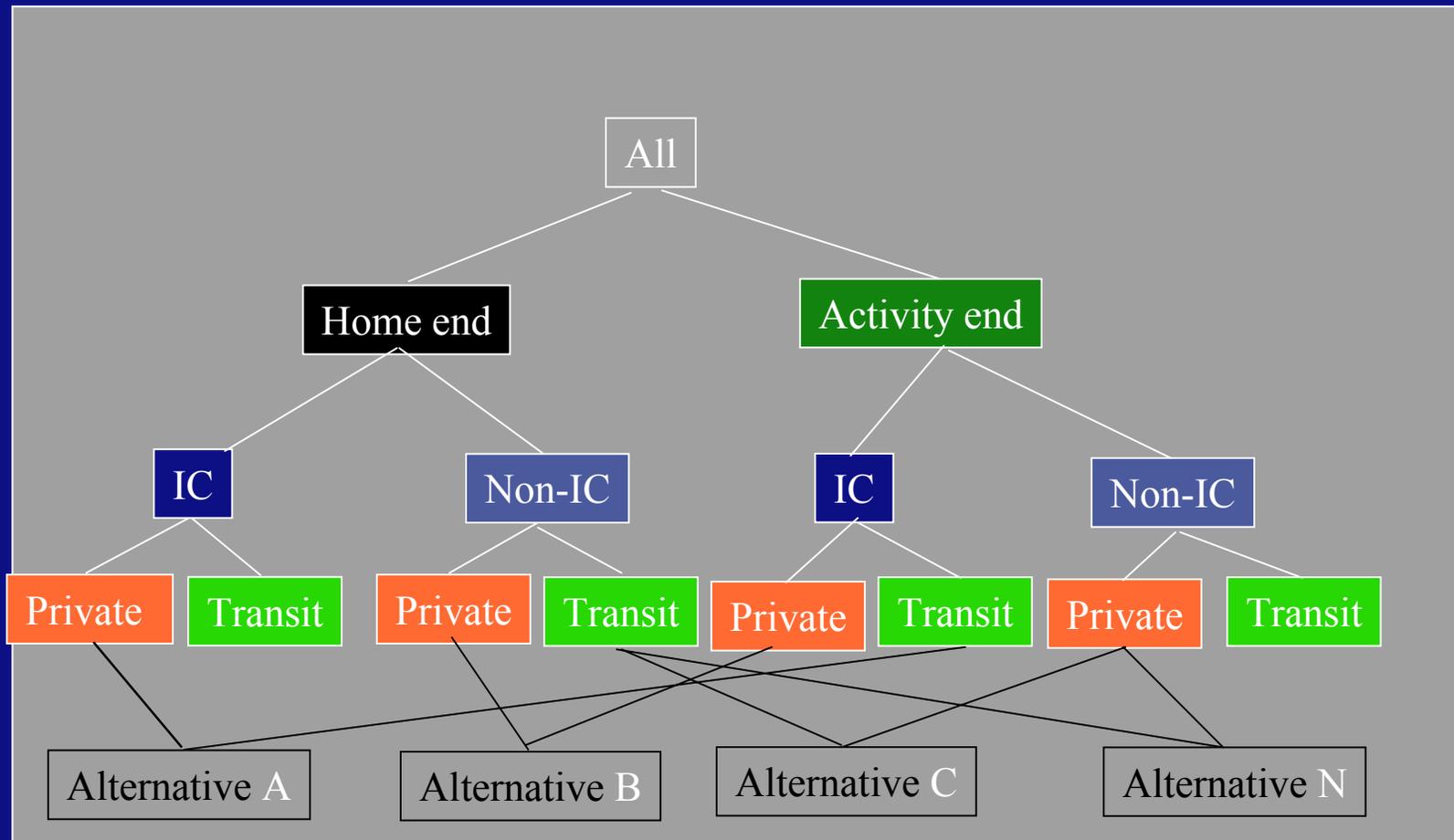
Nest-Struktur multi-modaler Wege der Bahnbenutzer (Optimales NL-Modell)

