

# Identifizierung von Hebelfaktoren in der Alltagsmobilität

Prof. Dr. Tobias Hagen

[www.relut.de](http://www.relut.de)



**Kompass**  
Veränderung der Alltagsmobilität  
in regionalen Zukunftslaboren

Zweites regionales  
Zukunftslabor Rhein-Main

# Research Lab for Urban Transport (ReLUT): interdisziplinäre Schnittthemen aus Mobilität, Logistik und Data Science

Prof. Dr. Petra Schäfer



Verkehrs-  
planung

Prof. Dr. Oliver Schocke



Logistik



Data Science



Prof. Dr. Tobias Hagen

Aktuelle und zukünftigen Herausforderungen in Transport und Logistik.

Projekte in den Bereichen:

- Mobilitätsverhalten
- Wirtschaftsverkehre
- Lieferverkehre
- Parken
- E-Mobilität
- Radverkehr
- Drohnen
- Autonome Fahrzeuge
- Agentenbasierte Simulation

# ReLUT: Professor\*innen

Prof. Dr. Domenik Wendt



Law

Prof. Dr. Benjamin Bierwirth



Prof. Dr. Oliver Schocke



Logistik

Lola Freyer



Verbindung zu wiss. MA

Prof. Dr. Petra Schäfer



Verkehrsplanung



ReLUT

RESEARCH LAB FOR URBAN TRANSPORT  
FRANKFURT UAS

ÖPNV

Radverkehr

Data Science  
/ VWL

Prof. Dr. Josef Becker



Prof. Dr. Marco Sunder



Prof. Dr. Tobias Hagen



Prof. Dr. Dennis Knese



# ReLUT: Wissenschaftliche Mitarbeiter\*innen



M.A.  
**Philipp Altinsoy**  
Wissenschaftlicher Mitarbeiter  
Gebäude HoST, Raum 3. OG  
Tel. : +49 69 1533-2319  
✉ philipp.altinsoy@fb1.fra-uas.de

**Elektromobilität  
Autonomes Fahren**



M.Sc.  
**Elaheh Ehsani**  
Gebäude HoST, Raum 3. OG  
Tel. : +46 69 1533-2371

**Simulation**



M.Sc.  
**Nicole Reinfeld**  
Gebäude HoST, Raum 3. OG  
Tel. : +49 69 1533-2313  
✉ Nicole.Reinfeld@fb1.fra-uas.de

**Radverkehr  
Data Science**



M.Eng.  
**Siavash Saki**  
Gebäude HoST, Raum 3. OG  
Tel. : +49 69 1533-3697  
✉ siavash.saki@fb3.fra-uas.de

**Data Science  
Parken**



M.Sc.  
**Lukas Fassnacht**  
Gebäude HoST, Raum 3. OG  
Tel. : +49 69 1533-2724  
✉ lukas.fassnacht@fb1.fra-uas.de

**Radverkehr  
Logistik**



M.Sc.  
**Jonas Hamann**  
Gebäude HoST, Raum 3. OG  
Tel. : +49 69 1533-2954  
✉ jonas.hamann@fb3.fra-uas.de

**Data Science**



M. Eng.  
**Seray Künbet**  
Gebäude HoST, Raum 3. OG  
Tel. : +49 69 1533- 2372  
✉ seray.kuenbet@fb1.fra-uas.de

**Radverkehr  
Verkehrsplanung**



M.Eng.  
**Dana Stolte**  
Gebäude HoST, Raum 3. OG  
Tel. : +49 69 1533-3624  
✉ dana.stolte@fb1.fra-uas.de

**Radverkehr  
Verkehrsplanung**



M.Sc.  
**Steffen Henninger**  
Wissenschaftlicher Mitarbeiter Research Lab  
for Urban Transport (ReLUT)  
Gebäude HoST, Raum 3. OG  
Tel. : +49 69 1533-2927  
✉ steffen.henninger@fb3.fra-uas.de

**Logistik/ Letzte  
Meile /Drohnen**



M. Eng.  
**Simon Lacoste**  
Gebäude HoST, Raum 3. OG  
Tel. : +49 69 1533-3649  
✉ simon.lacoste@fb1.fra-uas.de

**ÖPNV  
Logistik**



Dipl.-Jur.  
**Deike Alauda Tamm**  
Gebäude HoST, Raum 3. OG  
Tel. : +49 69 1533-3690  
✉ deike.tamm@fb3.fra-uas.de

**Recht: KI & Logistik**



M.Eng.  
**Franziska Weiser**  
Gebäude HoST, Raum 3. OG  
Tel. : +49 69 1533-3624  
✉ franziska.weiser@fb1.fra-uas.de

**Intermodalität  
Verkehrsplanung**



M.Eng.  
**Elisabeth Lerch**  
Gebäude HoST, Raum 3. OG  
Tel. : +49 69 1533-2370  
✉ elisabeth.lerch@fb1.fra-uas.de

**Radverkehr  
Fußverkehr**



M.Eng.  
**Gérôme Löw**  
Gebäude HoST, Raum 3. OG  
Tel. : +49 69 1533-2357  
✉ gerome.loew@fb1.fra-uas.de

**ÖPNV  
Ländlicher Raum**



M.Eng.  
**Klaus-Peter Wenz**  
Gebäude HoST, Raum 3. OG  
Tel. : +49 69 1533-2340  
✉ kwenz@fb1.fra-uas.de

**Geodatenmgmt.  
Intermodalität**



M. Eng.  
**Zoë Winkler**  
Gebäude HoST, Raum 3. OG  
Tel. : +49 69 1533-2318  
✉ zoe.winkler@fb3.fra-uas.de

**Radverkehr, Parken  
Verkehrsplanung**

# Inhalt

- Wie können Determinanten des Mobilitätsverhaltens („Hebelfaktoren“) *quantitativ* ermittelt („geschätzt“) werden?
  - Fokus auf Verkehrsmittelwahl (nicht Routenwahl etc.)
  - Welche Methoden sind geeignet?
    - I. Traditionelle Regressionsanalyse
    - II. Meta-Analysen
    - III. Kontrolliert Randomisierte Studien (Experimente)
    - IV. Quasi-experimentelle Methoden
      - Natürliche Experimente / Differenz-von-Differenzen
      - Regression Discontinuity Design
  - In welchen „Einheiten“ lassen sich die Hebelfaktoren messen?
- Fokus auf Alltagsmobilität (im Gegensatz zu nicht alltäglicher Mobilität wie Tagesreisen, Reisen mit Übernachtungen usw.).
- Ausgewählte Studienergebnisse zur ÖPNV- und Radnutzung
  - Game-Changer E-Bikes?

