

Bevorzugter Zitierstil für diesen Vortrag

Axhausen, K.W. (2001) Modellierung der Verkehrsnachfrage auf der Basis von Individualentscheidungen, DLR Sommerschule, Berlin, September 2001.

Modellierung der Verkehrsnachfrage auf der Basis von Individualentscheidungen

KW Axhausen

IVT
ETH
Zürich

September 2001



Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Entscheidungsmodelle

Modelle für

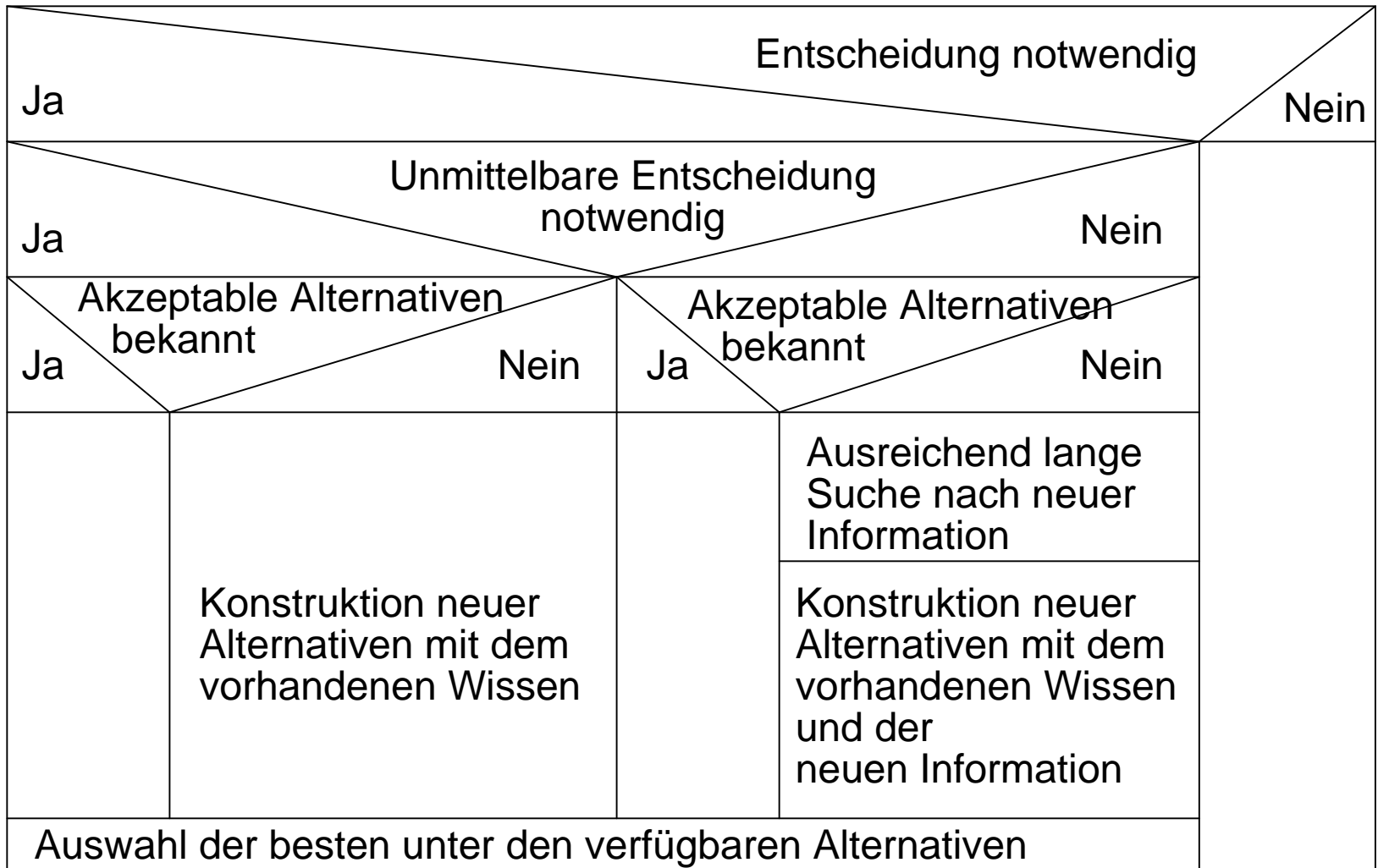
- Beschreibung der einzelnen Prozesse
- Verteilung der Nachfrage unter der Annahme nutzenoptimierender Personen (*random utility theory*)

Bewusstsein - Suche - Entscheidung

„Entscheiden“ heisst:

- Bewusstsein der Notwendigkeit einer Entscheidung
- Suche nach Alternativen, inklusive Nichtstun und weitere Suche
- Auswahl einer der Alternativen

Entscheidungsprozess



Teilprozess: Erkennen der Entscheidungsnotwendigkeit

Fähigkeit Veränderungen in der Umwelt wahrzunehmen

- Trennung von Trend und Variation
- Kontinuierliche Reaktion oder Grenzwerte (*bounded rationality*)

Teilprozess: Festlegung des Entscheidungspunktes

- Toleranz für Abweichungen zwischen Erwartung (Wissen) und Realisierung
- Erkennen von Entscheidungspunkten
- Grenzwerte sind auch eine Funktion des Wissens um akzeptable Alternativen

Teilprozess: Suchen

- Metawissen um Such- und Lernstrategien:
 - Formelle Kanäle (Anzeigen, Karten, Fahrpläne, Beratungsstellen etc.)
 - Informelle Kanäle (Verwandte, Freunde, Kollegen etc.)
- Berücksichtigung temporärer Alternativen
- Abbruchkriterium

Kosten der weiteren Suche > Erwarteter Nutzengewinn
des nächsten Schritts

Teilprozess: Konstruktion des Alternativensatzes

- Strategie der Konstruktion, z.B.
 - Variation bekannter Alternativen („Gewohnheiten“)
 - Abdeckung des Lösungsraums
 - Alle möglichen Lösungen
- Einbezug des status-quo
- Einbezug „Weitere Suche“

Teilprozesse: Vorbewertung der Alternativen

- Problem der Vorauswahl
- Veränderung der Anzahl als Funktion des Wissens
- Veränderung des Anspruchsniveaus als Funktion des Wissens

Teilprozess: Abwägung - Kriterienauswahl

- Vollständigkeit
- Vorausschauend
 - Kosten des Wechsels
 - Risikoabschätzung
 - Unterschiedlicher Wissensumfang über bekannte und neue Alternativen
 - Rückfallebenen
- *sunk cost* - Problematik (realistische Schätzung des Restwerts)

Teilprozess: Abwägung - Entscheidung

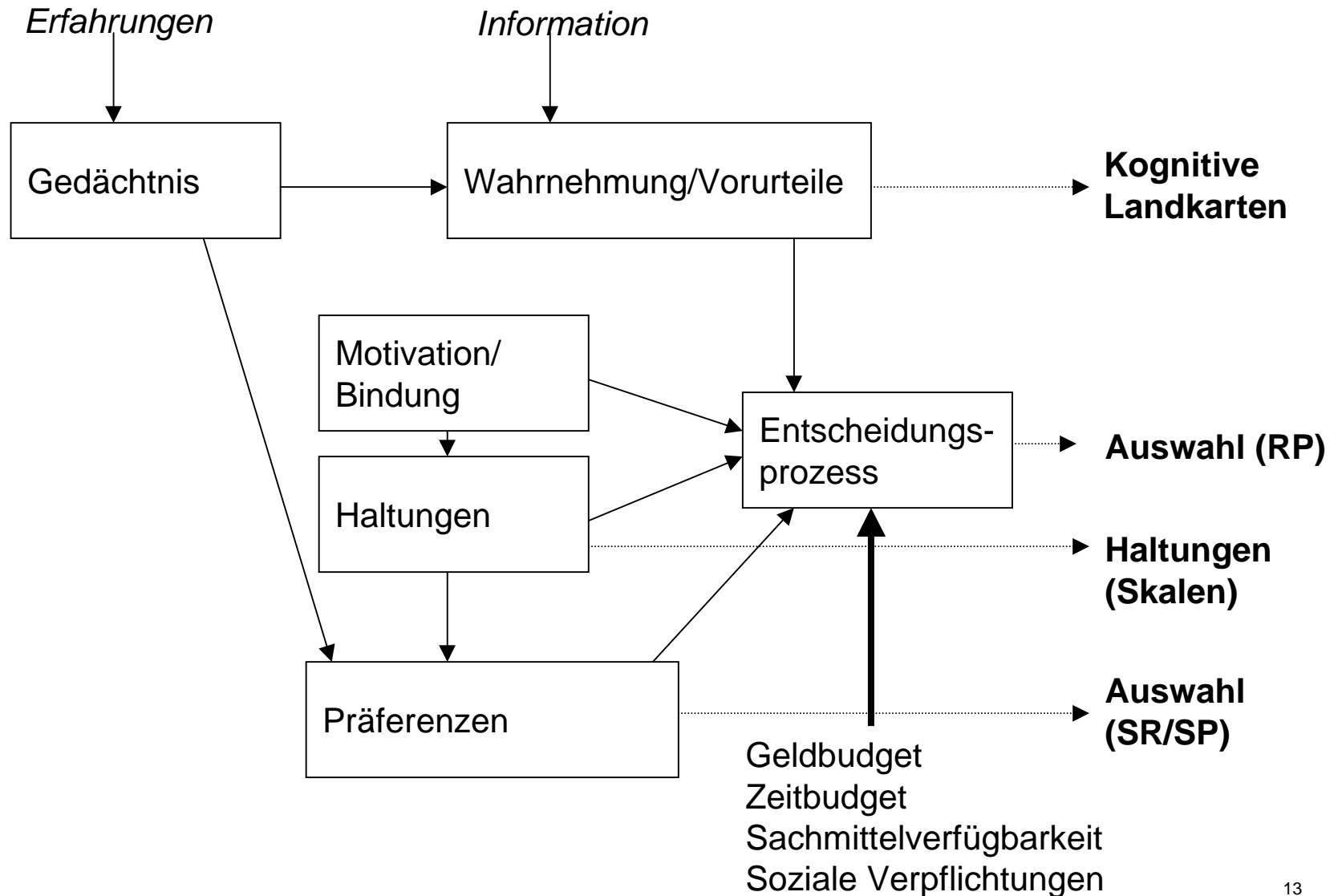
Auswahl der Regel als Funktion der

- Komplexität des Problems
- Tragweite der Entscheidung (Kosten, möglicher Schaden, Dauer der Verpflichtung)
- Verfügbare Zeit für Entscheidung

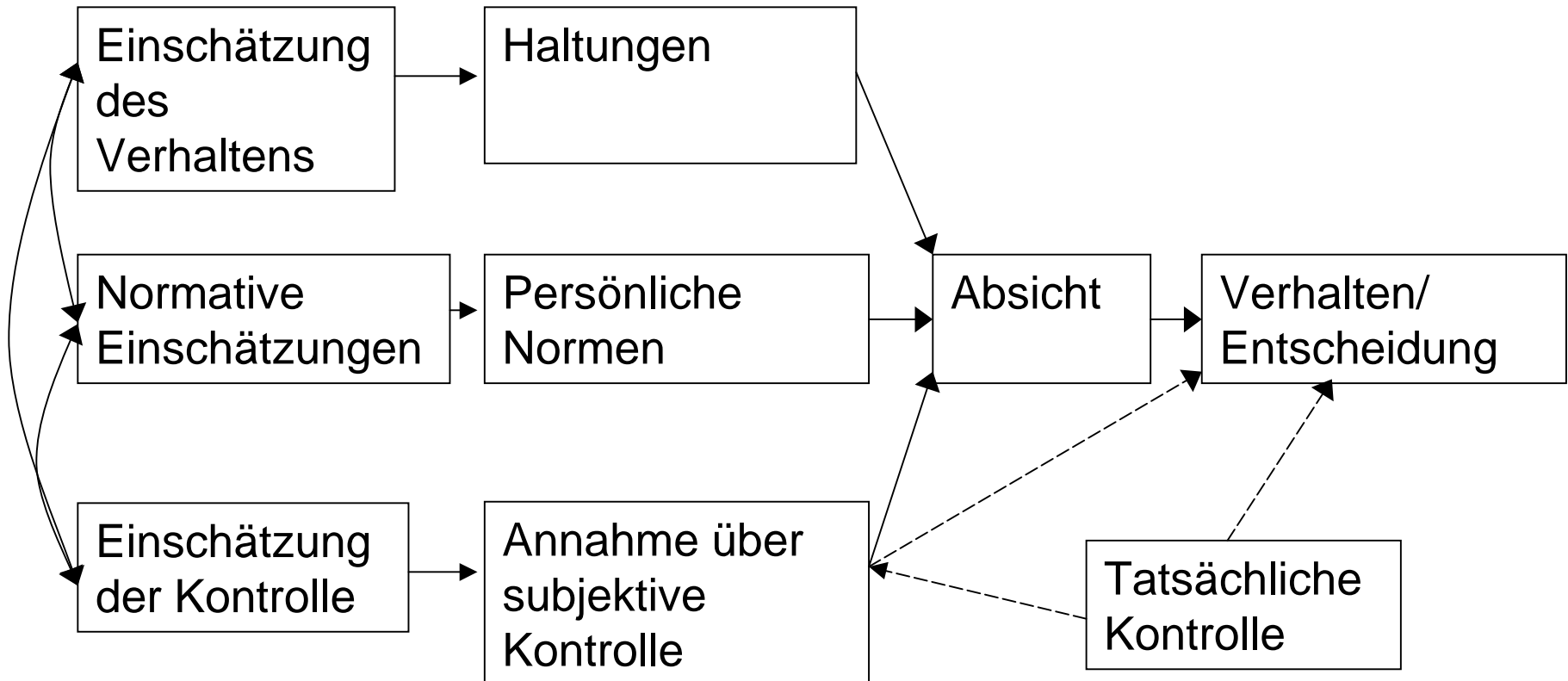
Möglichkeiten:

- Lexiographisch
- Lineare Nutzenfunktionen
- Nicht-lineare Nutzenfunktionen

Entscheiden: Vorschlag McFadden et al.