Geschätzt mit NL-4

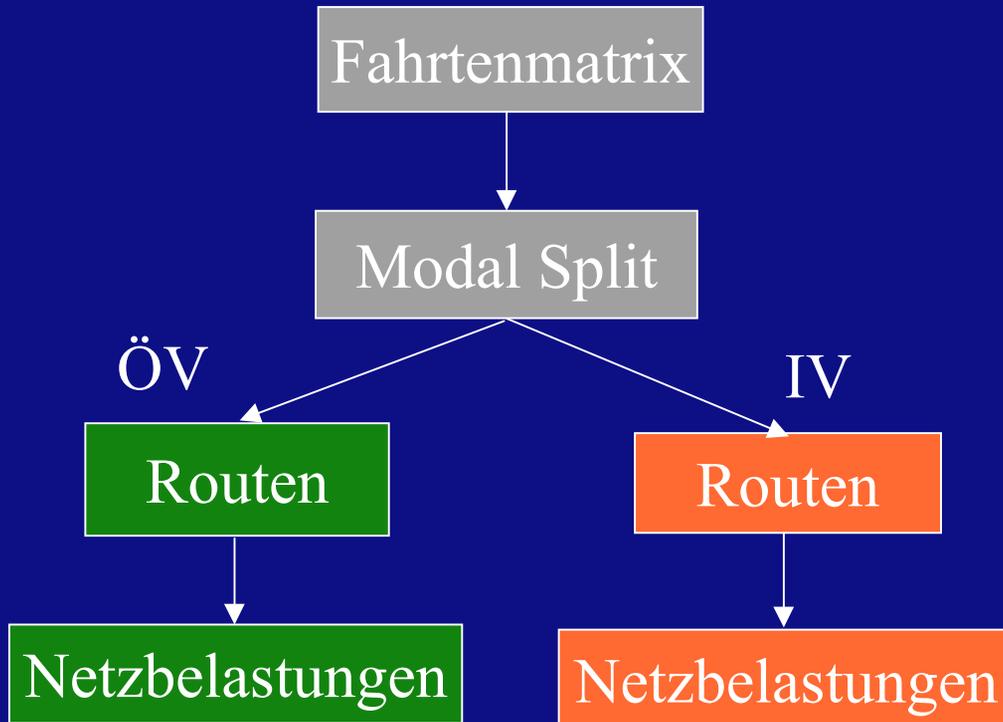


0,xx = logsum Parameter

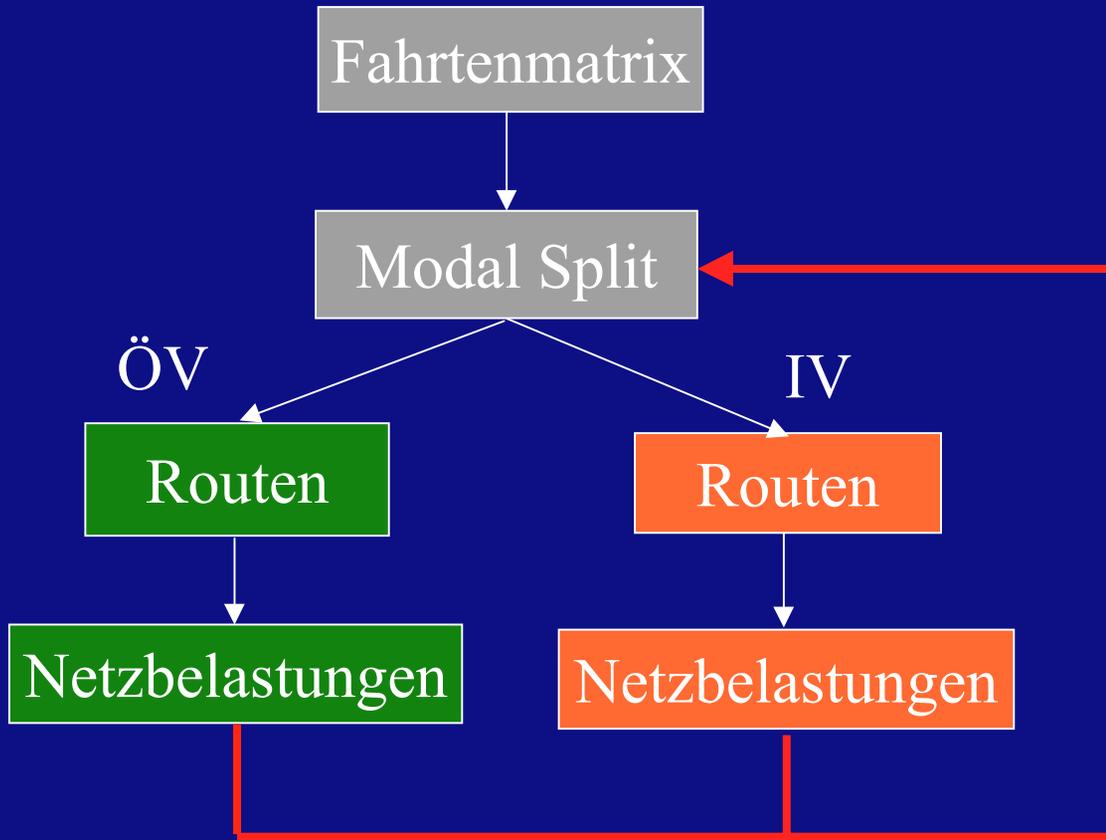
Erweiterte Nest-Struktur multi-modaler Wege der Bahnbenutzer (CNL- oder PD-Modell)



Multi-modale Analyse/Prognoseverfahren



Multi-modale Analyse/Prognoseverfahren

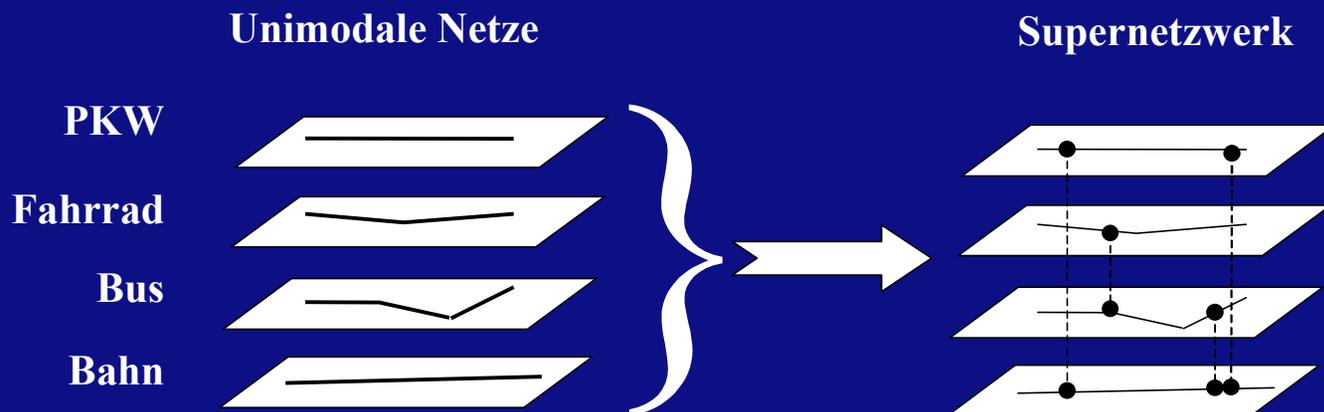


Übersicht möglicher multimodaler Verfahren

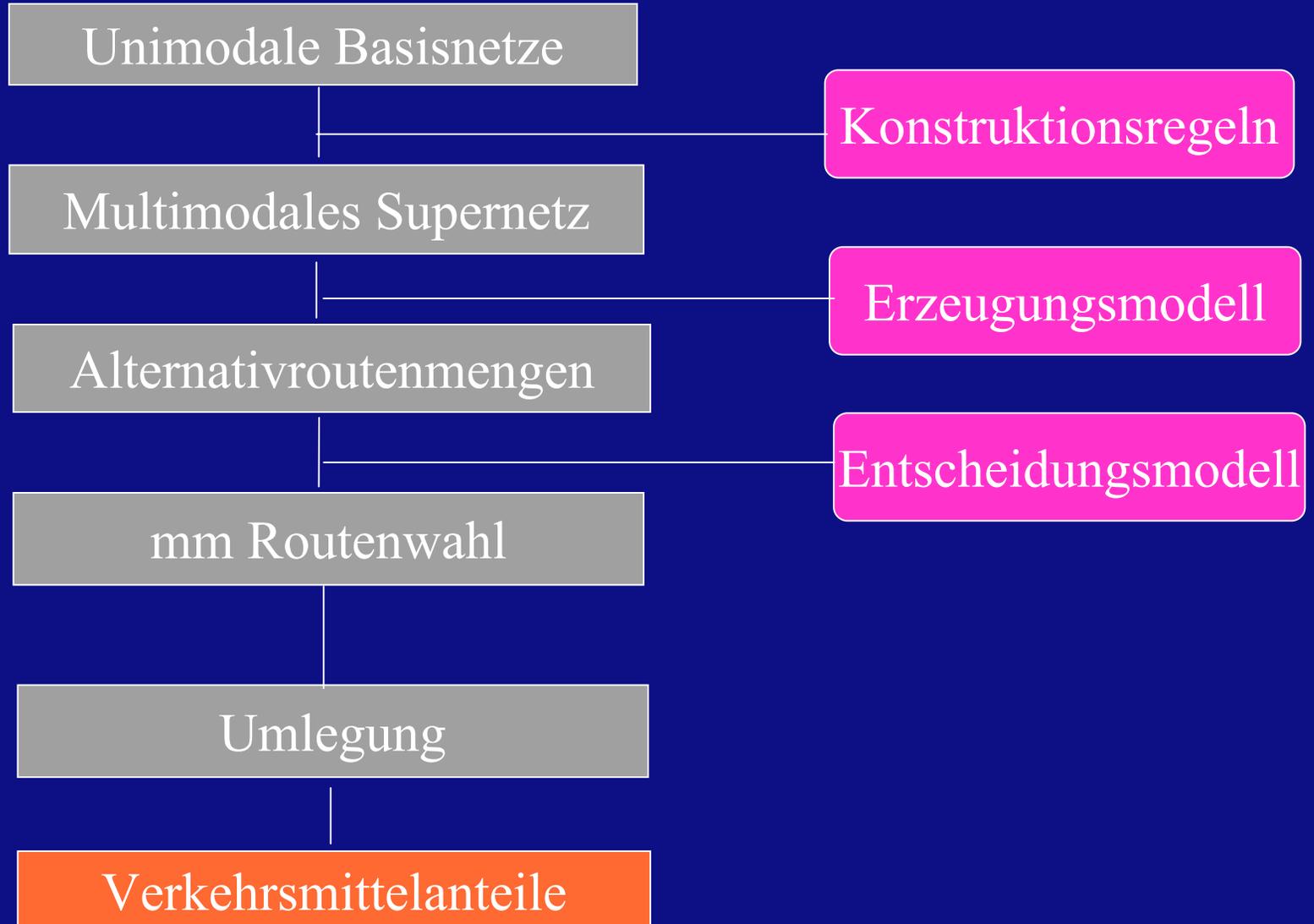
Modeltyp Eigenschaft	Unimodal classic	Multi- modal	Multimodal extended	Intermodal fixed	Intermodal free
Mode/route split	sequentiell	sequent.	simultan	sequentiell	simultan
Belastungs- feedback ?	nein	ja	ja	ja	ja
Modale Netze	getrennt	getrennt	gekoppeld	getrennt	integriert
combined modes ?	nein	nein	nein	ja	ja
Mixed modal flows ?	nein	nein	nein	ja	nein
Route choice	determin.	det.eq.	stochastic	det.equil.	stochastic