# Methoden I: Traditionelle Statistische Ansätze



- Analyse des Mobilitätsverhalten (hier Moduswahl) von  $i = 1, \dots, N$  Personen, die  $j = 1, \dots, 4$  verschiedene Verkehrsmittel nutzen können.
- **Datenbasis:** Befragungen, Beobachtungen (Apps)
- **Methoden:** Regressionsanalyse – Discrete Choice Models

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, Z_1, Z_2, \dots) + e$$

$e$  sog. Fehlerterm,  
für unbeobachtete  
Variable

abhängige Variable

$Y_i$

- $Y_i = j = 1$  Auto
- $Y_i = j = 2$  ÖPNV
- $Y_i = j = 3$  Rad
- $Y_i = j = 4$  zu Fuß

erklärende Variablen

individuenspezifisch

$X_{1i}, X_{2i}, \dots$

- $X_{1i}$  Alter
- $X_{2i}$  Einkommen
- Geschlecht
- Führerschein- oder Autobesitz

Etc.

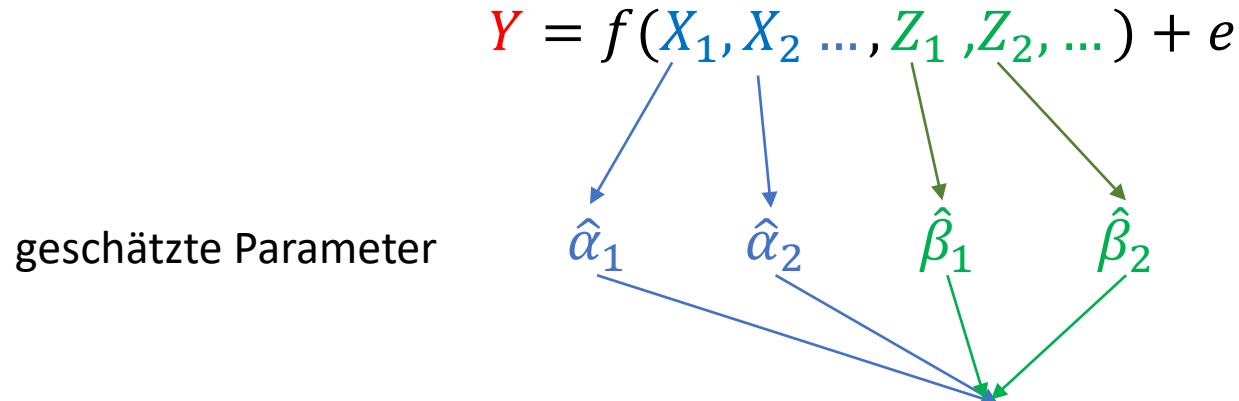
alternativenspezifisch

$Z_{1ji}, Z_{2ji}$

- $Z_{1ji}$  Reisekosten für jedes  $j$  und  $i$
- $Z_{2ji}$  Reisezeit für jedes  $j$  und  $i$
- (Un-)Annehmlichkeit für jedes  $j$  und  $i$



- Nachdem die Funktion durch die „Schätzung“ von (Steigungs-) Parametern (ermittelt wurde, lassen sich diese „weiterverarbeiten“ und interpretieren.



- Einheiten: Oft umgerechnet in sog. **Elastizitäten**.

Bsp.: „Elastizität von  $-0,3$  bzgl. ÖPNV“: Ein Anstieg der betreffenden erklärenden Variable (z.B. Preis) um 1%, reduziert die Nutzung um 0,3%

**Elastizität der Nachfrage nach ÖPNV in Bezug auf den Preis von ÖPNV** (Preiselastizität der Nachfrage).

- **Warum interessant?**

Falls  $> | -1 |$  (elastisch), dann führt

- Eine Preiserhöhung zu weniger Umsatz der Verkehrsbetriebe
- Eine Preissenkung zu mehr Umsatz

**Elastizität der Nachfrage nach ÖPNV in Bezug auf das Einkommen** (Einkommenselastizität der Nachfrage).

- **Warum interessant?**

1. Falls  $> 0$ , dann führt ein Anstieg des Einkommens zu mehr Nachfrage (ÖPNV ist „normales Gut“)
  2. Falls  $< 0$ , dann führt ein Anstieg des Einkommens zu weniger Nachfrage (ÖPNV ist ein „inferiores Gut“)
- Wenn der 2. Fall relevant ist: Wie kann der ÖPNV den Charakter eines inferioren Gutes überwinden?
  - Wir erleben gerade durch die Inflation einen Rückgang der realen Einkommen!