Entscheidungen: Theorie des geplanten Verhaltens



Raumnutzung und Verkehrsverhalten

Ansatz:

- Unterschiedliche Zeithorizonte (je nach Inhalt)
 - Jahr(e)
 - Monate/Jahr
 - Woche/Tag
- Langfristigere Entscheidungen binden Entscheidungen der kürzeren Zeithorizonte
- Erfahrungen des Alltags informieren die langfristigeren Entscheidungen

Zeithorizont: Jahr(e)

Sozialer Kontext:

- Partnerschaft und Kinder
- Freunde
- „Pflege“
- Bürgerliches Engagement
- Ausbildung und Beruf

Sachkontext:

- Wohnort und Wohnung
- Mobilitätswerkzeuge (Kfz, Zeitkarten, (Fahrrad))
- Arbeits- und Ausbildungsplatz

Zeithorizont: Monate/Jahr

Feste Verpflichtungen:

- Familiär (Einkauf, Besuche etc.)
- Sozial (Freunde, Vereine usw.)
- Arbeitszeiten (Umfang und Zeitpunkt)

Projekte:

- Fortbildung
- Urlaub, Ausflüge und Dienstreisen
- Private und soziale Anlässe
- „Verbesserungen“ aller Art

Zeithorizont: Woche/Tag

Bedürfnisbefriedigung:

- Schlaf und Körperpflege
- Essen und Trinken
- Sozialer Kontakt

Langfristige Verpflichtungen (Arbeit, Ausbildung usw.)

(Längerfristige) Projekte

Erholung

Zeit für „Krisen“ und positive Gelegenheiten

Erfassung der Planung

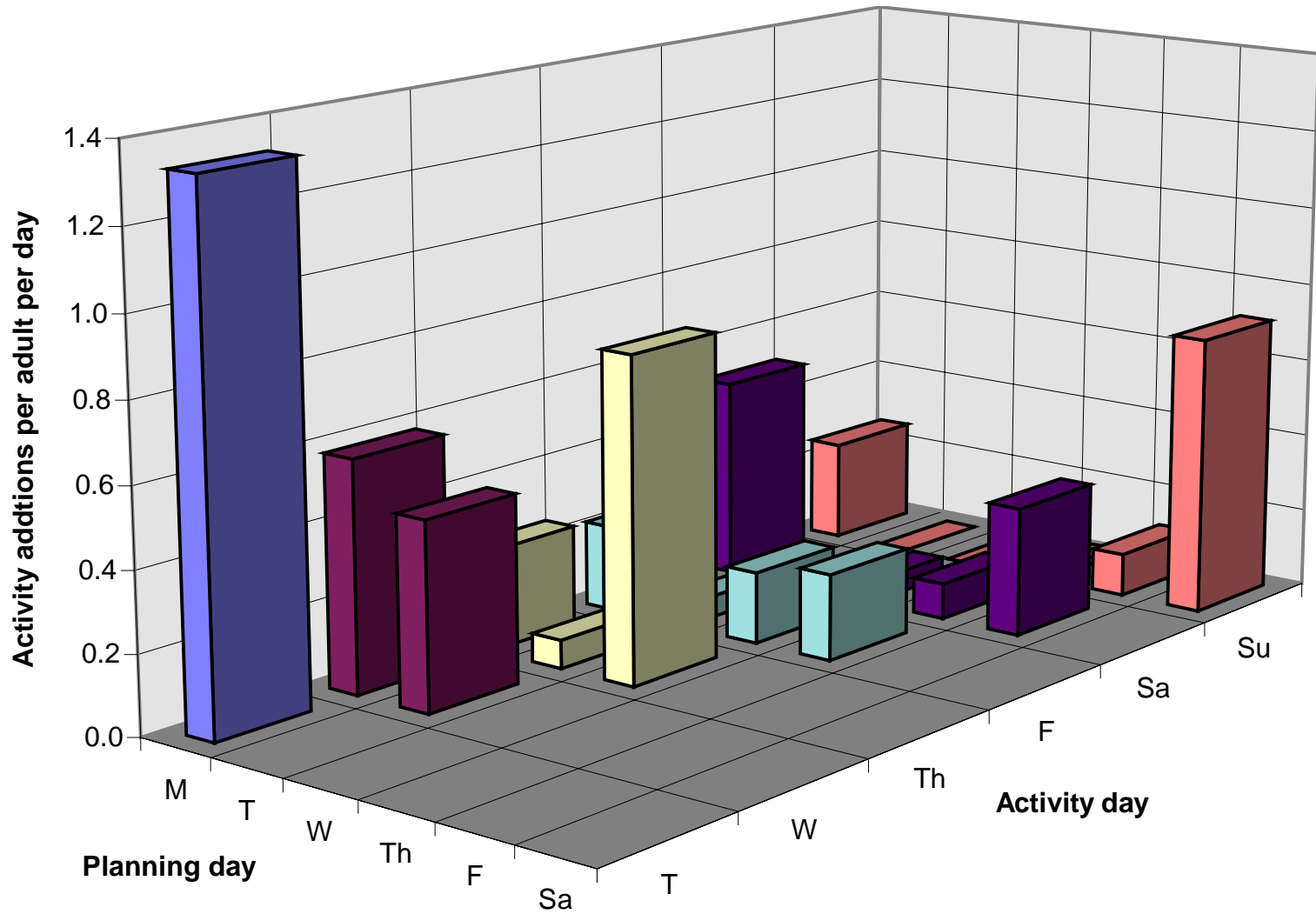
CHASE

- Doherty (University of Toronto)
- 50 Haushalte in Hamilton
- Sieben Tage
- Planung laufend
- Zeitnutzung jeweils am Ende des Tages

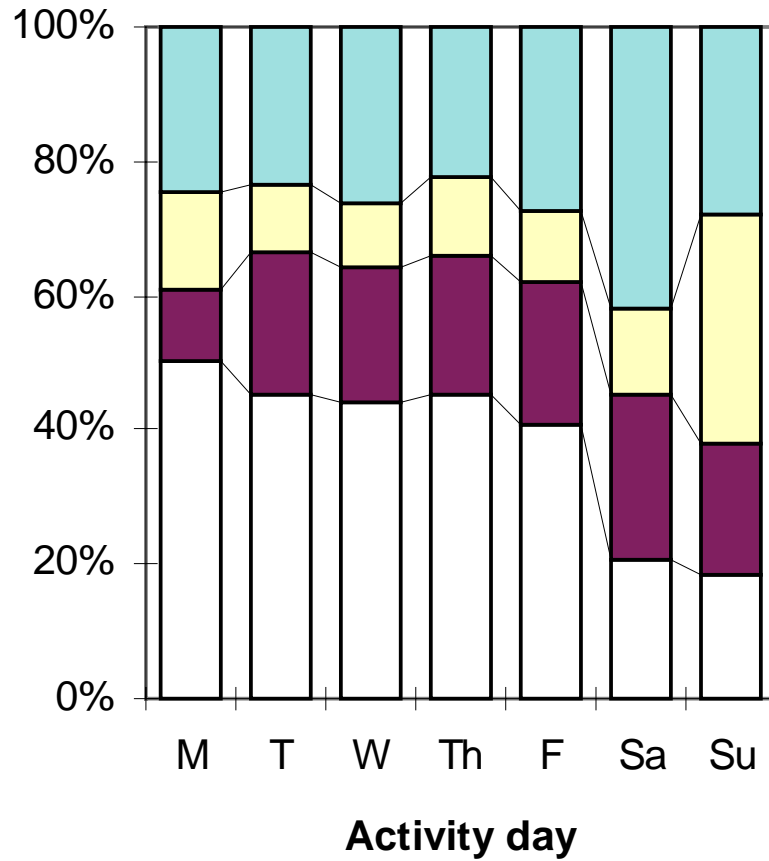
Weiterentwicklungen

- iChase (UC Irvine)
- CHASE-GIS (RWTH)

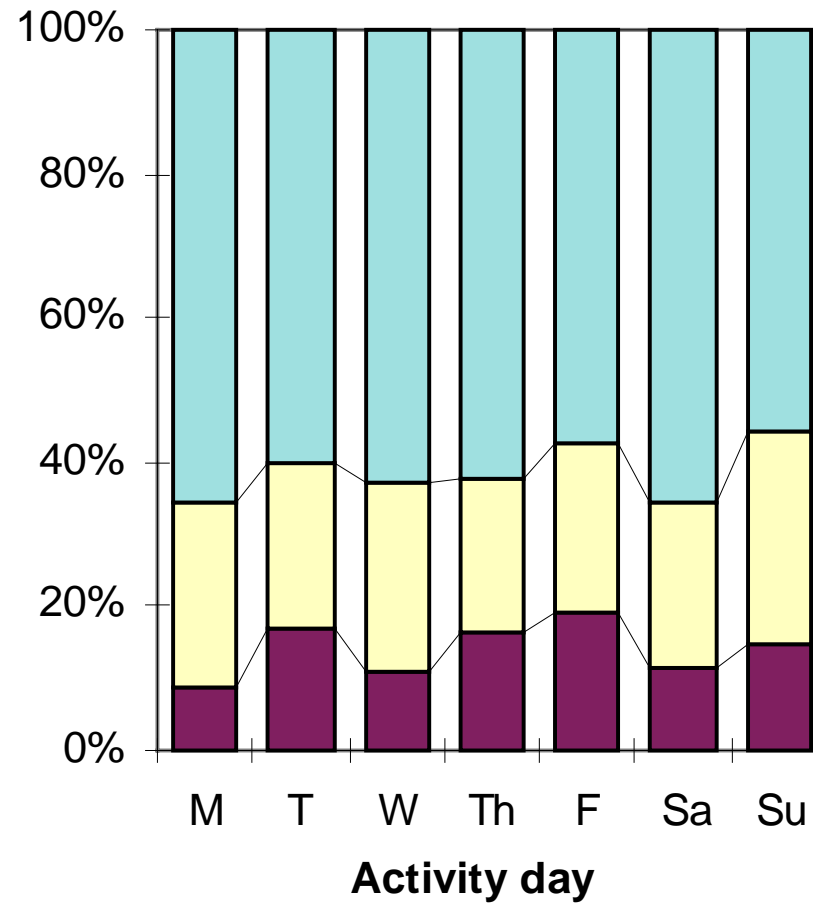
Wann wird was geplant ?