Supernetzwerk?

Ein *Supernetzwerk* ist aufgebaut als eine Kombination von unimodalen Netzen mit Verbindungsstrecken dazwischen, so dass unterschiedliche Entscheidungen gemeinsam als eine Routenwahl im Supernetzwerk modelliert werden können.

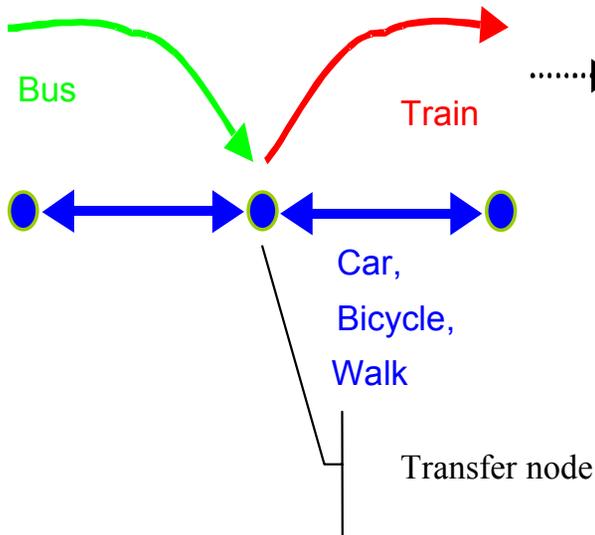


Verfahren der Verkehrsanalyse im multimodalen Supernetz

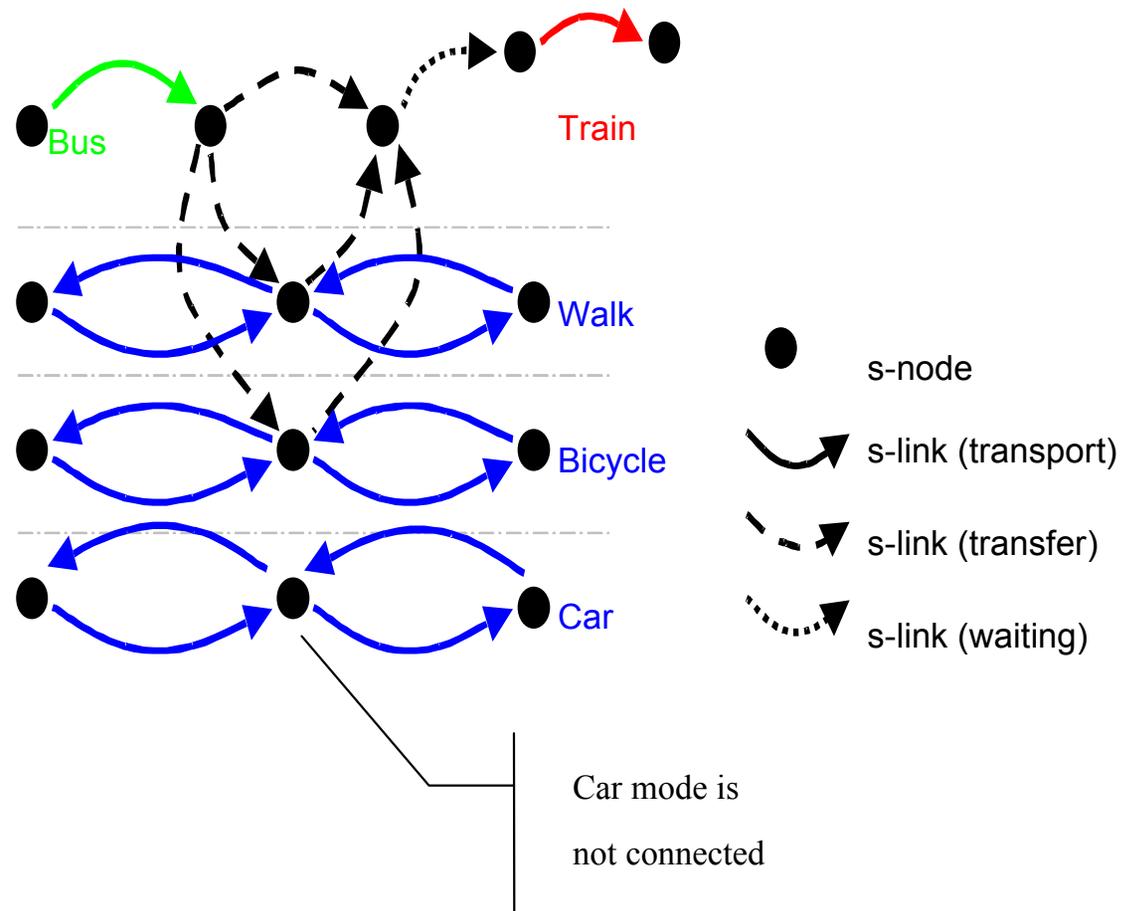


Methodik der automatischen Supernetz Konstruktion

Base network



Supernetwork



Erzeugung der Alternativroutenmengen

Anwendung nutzerspezifischer Widerstandsfunktionen

Verfahren zur Erzeugung von Routenmengen :

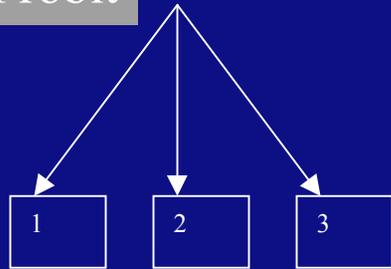
- + Stochastische Simulation kürzester Routen
- + Constrained K-shortest paths generation (deterministic)
(Form, Umweg, Reihenfolge, etc)
- + Labelled shortest paths