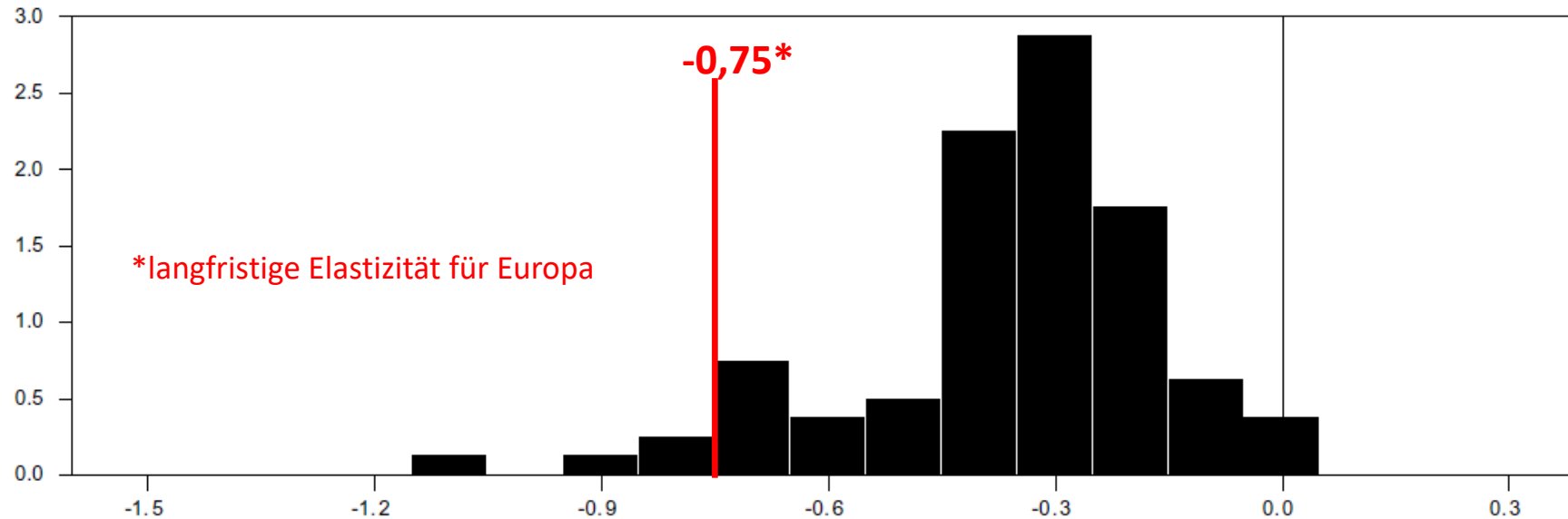
# Methoden II: Meta-Analysen

## Hier: zur ÖPNV-Nutzung

- Wie in der medizinischen Forschung: Um zu Schlussfolgerung zur Wirksamkeit von Therapien („Hebelfaktoren“) zu kommen, werden Meta-Analysen genutzt, die die vielen existierende Studien zusammenfassen.
- „Gewichtete“ Mittelwerte der Ergebnisse der Studien, wobei das Gewicht auf der Qualität (Methoden, Daten) der Studien basiert
- Kontrolle für Länder, Zeiten der Studien etc.
- Hier: Holmgren (2007) basierend auf bis zu 81 Studien  
 Holmgren, J. (2007). Meta-analysis of public transport demand. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 41(10), 1021-1035.

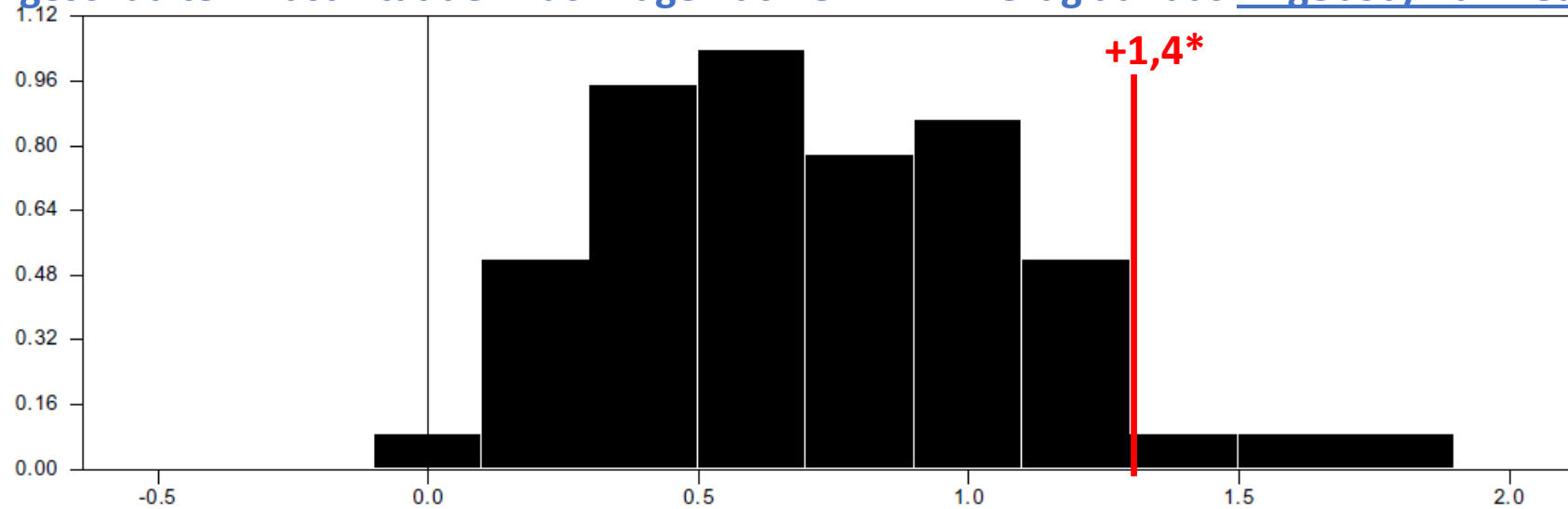
# Methoden II: Meta-Analyse zur ÖPNV-Nutzung

Verteilung der geschätzten Elastizität der Nachfrage nach ÖPNV in Bezug auf den Ticketpreis (N=81 Studien)