Wie wird geplant ? Ergänzungen

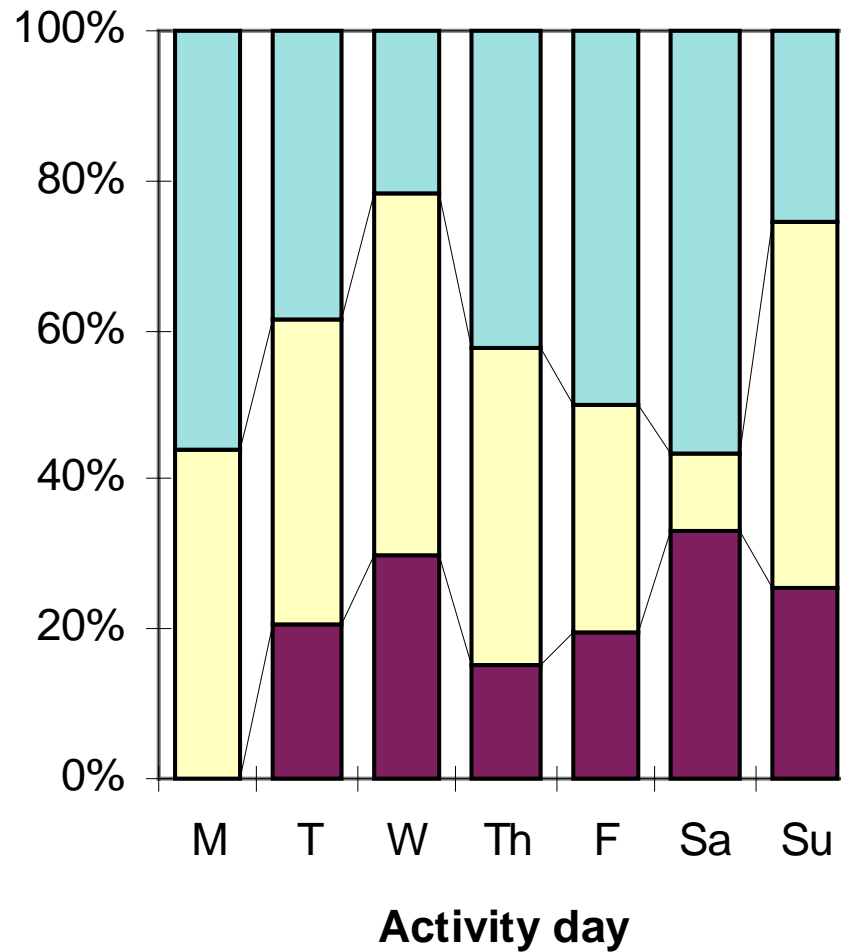


Wie wird geplant ? Veränderungen



□ First Sunday ■ Pre-planned □ Same day ■ Impulsive

Wie wird geplant ? Streichungen



□ First Sunday ■ Pre-planned □ Same day □ Impulsive

Dynamik: Externe Quellen

Soziale Entwicklung:

- Veränderung von Normen und Regeln
- Ökonomische Entwicklung
- Soziales Umfeld

Entwicklung der sachlichen Umwelt:

- Infrastruktur
- Bauten und Einrichtungen

Entwicklung der natürlichen Umwelt

Saisonale Veränderungen

Rhythmen von Veranstaltungen und Ereignissen

Persönliche Dynamik

Person

- Lernen (Kognitive Landkarten)
- Zielvorstellungen
- Berufliche Wandel (Einkommensentwicklung)

Familie und soziales Netz

- Kinder
- Partnerschaft
- Freunde
- Verwandte

Situationsbeschreibung

- Person, langfristige Bindungen und Ressourcen
- Verpflichtungen (Arbeit, Ausbildung, private)
- Projekte
- Zeitplanung (der Woche)
- Wo, wann, mit wem, mit was

Was wollen wir ?

Verstehen von Verkehrsverhalten unter heutigen Bedingungen

und

Vorhersagen von Verhaltensänderungen unter zukünftigen
Bedingungen

Was haben wir zur Verfügung ?

Querschnitt:

- Beobachtung heutigen Verhaltens
- Befragung zum heutigen Verhalten

Längsschnitt:

- Vergleich von früherem und heutigem Verhalten

Hypothetische Märkte:

- Befragungen zu möglichen künftigen Verhalten

Jeweilige Beschreibung der Entscheidungssituation

Was brauchen wir ?

- Funktionalen Zusammenhang zwischen der Wahrscheinlichkeit einer Entscheidung (Einzelperson)/ Verteilung der Entscheidungen (Gruppen) und den erfragbaren (vorhersagbaren) Einflussgrößen

$$P_i(j) = f(X_{ik})$$

$P_i(j)$ Wahrscheinlichkeit von Alternative j von Person i
 X_{ik} Einflussgrößen der Entscheidungssituation k für
Person i mit den Alternativen 1 bis n

- Konsistenz mit unserem Verständnis menschlicher Entscheidungsprozesse

Was sind die Teilaufgaben ?

- Bestimmung der relevanten Alternativen
- Identifikation der Einflussgrößen
 - Haushalt, Person, Fahrzeug
 - Entscheidungssituation (Tag, Reise, Fahrt/Weg)
 - Eigenschaften der Alternativen
- Entscheidungsregel(n)
- Bestimmung der Parameter α_i der Einflussgrößen

Statistische Modellierung

- Hilfsmittel zur Erkennung von Strukturen

Struktur ~ Modellform,

Einflussgrößen und deren funktionale Form,
Parameter der Einflussgrößen

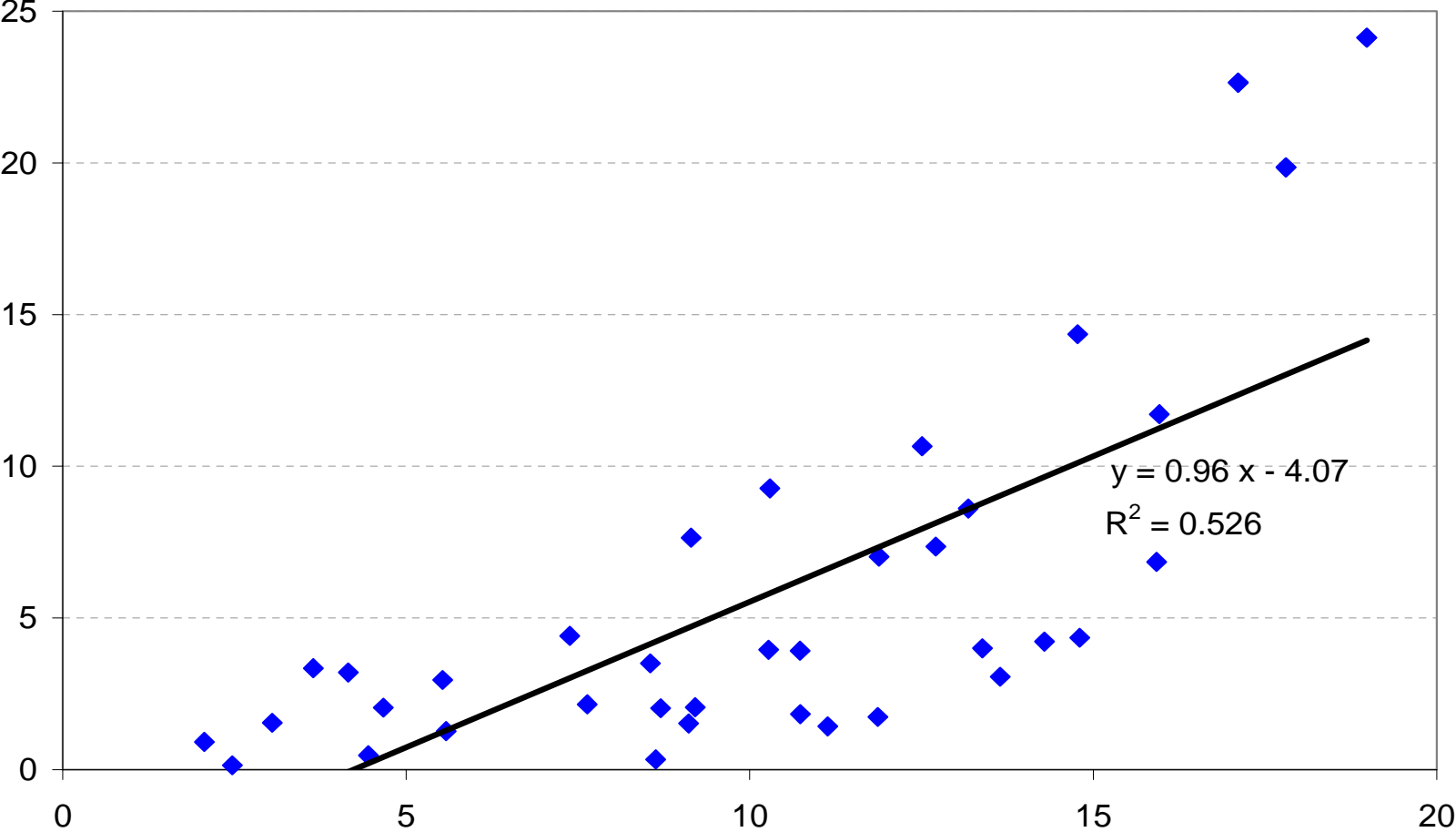
- Ziel ist die Abbildung der Messungen mit kleinstmöglichem Fehler (Abhängige Variable y)
- Ziel ist die Einbeziehung der geringst möglichen Anzahl von Einflussgrößen (Unabhängige Variablen x) (*Occam's razor*)
- Verwendung von theoretisch begründbaren Modellformen, wo immer möglich

Theoriebedarf

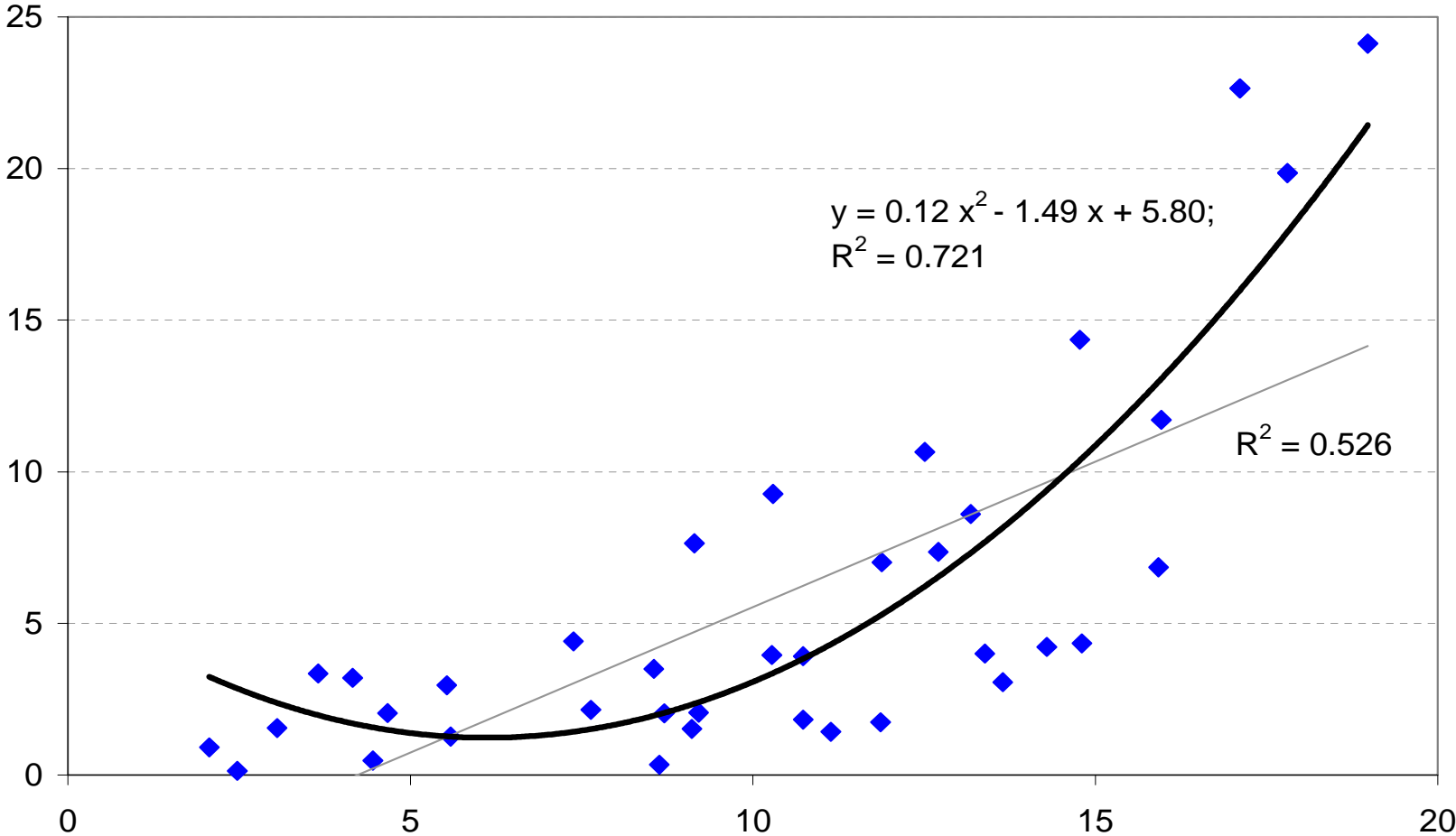
Die Analyse kann zwei Wege einschlagen:

- Daten-geleitet (*curve fitting*)
- Theorie-geleitet, d.h. a-priori Annahmen über
 - die Kausalitäten (Auswahl der Variablen)
 - funktionale Form (Form der Gleichung)
 - Richtung des Einflusses (Vorzeichen)
 - relative Stärke der Einflüsse (Varianzbeitrag)