Berechnung der Auswahlwahrscheinlichkeiten

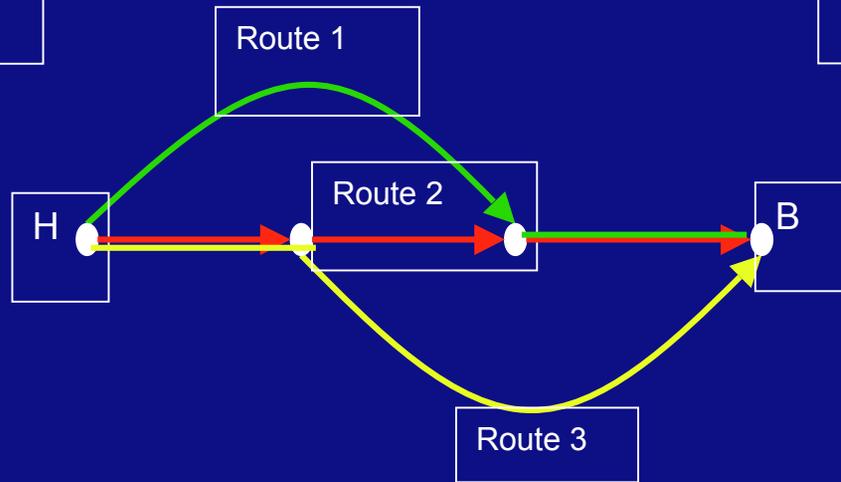
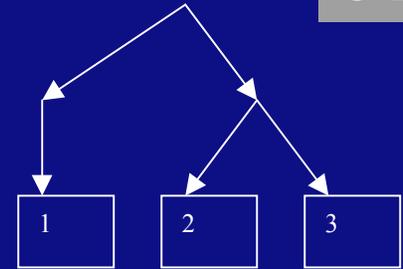
- **Ausgangspunkt: → mehrere Benutzergruppen mit verschiedenen Widerstandsfunktionen**
- **Teil-Überlappung der Routen verlangt Berücksichtigung**
- **Ähnlichkeiten der Widerstände und Routen verlangt Mehrwegansatz**
- **Paired Combinatorial Logit (PCL) verglichen mit Probit und MNL: → PCL angewendet**