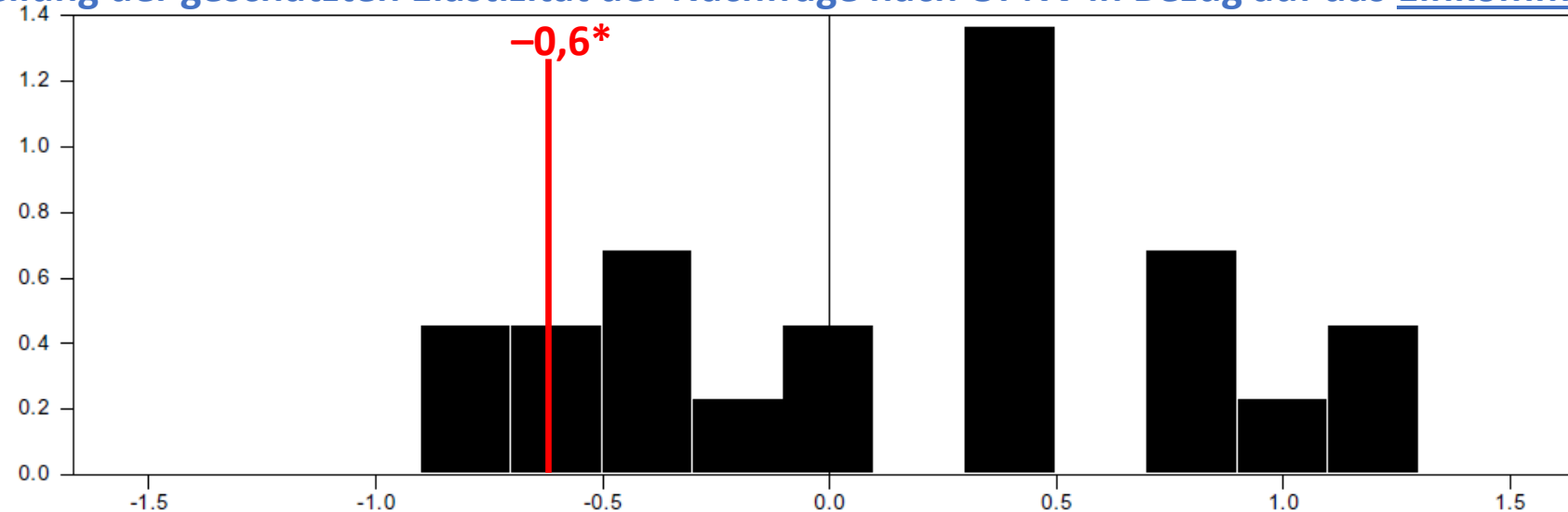


- Nachfrage reagiert langfristig auf Preisänderungen
- Die langfristigen Umsatzeinbußen bei Ticketpreissenkungen sind moderat:
  - Reduktion der Ticketpreise um 10%...
  - ...erhöht die Nachfrage um 7,5%
  - ...und senkt damit den Umsatz um 2,5%

Verteilung der geschätzten Elastizität der Nachfrage nach ÖPNV in Bezug auf das Angebot / Fahrzeugkilometer (N=58)

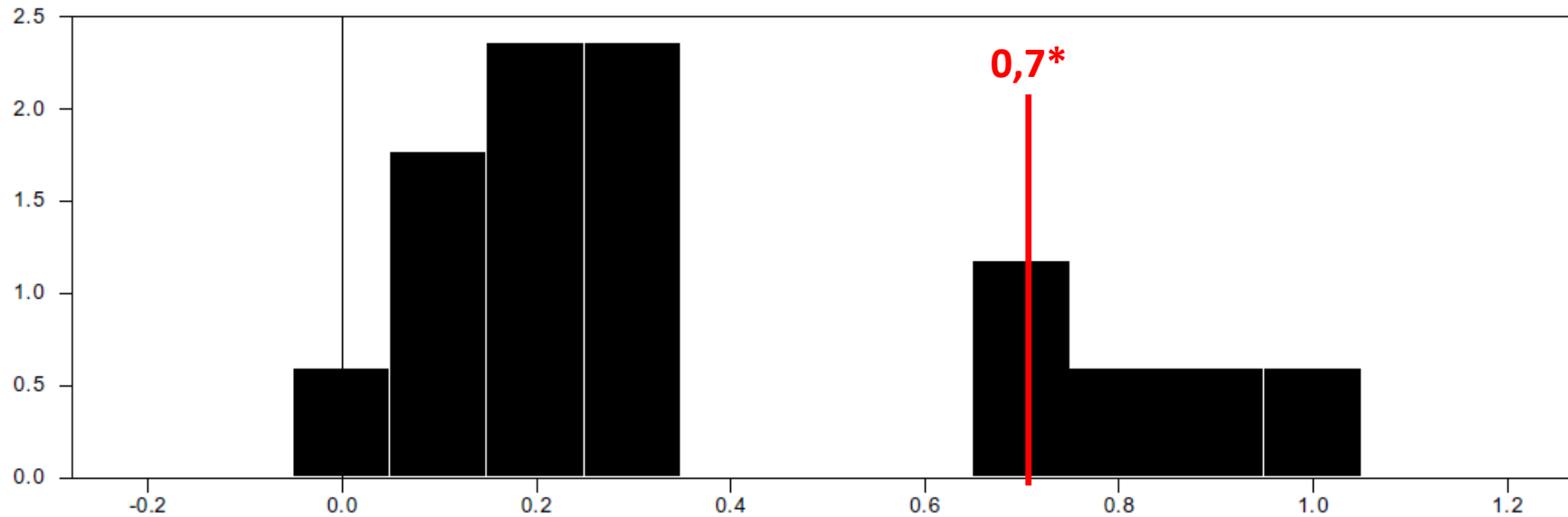


Verteilung der geschätzten Elastizität der Nachfrage nach ÖPNV in Bezug auf das Einkommen (N=22)