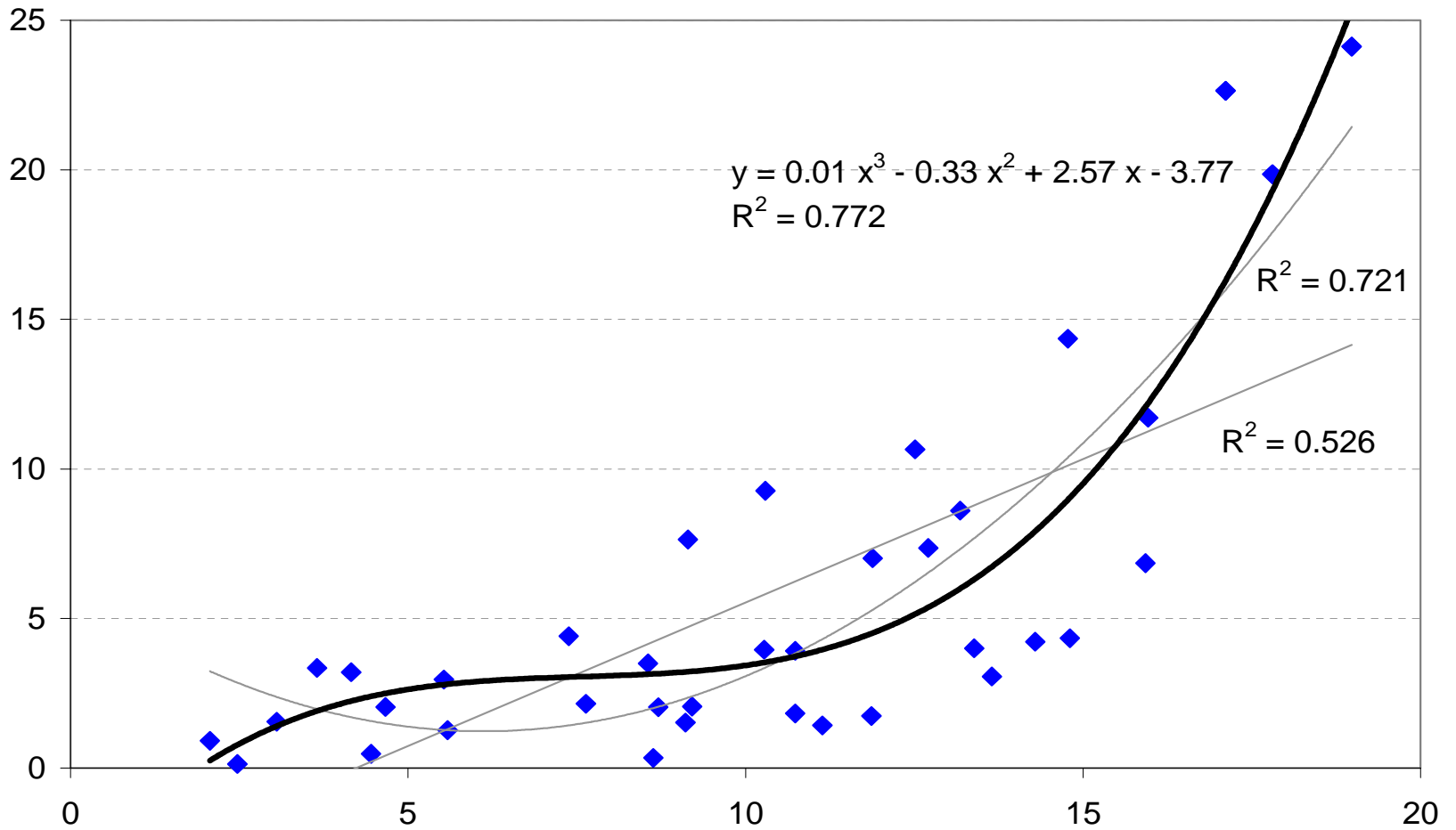
Theoriebedarf: Beispiel



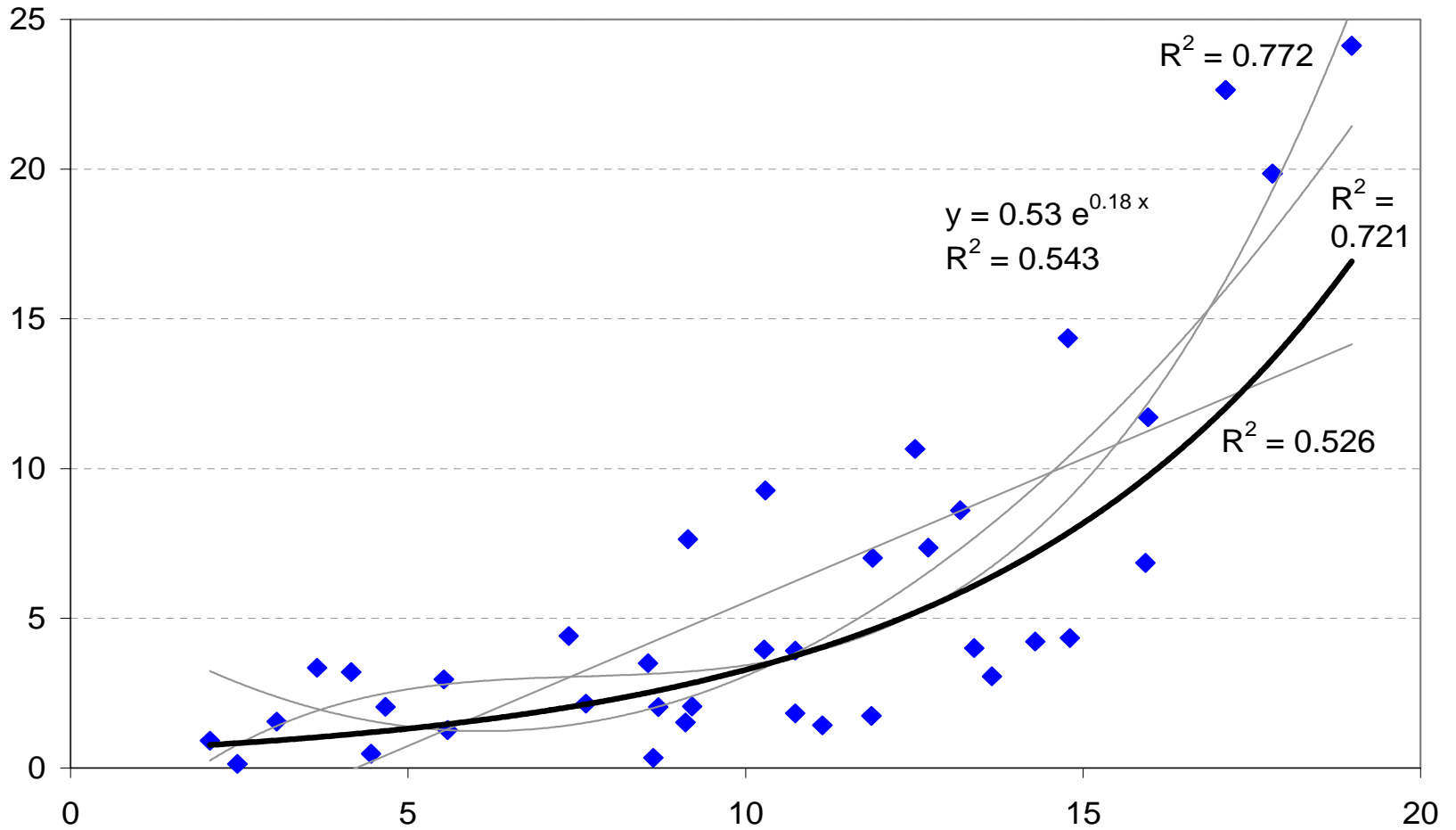
Theoriebedarf: Beispiel



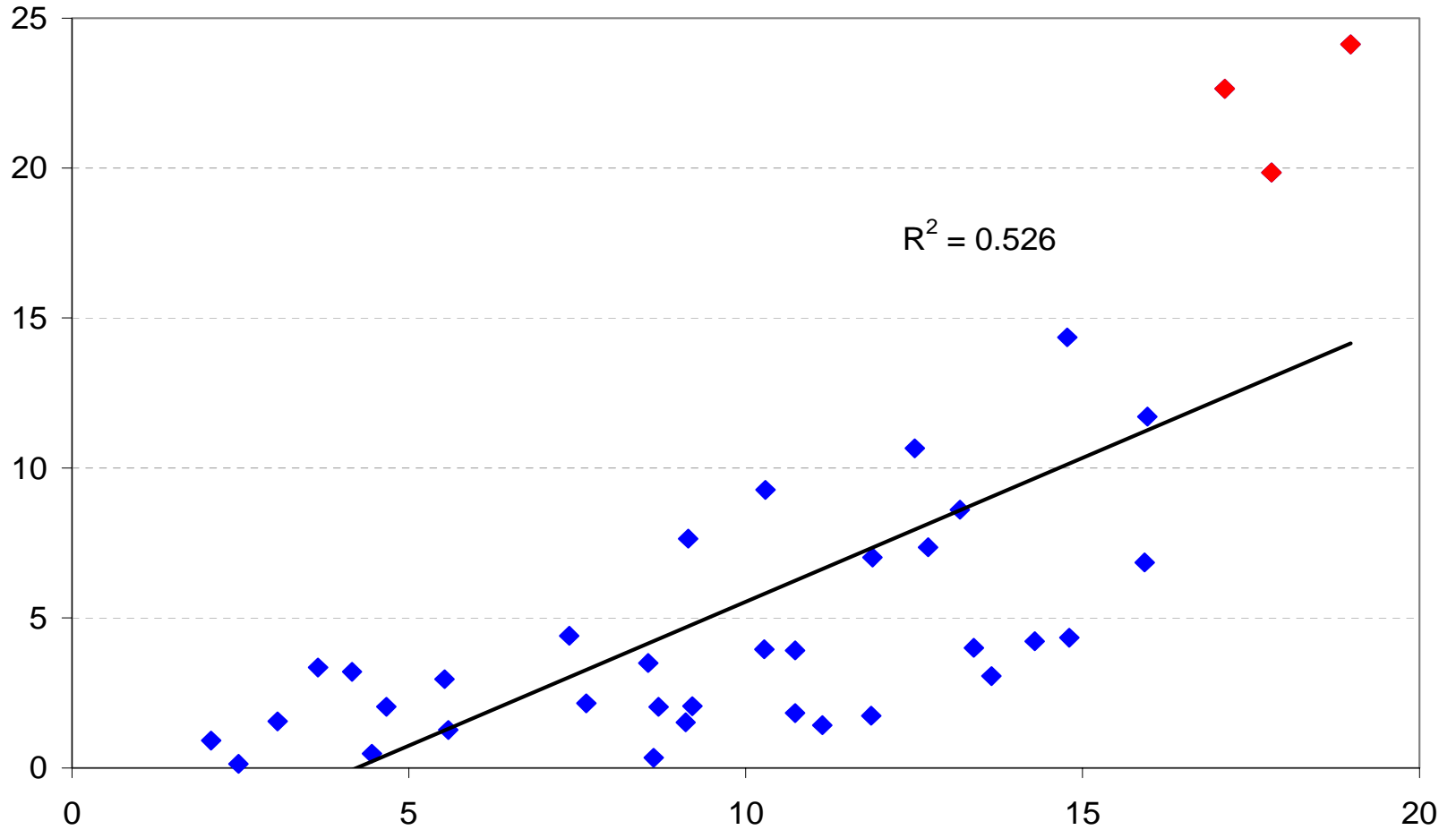
Theoriebedarf: Beispiel



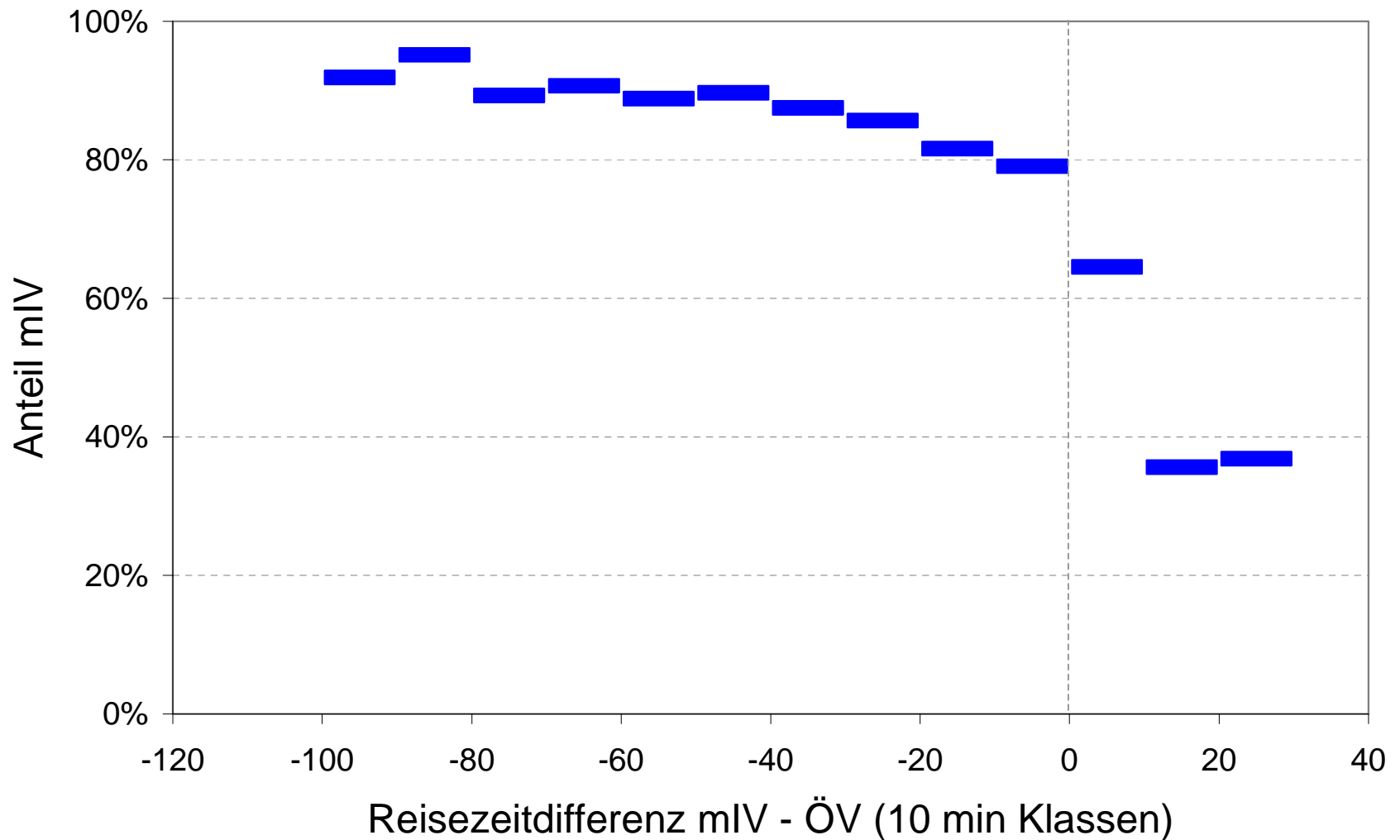
Theoriebedarf: Beispiel



Nebenbemerkung: Identifikation von Ausreißern

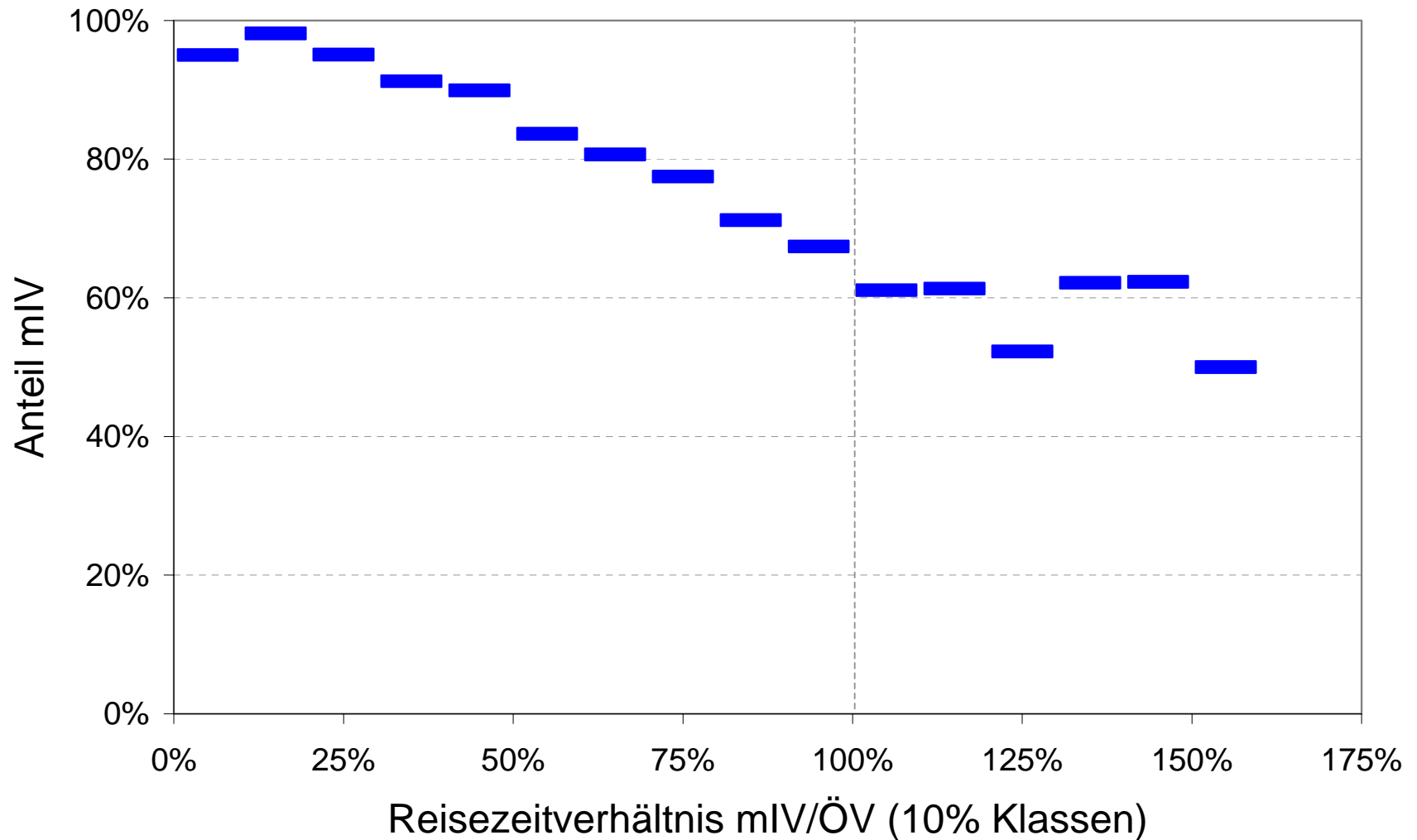


Beispiel: Verkehrsmittelwahl ~ Δ Reisezeit ?



Schweiz, Mikrozensus 1994, Wege über 10km

Beispiel: Verkehrsmittelwahl $\sim \ln(\Delta\text{Reisezeit})$?



Schweiz, Mikrozensus 1994, Wege über 10km

Modell des homo oeconomicus

- Perfekte Information über alle Entscheidungsalternativen und ihre relevanten Eigenschaften
- Konsistente und stabile Vorlieben
- Optimiert den eigenen Nutzen über beliebige Zeithorizonte (unter Berücksichtigung der Such- und Entscheidungskosten)

- Alternativen $j=1, \dots, n$ sind für Person q , $q = 1, \dots, r$ bekannt
- Alternativen überlappen sich nicht
- Ausprägungen der Eigenschaften X_{kjq} , $k = 1, \dots, m$ sind bekannt
- Parameter α_{kjq} sind bekannt

- Nutzen $U(X_{j^*q}) > U(X_{jq})$ für $\forall j \neq j^*$

Logit-Modell: Annahmen

Grundannahme über den Nutzen U_{jq} der Alternative j für Person q :

$$U_{jq} = U(X_{kjq}) = V(X_{kjq}) + \varepsilon_{jq}$$

$V(X_{kjq})$

Systematisch beschreibbarer Anteil

ε_{jq}

Nicht systematischer, d.h. persönlicher oder nicht beschriebener Anteil

$V(X_{kjq}) =$

$$\alpha_j + \sum \beta_{k''j} p_{k''q} + \sum \beta_{k'j} s_{k'q} + \sum \beta_{kj} x_{kjq}$$

α_j

Konstante für Alternative j

$p_{k''q}$

Eigenschaft $k'' = 1 \dots m''$ der Person q

$s_{k'q}$

Eigenschaft $k' = m''+1 \dots m'$ der Situation der Person q

x_{kjq}

Eigenschaft $k = m'+1 \dots m$ der Alternative j für Person q

Logit-Modell: Annahmen