Entscheidungsmodellstrukturen für multimodale Wege

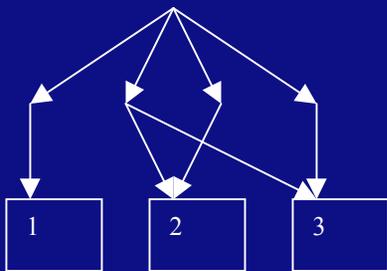
Probit



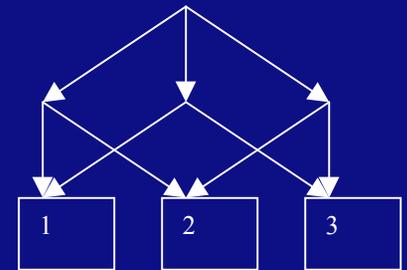
C-Logit



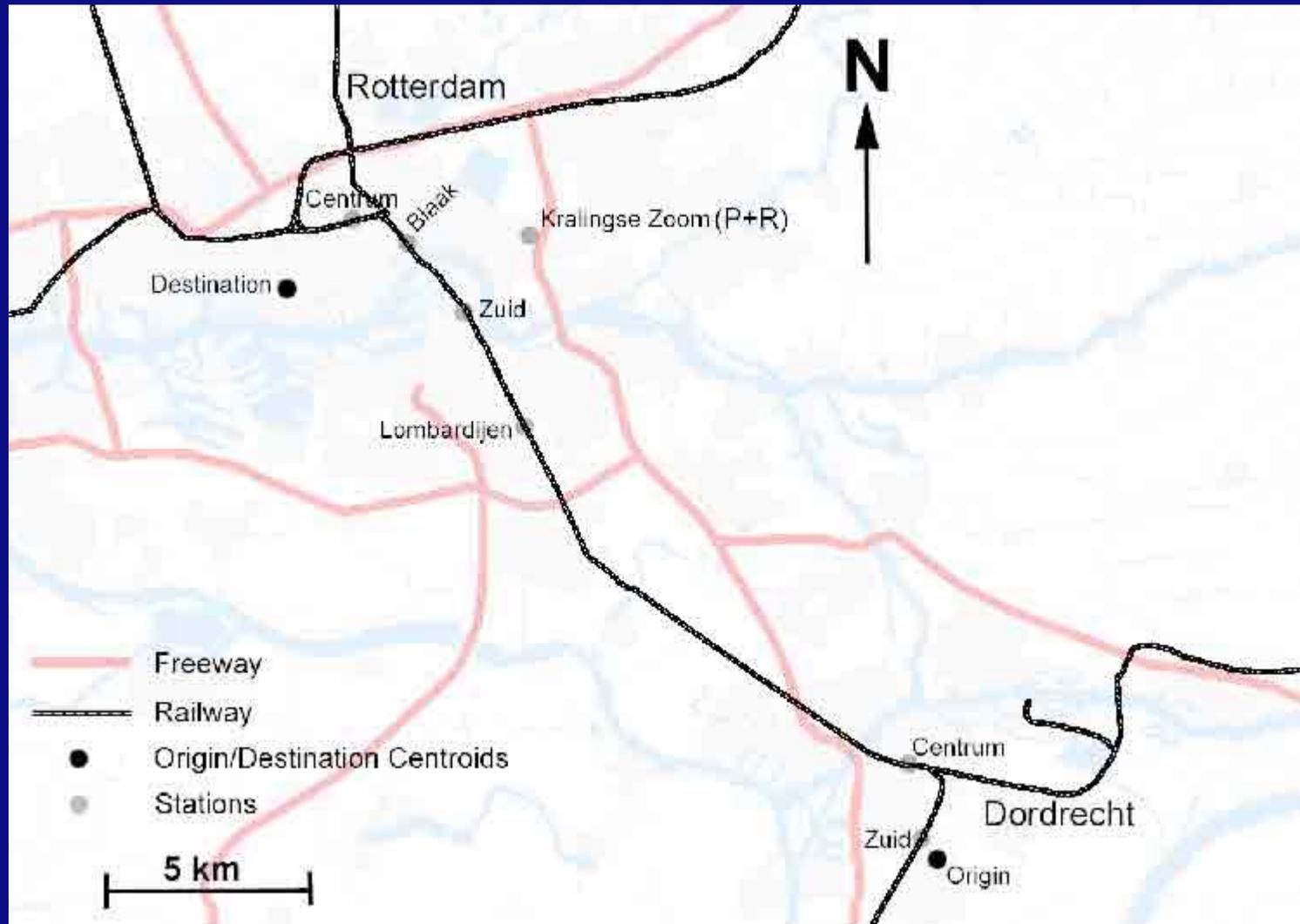
CNL oder PD



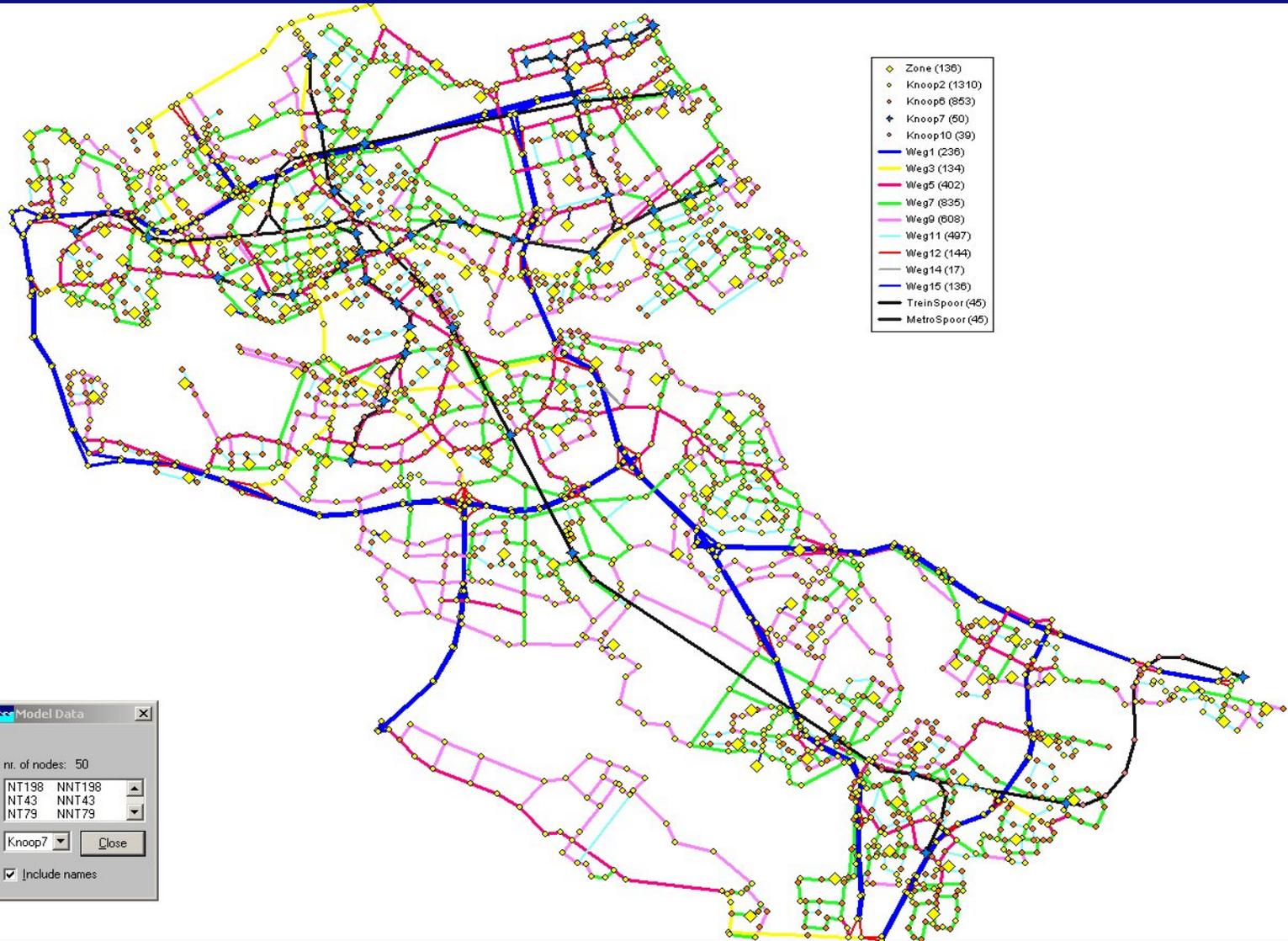
PCL



Hauptverbindungen Korridor Rotterdam-Dordrecht



Netzmodell Korridor Dordrecht-Rotterdam



Vergrößerung des Supernetzmodells

Base network

Knoten 2,388

Transfer nodes 903

Centroids 136

Strecken 3,099

ÖV-Linien 134

Bus 66

Tram 99

Metro 4

Bahn 55

ÖV Lin.-Segmente 2744

Supernetwork

Knoten 5,836 **X 2,4**

Strecken 22,498 **X 7,3**

Fahrstrecken 19,631

PKW 3,454

Fahrrad 3,984

zu Fuss 3,984

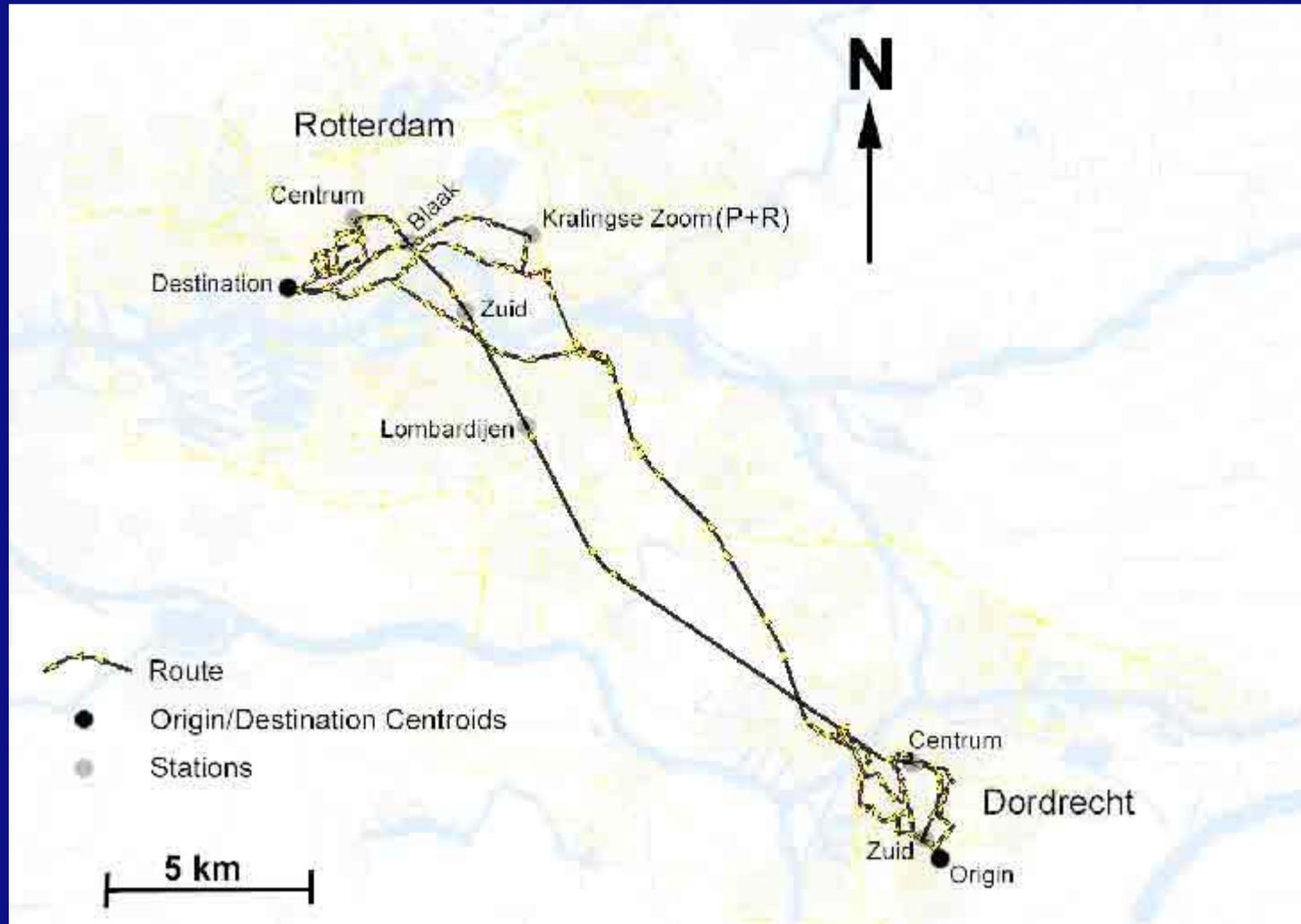
ÖV 8,209

Umsteigstrecken 1,884

Wartestrecken 983

Factor

(Multi)modale Wegemöglichkeiten einer Q-Z Beziehung im Korridor D-R



Karakteristika der generierten Alternativenmenge

Dordrecht Centrum - Alexander

Kategorie Hauptmodus	Anzahl Routen	Vorlauf- Modi	Nachlauf- Modi	Reisezeit (min)
PKW	3	--	P+R	27 - 37
Bahn - Bahn	6	Fuss Fahrrad	Metro Fuss	43 - 58
Bahn - Metro	8		Fahrrad	50 - 62
Bus	8			54 - 70