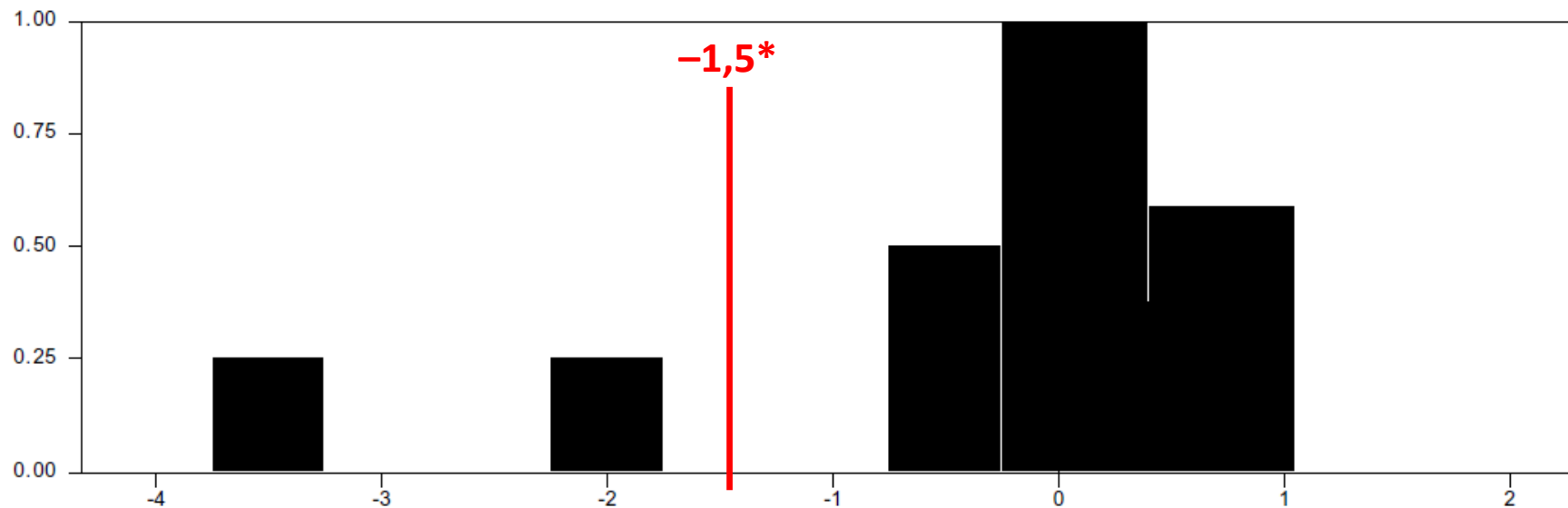


# Methoden II: Meta-Analyse zur ÖPNV-Nutzung (Holmgreen 2007)

Verteilung der geschätzten Elastizität der Nachfrage nach ÖPNV in Bezug auf den Benzinpreis (N=17)



Verteilung der geschätzten Elastizität der Nachfrage nach ÖPNV in Bezug auf Autobesitz (N=8)



# Einige Schlussfolgerung bzgl. ÖPNV aus Holmgreen (2007)



1. Nachfrage reagiert langfristig deutlich (aber nicht elastisch) auf Preisänderungen ( $E=-0,75$ ).
  - Die langfristigen Umsatzeinbußen bei Ticketpreissenkungen sind moderat.
2. Eine Erweiterungen des Angebots um 1%, erhöht die Nachfrage um 1,4%.
  - Investitionsentscheidung: Erhöht ein zusätzlicher Euro für Ticketpreissenkungen oder für Ausbau des Angebots die Nachfrage stärker?
3. In Europa ist ÖPNV ein „inferiores Gut“
  - Wer es sich leisten kann, nutzt lieber das Auto
4. Der Rückgang des Autobesitzes in Städten bei jungen Generationen erhöht die Nachfrage nach ÖPNV



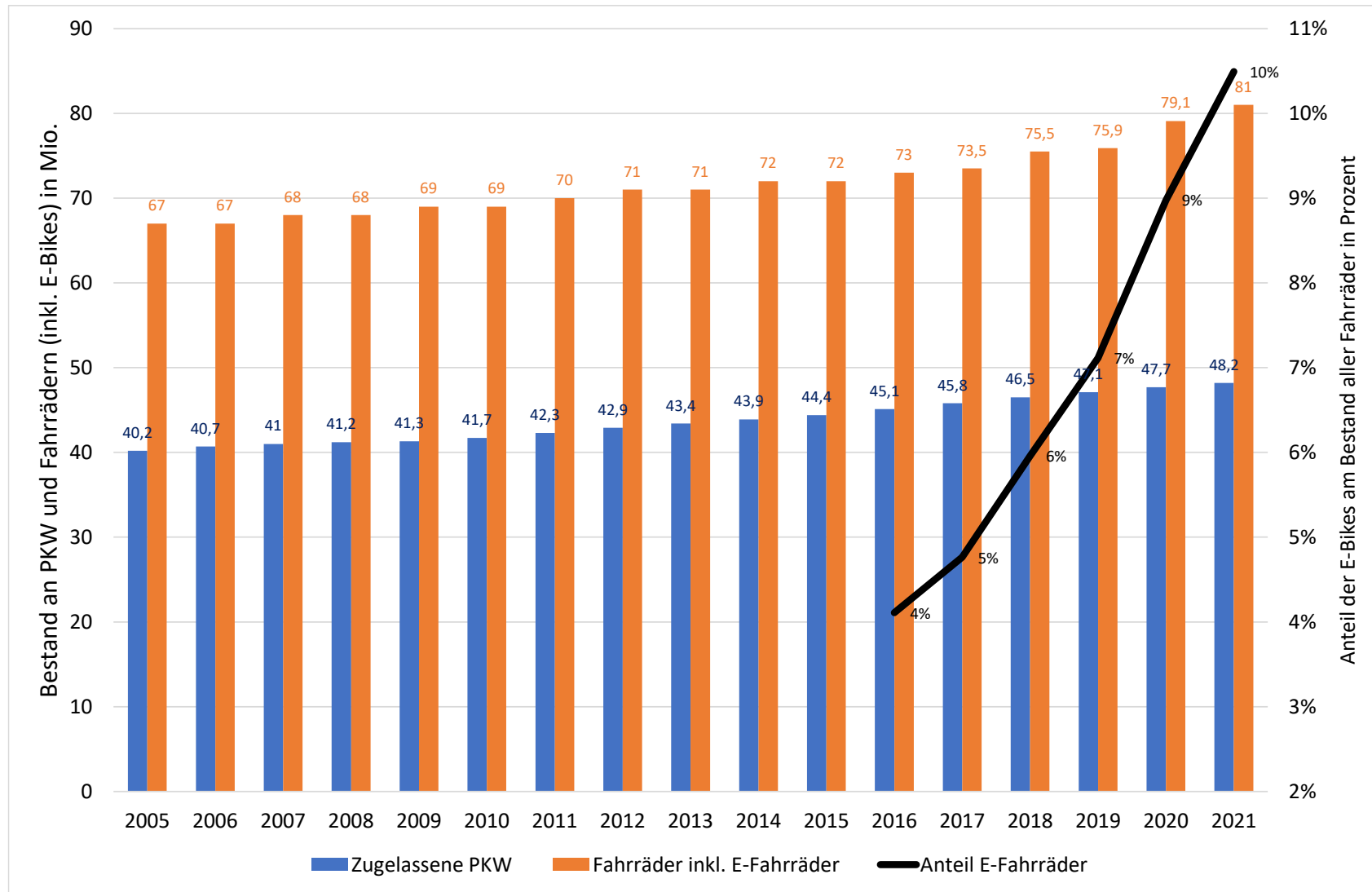
# Einige Hebelfaktoren für die Radnutzung gemäß der Meta-Analyse von Reinfeld (2022) – siehe Handout