Unter der Annahme, dass die Fehler unabhängig voneinander sind und alle den gleichen Mittelwert (Null) und Streuung σ haben:

$$\Omega_{ij} = \sigma^2 \begin{bmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & \dots & 0 \\ \vdots & & & \\ 0 & 0 & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

Die Fehler folgen der Gumbel-Verteilung, einer Näherung der Normalverteilung

Logit-Modell

Die geschlossene Form ist:

$$P_{jq} = \frac{e^{V_{jq}}}{\sum_{\forall n} e^{V_{nq}}}$$

rut - Modell Erweiterungen

Fehler:

- Nicht-konstante Varianzen \Rightarrow *heteroskedastic errors*
- Von Null verschiedene Kovarianzen \Rightarrow
 - *nested logit*
 - *probit, error-components (mixed) logit*
 - *cross-nested logit, paired-combinatorial logit*
 - *MNL ordered GEV model*
- Serielle und räumliche Korrelationen

rut - Modell Erweiterungen

Nicht konstante Parameter:

- Segmentierung der Befragten
- *Random parameter logit (mixed logit)*

Nutzenfunktionen:

- Andere Funktionen aus der GEV - Familie
- Nicht-lineare Transformationen, e.g. Box-Cox
 - Parameter
 - Funktion als Ganzes

Auswahl der Alternativen

- Bessere Abbildung der Kosten bei seriellen Abhängigkeiten
- Induktive Auswahl (Verfügbarkeiten)
- Zwei-stufige Modelle
 - Wahl der berücksichtigten Alternativen
 - Auswahl unter den berücksichtigten Alternativen

Heuristiken

- Theorie-geleitet
- Daten-geleitet:
 - Klassifikationsbäume (CHAID)
 - Neuronale Netze
 - *self organizing maps*

Was heisst das für die Anwendung ?

Modellschätzung:

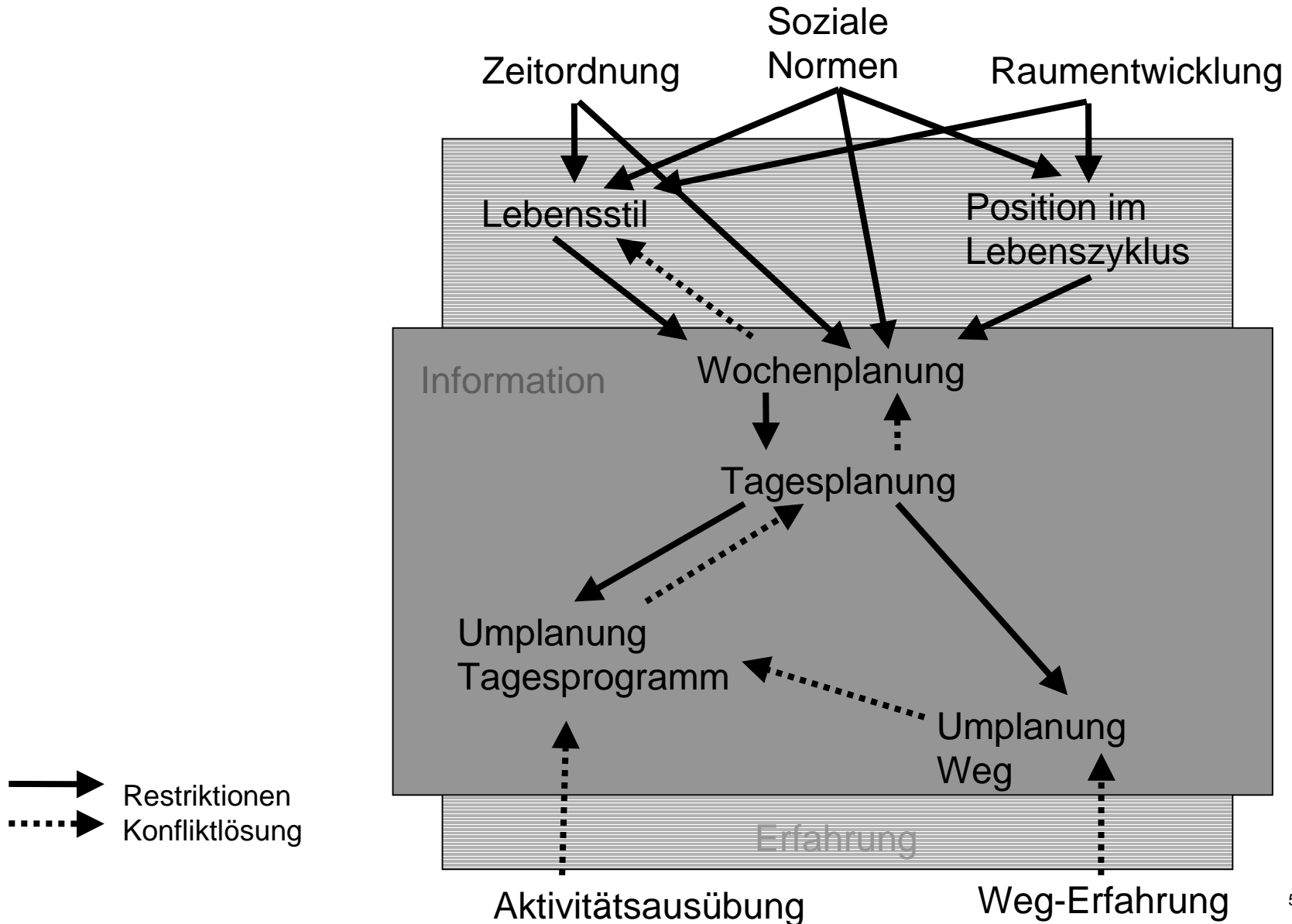
- Verwendung aktueller Software (BIOGEME, LIMDEP, TRIO)
- Entwicklung spezieller *log-likelihood* Funktionen und deren Umsetzung in Gauss, Matlab, Mathematica, Limdep etc.
- Mehr Aufmerksamkeit auf:
 - Serielle Abhängigkeiten
 - Räumliche Korrelationen
 - „Selbstauswahl“ der Stichproben

Was heisst das für die Anwendung ?