Insgesamt | 25

Karakteristika der generierten Alternativenmenge

Dordrecht Stadspolders – Rotterdam Spangen

Kategorie Hauptmodus	Anzahl Routen	Vorlauf- Modi	Nachlauf- Modi	Reisezeit (min)
PKW	7	--	P+R	38 – 61
Bahn - Bahn	6	PKW Bus	Metro Fuss	52 – 90
Bahn - Metro	4	Fuss Fahrrad	Fahrrad Tram	60 – 98
Bus	2	Fuss Fahrrad		78 – 104
Insgesamt	19			

Entscheidungsmodell (PCL)

Paired Combinatorial Logit

$$P_i = \sum_{j \neq i} P_{i|ij} P_{ij}$$

$$P_{i|ij} = \frac{\exp\left(\frac{\mu V_i}{1 - \sigma_{ij}}\right)}{\exp\left(\frac{\mu V_i}{1 - \sigma_{ij}}\right) + \exp\left(\frac{\mu V_j}{1 - \sigma_{ij}}\right)}$$

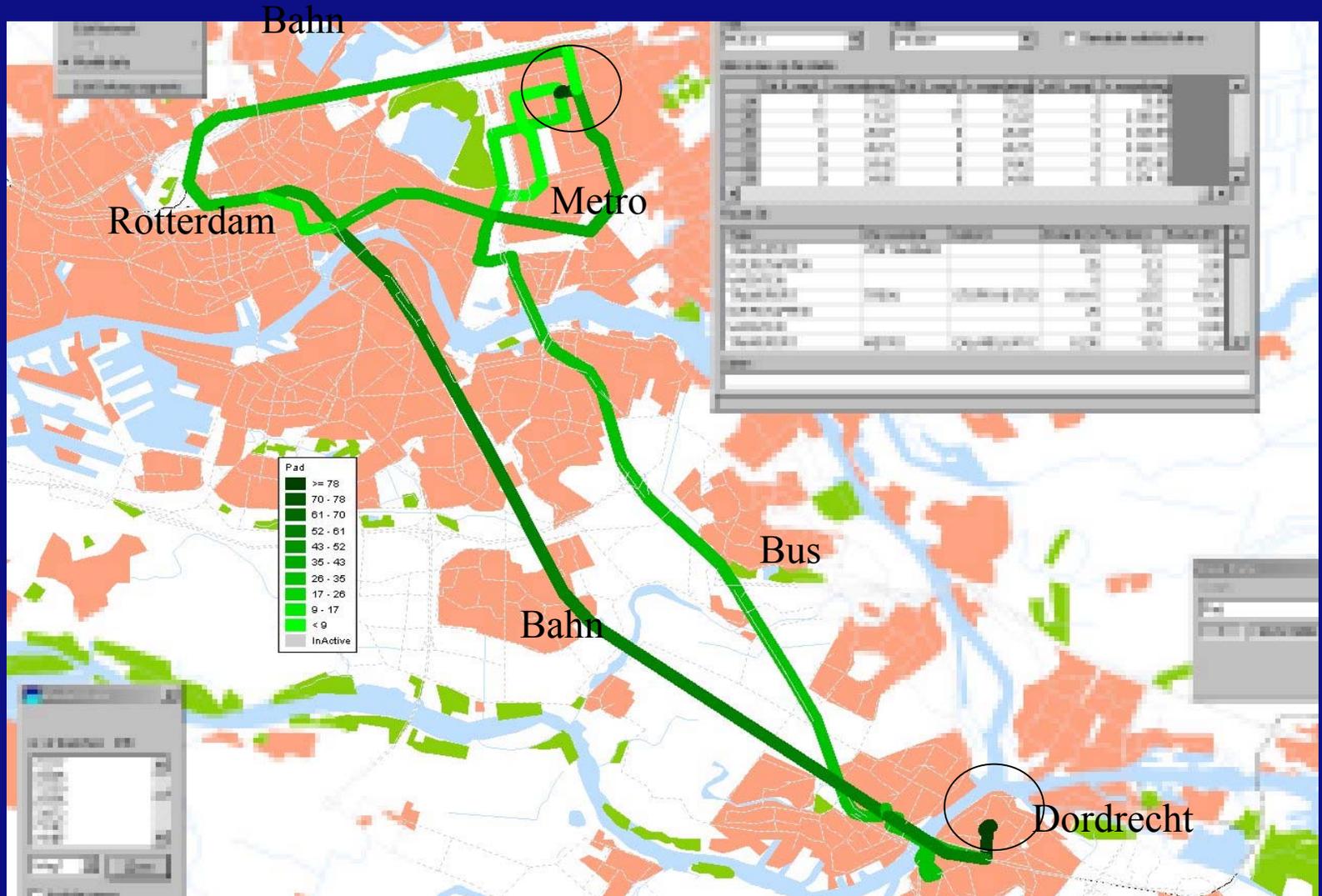
$$P_{ij} = \frac{(1 - \sigma_{ij}) \left(\exp\left(\frac{\mu V_i}{1 - \sigma_{ij}}\right) + \exp\left(\frac{\mu V_j}{1 - \sigma_{ij}}\right) \right)^{1 - \sigma_{ij}}}{\sum_{k=1}^{n-1} \sum_{m=k+1}^n (1 - \sigma_{km}) \left(\exp\left(\frac{\mu V_k}{1 - \sigma_{km}}\right) + \exp\left(\frac{\mu V_m}{1 - \sigma_{km}}\right) \right)^{1 - \sigma_{km}}}$$