- + Verfügbarkeit von ÖPNV
- + Parkplatzsuchdauer
- + Parkgebühren
- + Radinfrastruktur
- + Bevölkerungsdichte

- „schlechtes“ Wetter
- Distanz zum Ziel
- Gepäck
- Mitfahrende
- PKW-Besitz



# Game Changer E-Bikes?



## Entwicklung 2016-2021:

PKW: + 3,1 Mio. (+7%)

konv. Räder: + 2,5 Mio. (+4%)

E-Bikes: + 5,5 Mio. (+183%)

## Verkauf von Fahrrädern

Jahr	Gesamt in Mio.	Anteil E-Bikes
2015	4,4	12%
2016	4,1	15%
2017	4,0	18%
2018	4,2	24%
2019	4,3	32%
2020	5,0	39%
2021	4,7	43%

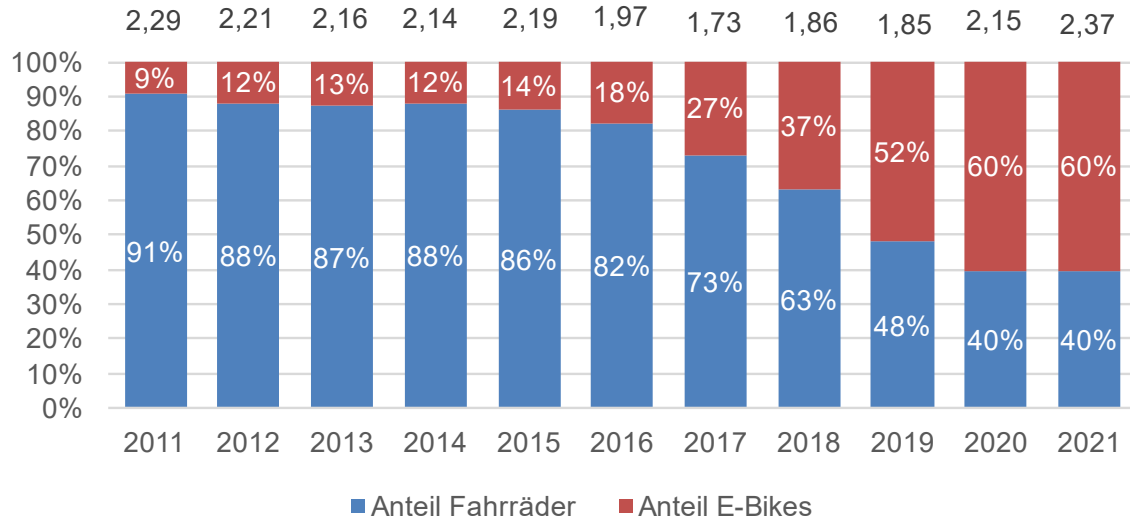
Quellen: Kraftfahrt-Bundesamt, Zweirad-Industrie-Verband, Statista, eigene Darstellung



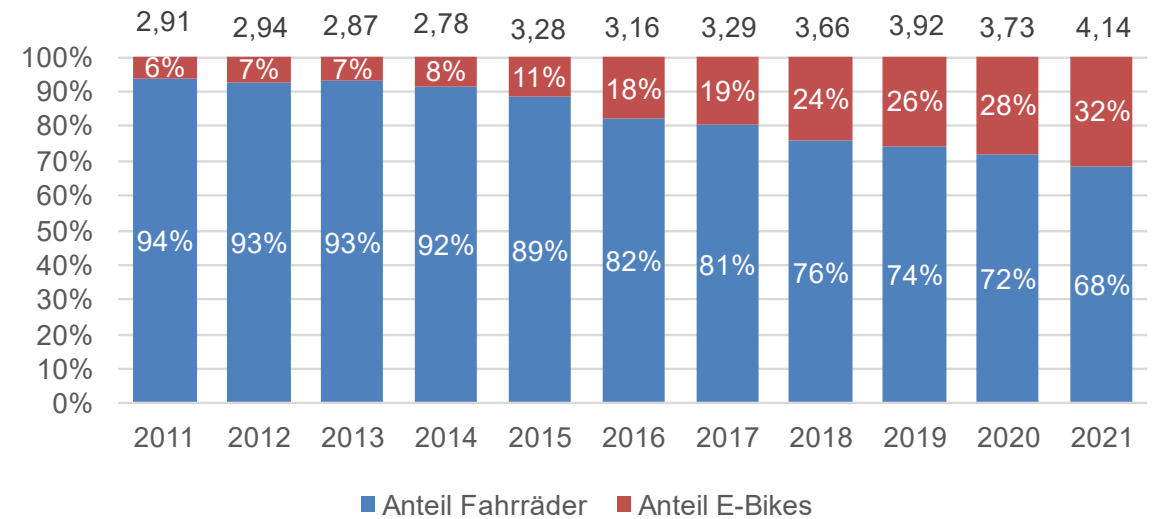
# Game Changer E-Bikes?