Trennung der zeitlichen Ebene in der Anwendung und der Modellentwicklung:

- Alltag, mittel- und langfristige Verpflichtungen
- Prognosen für Verkehrsmanagement und langfristige Planung

Konzept: Eurotopp



Modelle der langfristigen Entscheidungen

Gesamtmodell für:

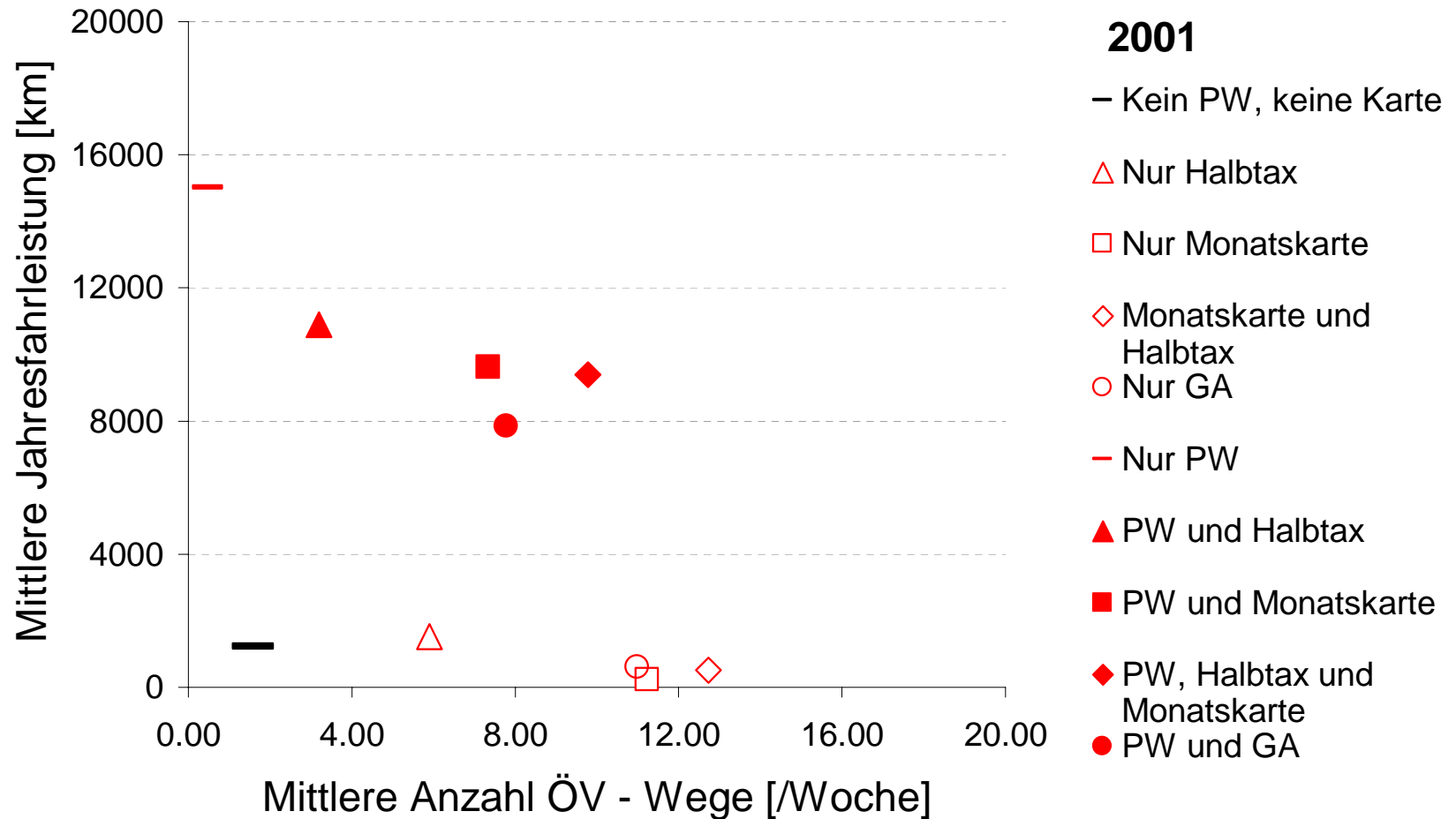
- Arbeitsplätze/Ausbildungsorte der Haushaltsmitglieder
- Wohnstandort
- Primäre Orte für Einkauf und Erholung (Zweitwohnungen)

- Kfz - Besitz
- Zeitkartenbesitz
- Radnutzung

- Intensität der Kfz-Nutzung in der Freizeit

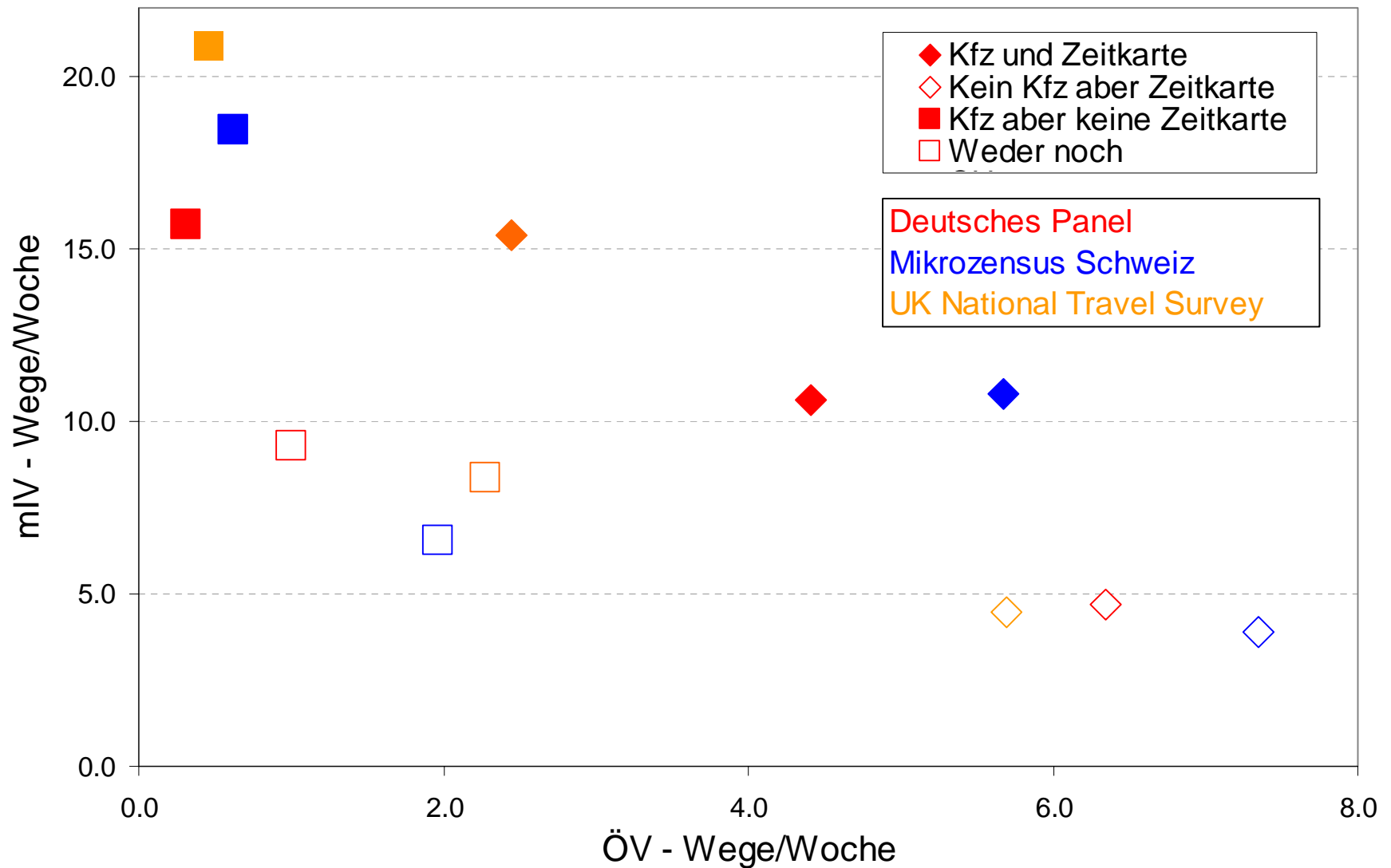
- Umfang der Arbeitszeiten

Verkehrsverhalten und Mobilitätswerkzeuge

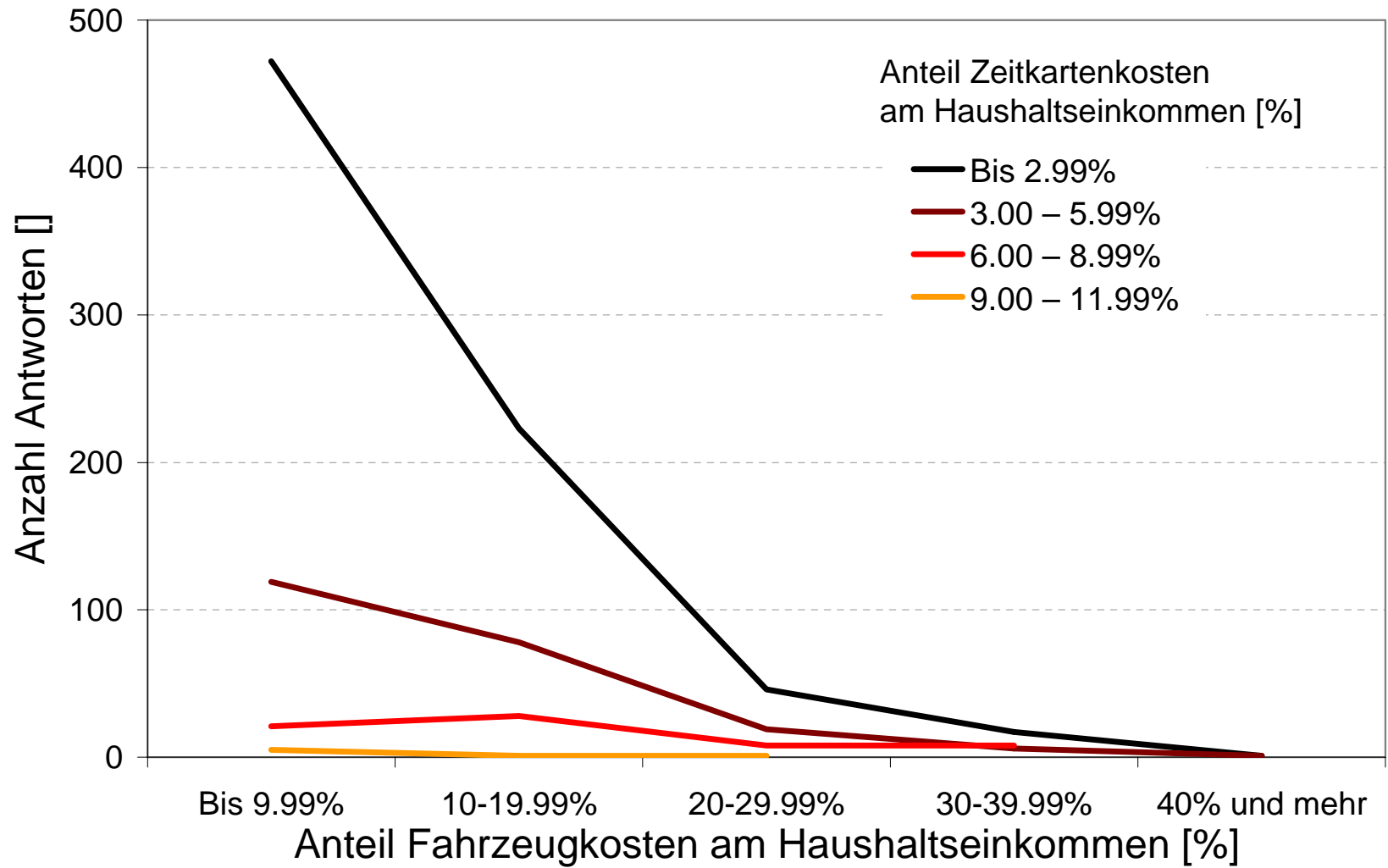


Univox 2001; Deutschschweiz und Romandie

Verkehrsverhalten und Mobilitätswerkzeuge



Optimale Kombinationen von Kfz und Zeitkarten



Mittelfristige Entscheidungen

Probleme und Herausforderungen:

- Anzahl und Auswahl der „Projekte“
- Mittelfristige Zeitplanung
- Grundsätzliche Abstimmungen im Haushalt
- Dynamik der Rückkoppelungen zwischen den Ebenen

Kurzfristige Entscheidungen

Mit gegebenen langfristigen Bindungen, einschliesslich der jeweiligen kognitiven Landkarte:

- Wahl von Anzahl, Anfangszeitpunkten und Dauern der Aktivitäten
- Zielwahl (akzeptable Umwege ?)
- Verkehrsmittelwahl
- Wahl der Abfahrtszeit
- Routenwahl
- Parkstandortswahl und Wahl der Parkstandstyps

- Grösse und Zusammensetzung der Gruppe
- Ausgaben für Aktivität und Transport

Mobidrive: Ansatz

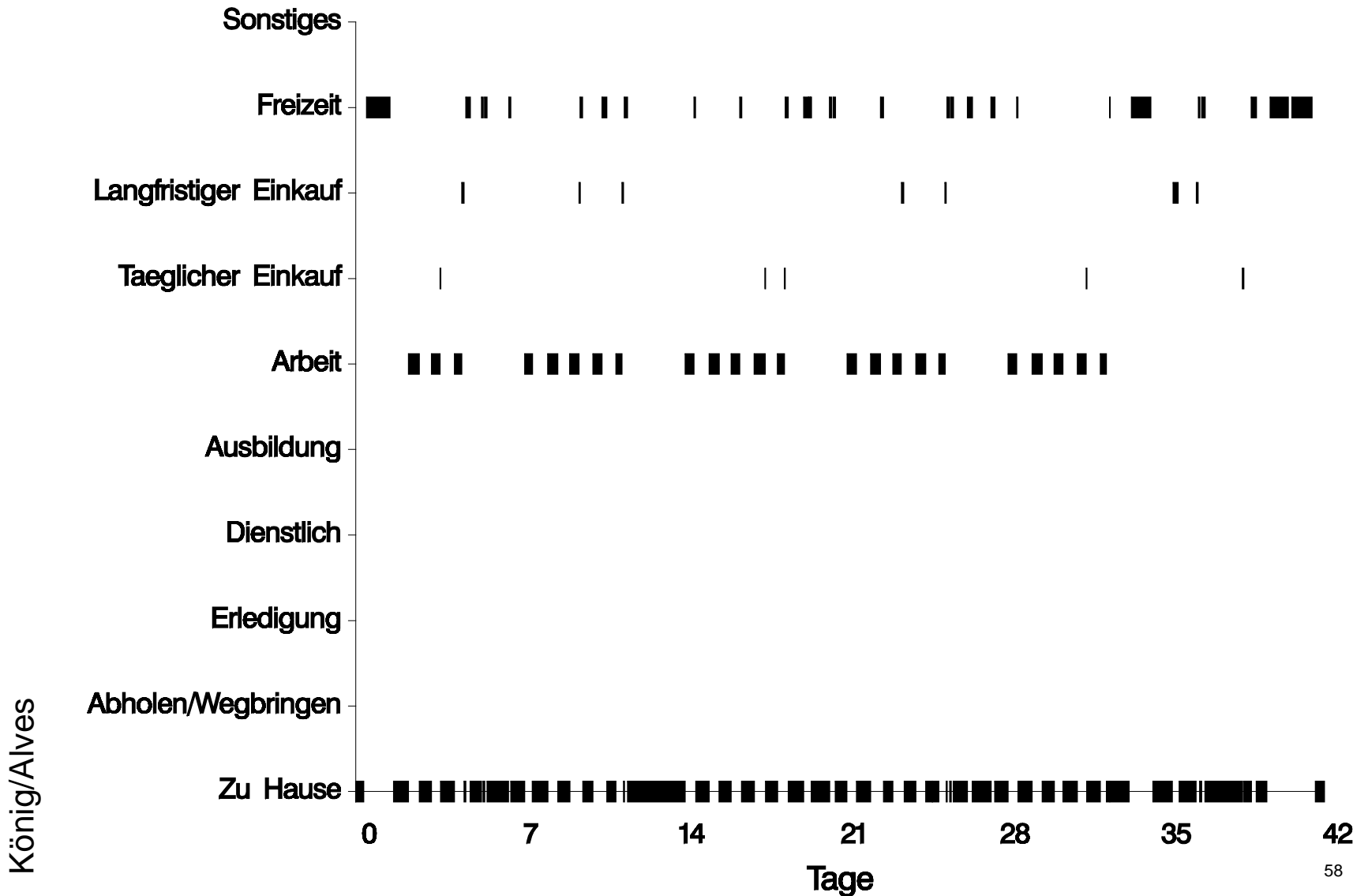
Vorbild:

- Uppsala 1971 (Susan and Perry Hanson)
- Fünf Wochen-Tagebuch
- 300 Personen

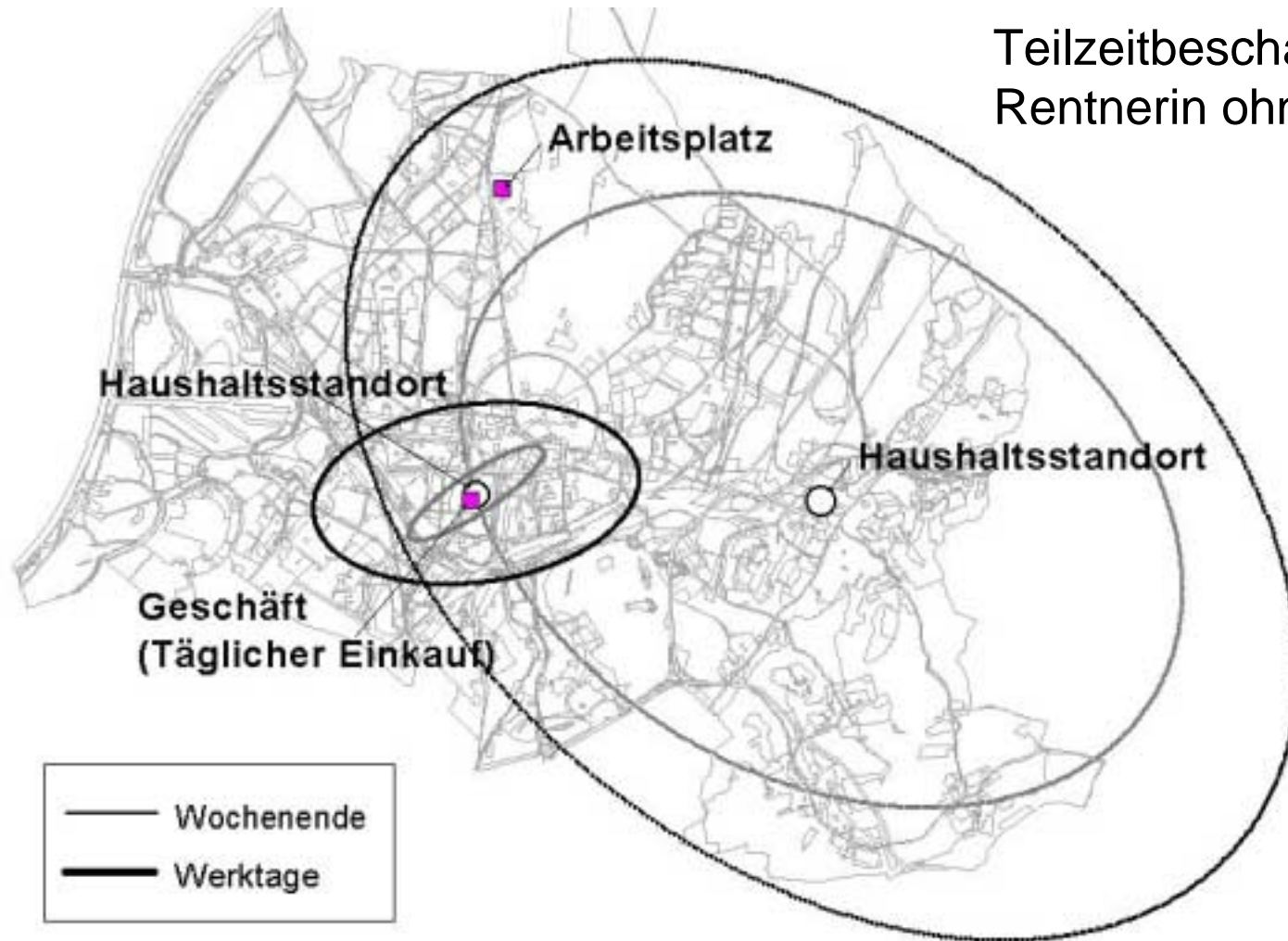
Struktur

- Berichtszeitraum: Sechs Wochen
- Sechs einwöchige Tagebücher
- Quotierte Stichprobe (Ein-Personen-Haushalte, Paare, Familien mit Kindern über 6 Jahre)
- Differenzierte Anreizzahlungen (100 – 200 DM/Haushalt)

Mobidrive: Rhythmen der Aktivitätenteilnahme

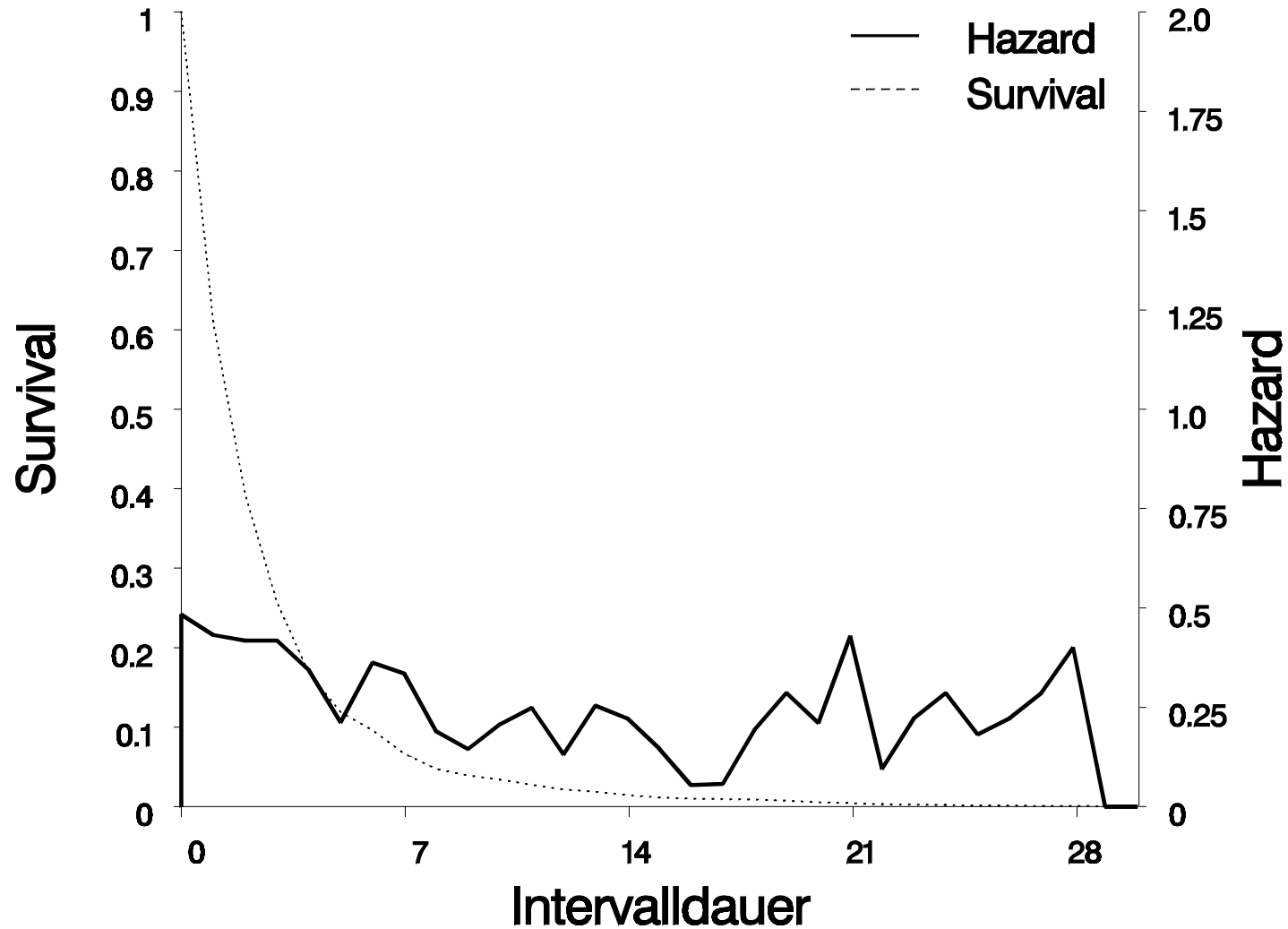


Mobidrive: Aktivitätsräume (Konfidenz - Ellipsen)