Aufbau generierter Routen

Nr	Modes used and the related distances travelled										Total	
	Access		Main				Egress					
	Mode	Dist	Mode	Dist	Mode	Dist	Mode	Dist	Mode	Dist	Dist	Time
1					Car	26.0					26.0	35.3
2					Car	24.9					24.9	37.8
3					Car	26.2					26.2	35.3
4					Car	27.1	Metro	6.5	Walk	0.2	27.1	42.3
5			Bicycle	3.7	Train	19.8	Bicycle	3.3			26.8	58.8
6			Bicycle	3.5	Train	19.8	Bicycle	3.3			26.6	58.1
7			Bicycle	3.5	Train	19.8	Bicycle	3.3			26.6	58.0
8			Bicycle	3.5	Train	19.8	Bicycle	3.3			26.7	58.3
9			Bicycle	3.5	Train	19.8	Bicycle	3.3			26.7	58.2
10			Bicycle	3.5	Train	19.8	Bicycle	3.3			26.7	58.3
11			Bicycle	3.5	Train	19.8	Bicycle	3.3			26.7	58.2
12			Bicycle	0.7	Train	22.2	Bicycle	3.3			26.3	58.6
13			Bicycle	0.7	Train	22.2	Bicycle	3.3			26.3	58.7
14			Bicycle	0.7	Train	22.2	Tram	3.1	Walk	0.2	26.3	61.1
15			Bicycle	3.7	Train	19.8	Tram	3.1	Walk	0.2	26.8	61.3
16			Bicycle	3.5	Train	19.8	Tram	3.1	Walk	0.2	26.7	60.6
17			Bicycle	3.5	Train	18.1	Metro	3.3	Walk	0.2	25.3	62.0
18			Bicycle	5.0	Train	16.1	Metro	3.3	Walk	0.2	24.7	66.4
19			Walk	0.7	Train	20.6	Metro	3.3	Walk	0.2	24.9	63.6
20			Walk	0.7	Train	22.2	Tram	3.1	Walk	3.1	26.3	66.2
21	Walk	0.7	Bus	2.9	Train	19.8	Tram	3.1	Walk	0.2	26.7	59.4
22	Walk	0.7	Bus	2.9	Train	18.1	Metro	3.3	Walk	0.2	25.3	60.8

Umlegungsergebnis für ÖV-captives

Dordrecht CS- R-Alexander



Fazit intermodaler Modellansatz (1)

- **Intermodale Wege sind ein kleiner Markt, dennoch sehr wichtig für die Planung.**

Komplexe Entscheidungssituation bei intermodalen Wegen verlangt angemessenen Ansatz für die Verkehrsmittelwahl.

Routenwahl in Supernetzen ermöglicht simultane Lösung verschiedener Entscheidungsebenen.

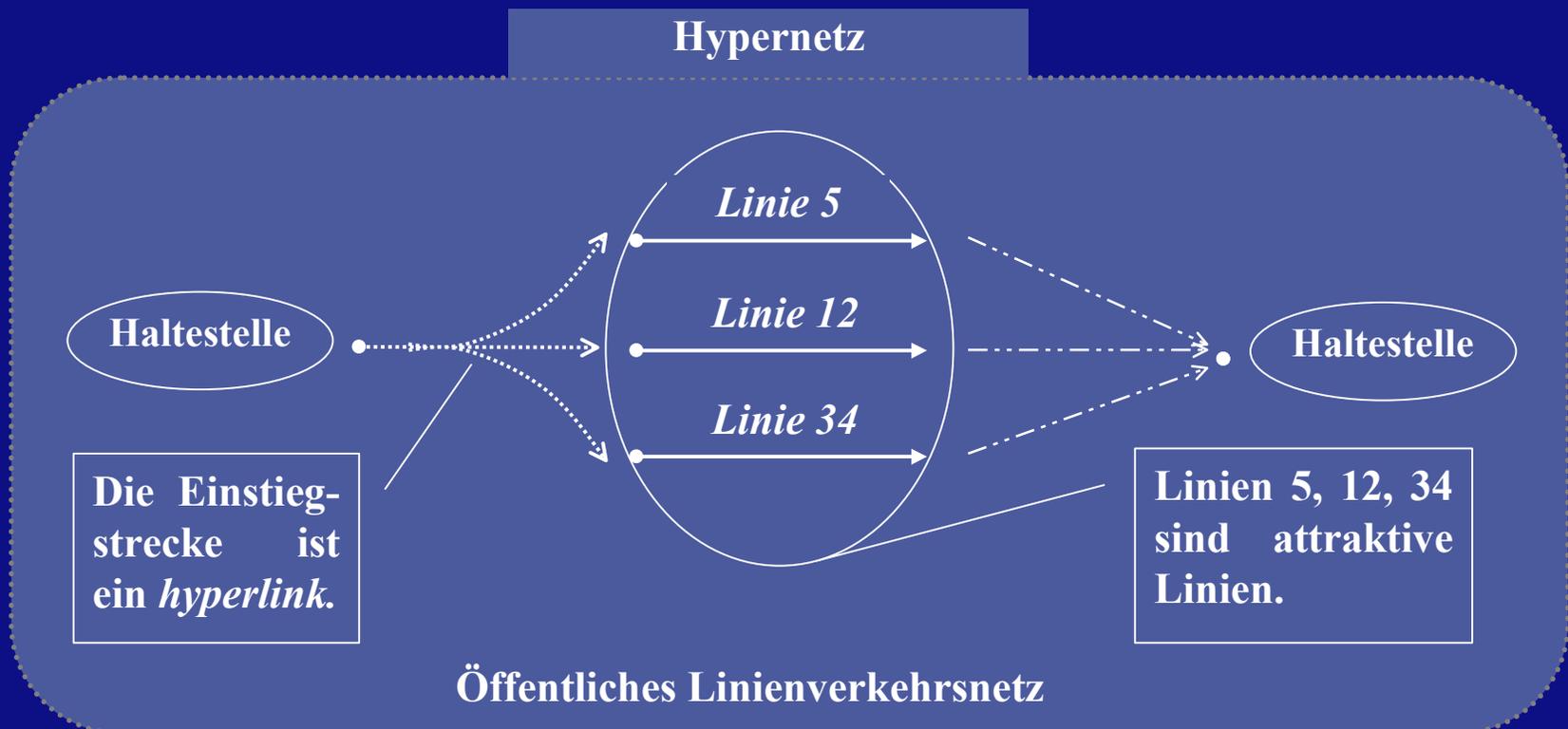
Der Supernetzansatz erweist sich als praktisch ausführbar und als wissenschaftlicher Fortschritt.

Fazit Supernetzansatz der Verkehrsmittelanalyse (2).