## Entwicklung der Produktionsanteile von Fahrrädern und E -Bikes in Deutschland



## Entwicklung der Importanteile von Fahrrädern und E -Bikes nach Deutschland



# Game Changer E-Bikes?



- Der Fahrradboom ist zu einem großen Teil ein E-Bike-Boom
- **Meta-Analyse zu Wirkungen von E-Bikes:** Substitution von Trips aufgrund der Anschaffung eines E-Bikes:

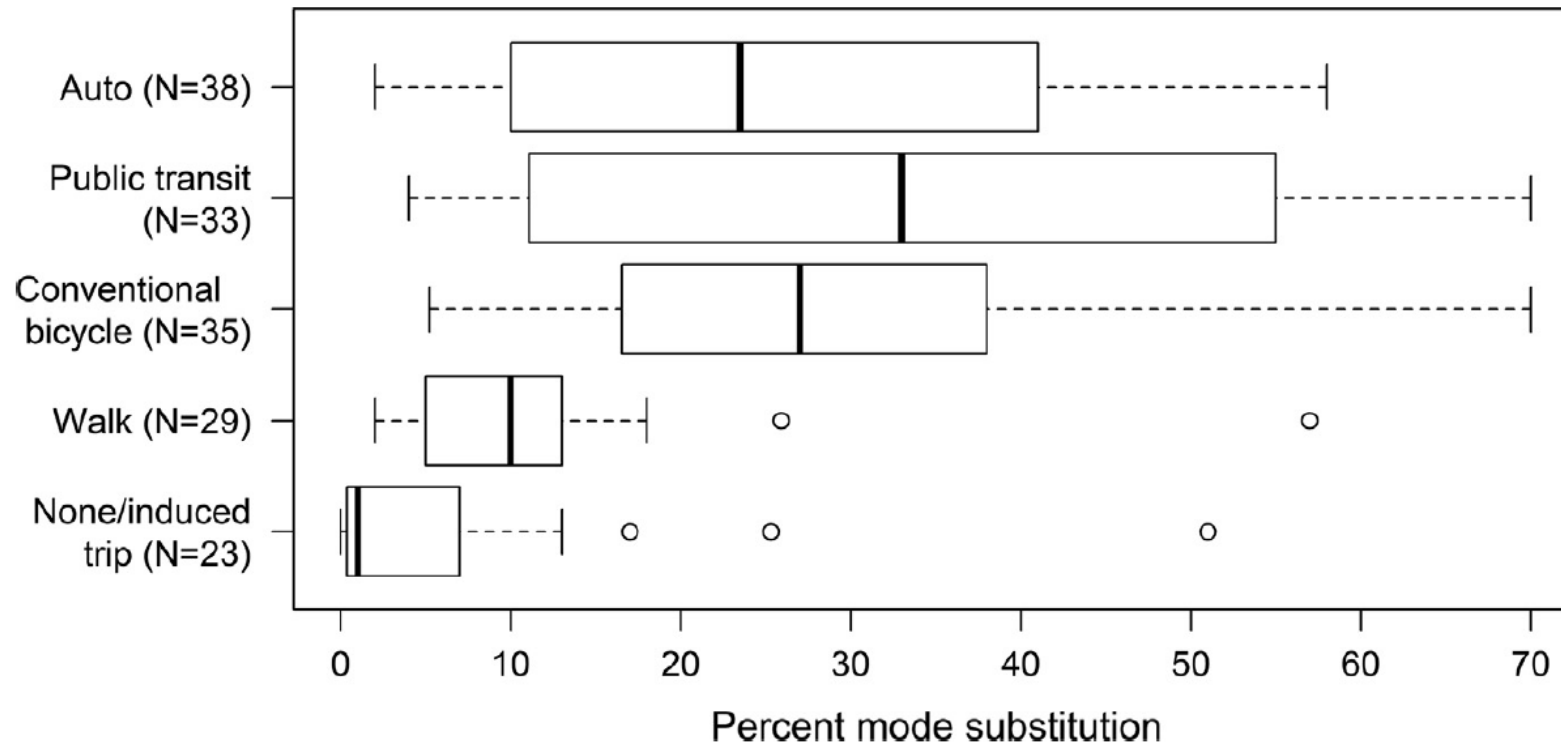


Fig. 1. Boxplots of mode substitution reported across studies (circles indicate statistical outliers).

## Neuere Entwicklungen bei der Ermittlung kausaler Effekte (von Maßnahmen)

- Seit ca. 20 Jahren: Gewisse Skepsis gegenüber Regressionsanalyse zur Ermittlung kausaler Effekte von (0/1)-Maßnahmen (bzgl. der sog. „internen Validität“)
- Wie macht das die medizinische Forschung? → **Kontrolliert randomisierte Studien.**
- Lösungsansatz I: **Kontrolliert randomisierte Studien auch in der Mobilitätsforschung**
- Lösungsansatz II: **Quasi-Experimentelle Methoden**
  - Differenz-von-Differenzen für „natürliche Experimente“
  - Regression Discontinuity Design

# Methoden III: Kontrolliert Randomisierte Studien

Beispiel: München (Bamberg / Rees, 2017)

- Neubürger\*innen Münchens wurden zufällig in zwei Gruppen (Teilnehmer- vs. Kontrollgruppe) aufgeteilt
- Die Personen aus der Teilnehmergruppe erhielten ein Informationspaket:
  - ein individuelles Anschreiben,
  - eine Broschüre mit Informationen über ÖPNV, Radfahren und das Zufußgehen;
  - einen Stadtplan mit allen ÖPNV-Linien und Haltestellen und
  - eine "Servicekarte", mit der zusätzliche Informationsbroschüren angefordert werden können (z.B. kleine Taschenfahrpläne für bestimmte ÖPNV-Strecken, Führer für Wander- und Radtouren in und um München usw.).  
Mit der Servicekarte konnte eine kostenlose ÖPNV-Wochenkarte für alle Verbindungen in und um München beantragt werden.
- Im Anschluss wurden die Gruppen interviewt.

# Methoden III: Kontrolliert Randomisierte Studien

Beispiel: München (Bamberg / Rees, 2017)

Anteil der Wege mit ÖPNV (Beispiel München)

Zufällige  
Zuordnung

		<b>Nachher</b>	
Teilnehmergruppe		43,3%	
Kontrollgruppe		33,5%	
<b>Differenz</b> (p-Wert)		<b>+9,8 %-Pkte</b> (0,001)	

# Methoden IV: Quasi-Experimente

## Natürliches Experiment / Differenz-von-Differenzen

### Beispiel: Effekte der Impfung auf die ÖPNV-Nutzung (Hagen / Sunder, 2022)

Nutzung öffentlicher Verkehrsmittel (Mittelwert der Tage pro Woche) – Vergleich der Gruppe der im Sommer 2021 immunisierten Personen mit der Gruppe der im Sommer 2021 nicht immunisierten Personen.