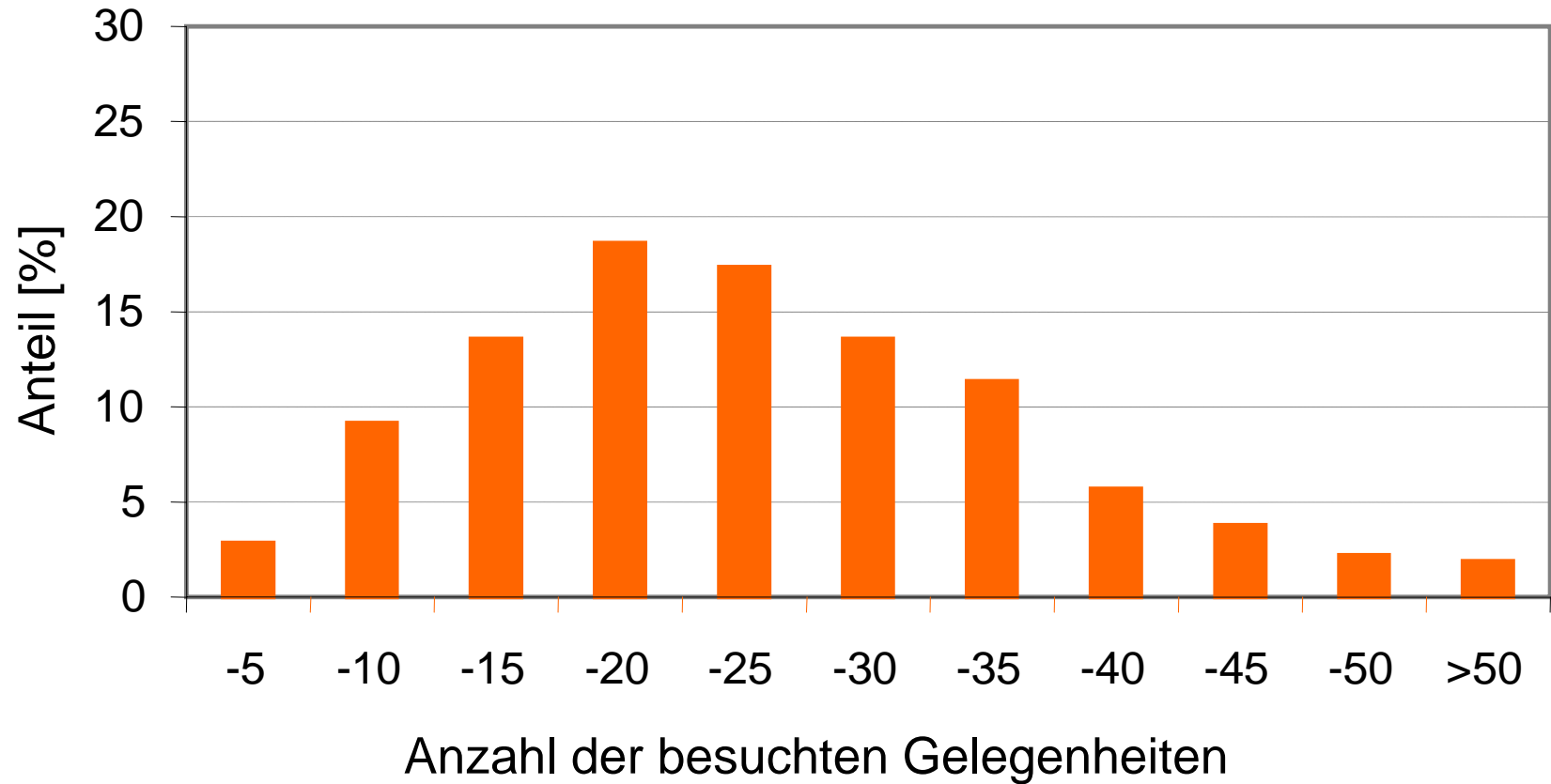


Teilzeitbeschäftigt mit PW;
Rentnerin ohne PW

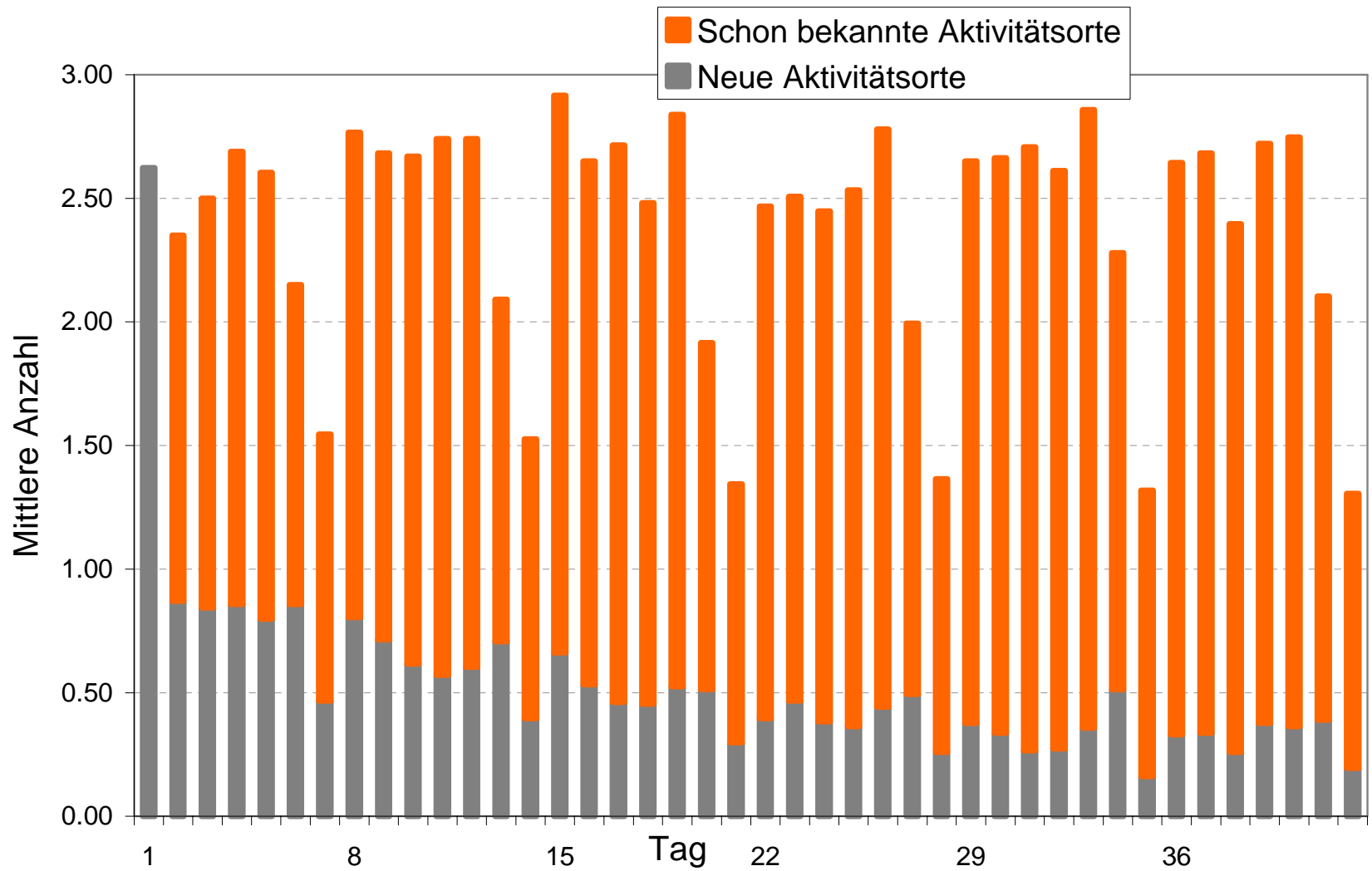
Mobidrive: Individuelle Rhythmen (Täglicher Einkauf)



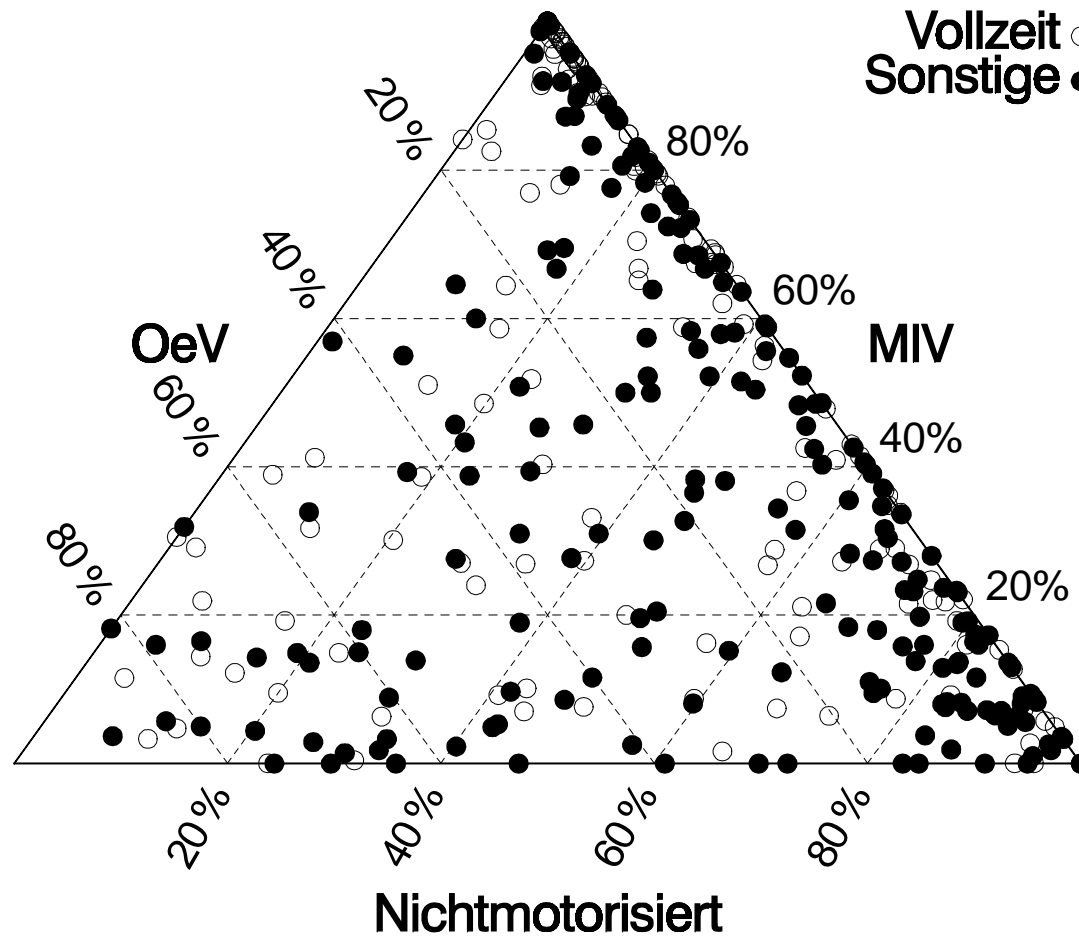
Mobidrive: Anzahl der besuchten Orte/Person



Mobidrive: Aktivitätsorte/Tag



Mobidrive: Mischung Verkehrsmittel Werkzeuge



Ausblick

Im Rahmen von *rut*:

- Saubere Trennung der Zeithorizonte
- Umfassende Modelle der langfristigen Entscheidungen
- Modelle der kurzfristigen Entscheidungen

Heuristiken und regelbasierte Ansätze

- Modelle der Alltagsentscheidungen mit Randbedingungen

Erfassung und Modellierung der mittelfristigen Ebene

Notwendige Integration in

- Gleichgewichtsmodelle zur Massnahmenbewertung
- Simulationsmodelle der Entwicklungspfade
 - Lernen
 - Veränderungen der Präferenzen
 - Modelle kollektiver Entscheidungen (Haushalt)
 - Modelle kollektiver Entscheidungen (Gemeinde; Flächennutzung, Netzgestaltung, Dienstleistungen)

Literaturhinweise

Ben-Akiva, M.E. und S.R. Lerman (1985) *Discrete Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand*, MIT Press, Cambridge.

Ortuzar, J. de D. and L.G. Willumsen (1995) *Modelling Transport*, Wiley, Chichester

Schnabel, W. und D. Lohse (1997) *Grundlagen der Straßenverkehrstechnik und der Straßenverkehrsplanung*, transpress, Berlin