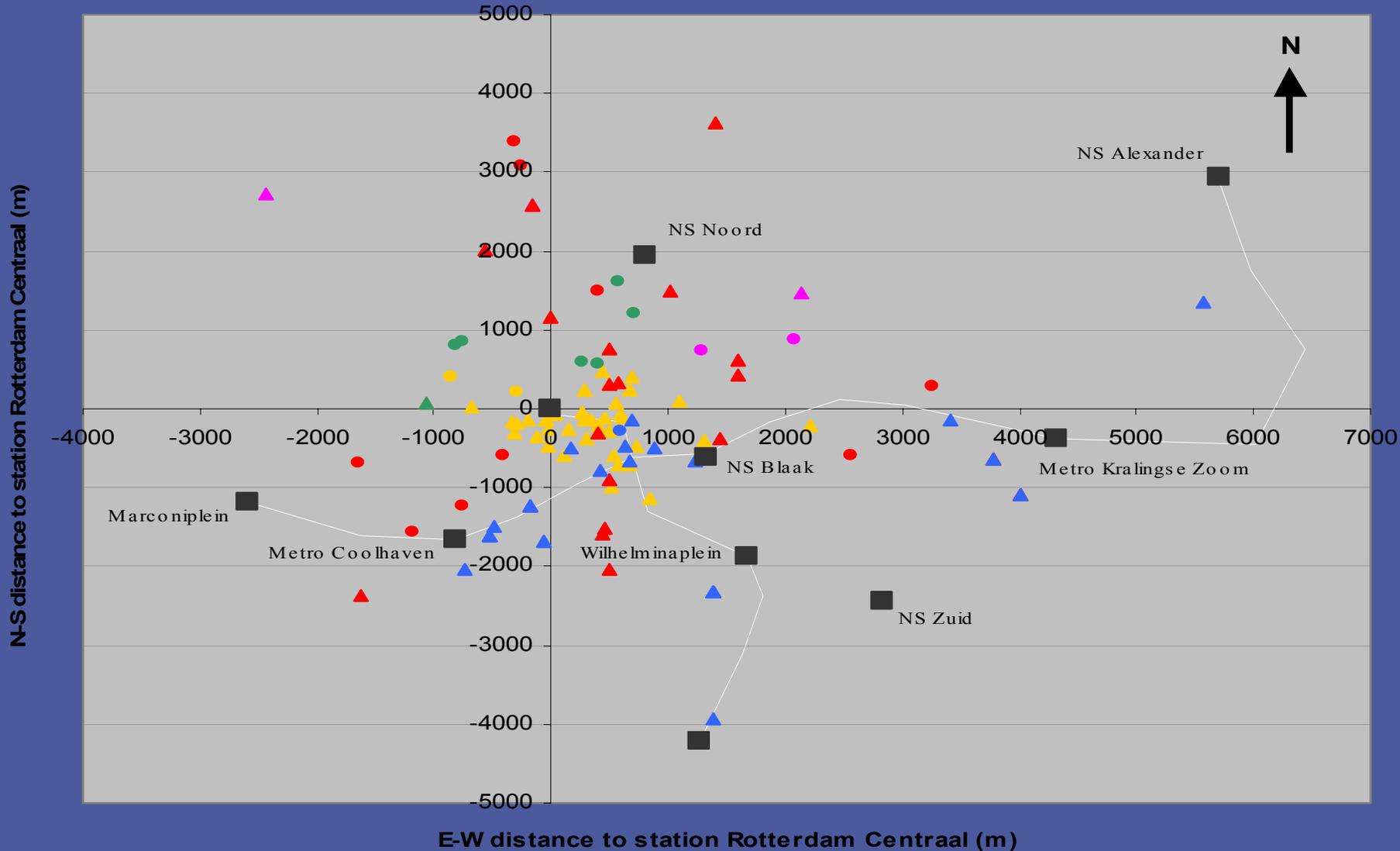
- **Automatische Konstruktion von Supernetzen aus unimodalen Netzen ist ausführbar,**
- **Netzmodellgrösse ist kein Arbeitshindernis.**
- **Trennung von Routenerzeugung und Routenwahl ist vorteilhaft und ausführbar.**
- **Routenerzeugungsalgorithmen mit gruppenspezifischen Funktionen liefern realistische mm/im Alternativenmengen.**
- **PCL Modell liefert plausible Resultate für die multimodale Routenwahl.**

Hypernetz oder Supernetz?

Ein *Hypernetzwerk* ist eine Modellnetzform, welche mittels sogenannter *Hyperlinks* mehrere Knoten gleichzeitig verbindet.

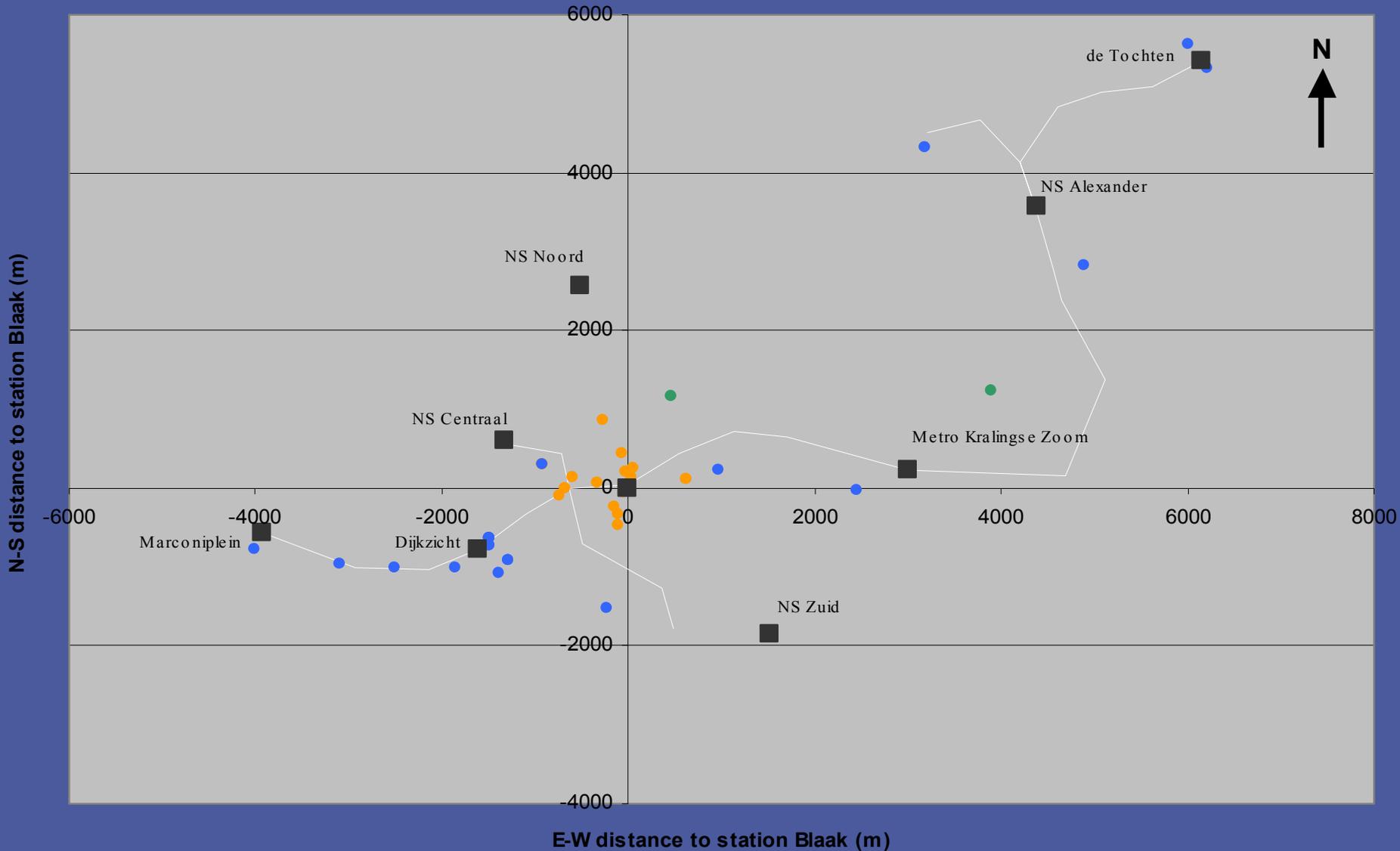


Trip ends using railway station Rotterdam CS



- | | | | |
|--------------------|-------------------|---------------------|------------------|
| ● walk - home end | ▲ walk - act end | ● bike - home end | ▲ bike - act end |
| ● bus - home end | ▲ bus - act end | ● tram - home end | ▲ tram - act end |
| ● metro - home end | ▲ metro - act end | ■ NS/metro stations | |

Trip ends using railway station Blaak



● walk ● bike ● metro ■ NS/metro stations

Trip ends using railway station Dordrecht CS