	<b>Vorher (2020)</b>	<b>Nachher (2021)</b>	<b>Differenz</b>
Teilnehmergruppe	0,81	0,66	-0,15
Kontrollgruppe	0,97	0,87	-0,10
<b>Differenz</b>	-0,16	-0,21	<b>-0,05</b>

Differenz-von-Differenzen

→ Kein statistisch signifikanter (positiver) Effekt



# Methode IV: Quasi-Experimente

## Regression Discontinuity Design

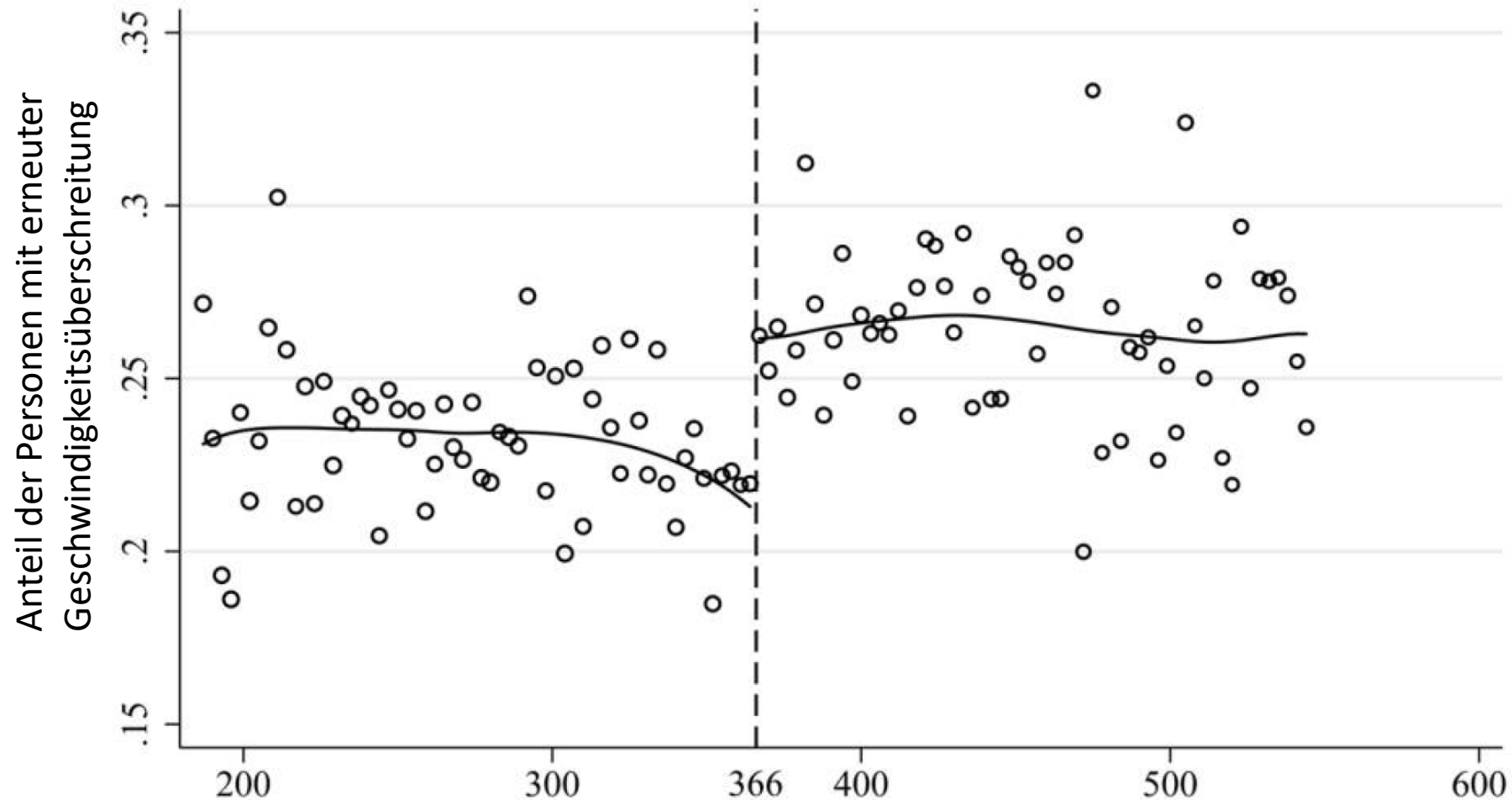
- Gehrsitz (2017): Welchen Effekt hat drohender Führerscheinentzug für einen Monat auf Geschwindigkeitsüberschreitungen in Deutschland?
- Regelung: „Wird ein Fahrverbot wegen beharrlicher Verletzung der Pflichten eines Kraftfahrzeugführers zum ersten Mal angeordnet, so ist seine Dauer in der Regel auf einen Monat festzusetzen. Ein Fahrverbot kommt in der Regel in Betracht, wenn gegen den Führer eines Kraftfahrzeugs wegen einer Geschwindigkeitsüberschreitung von mindestens 26 km/h bereits eine Geldbuße rechtskräftig festgesetzt worden ist und er innerhalb eines Jahres seit Rechtskraft der Entscheidung eine weitere Geschwindigkeitsüberschreitung von mindestens 26 km/h begeht.“BKatV, § 4.
- Idee: Ob jemand nach 365 Tagen oder nach 366 Tagen eine wiederholte Geschwindigkeitsüberschreitung begeht, wird determiniert durch die Angst vor dem Führerscheinentzug.
- Daten: Verkehrszentralregister





# Methode V: Regression Discontinuity Design

Gehrsitz (2017)



Anzahl der Tage zwischen dem Datum, an dem die erste Strafe rechtskräftig wurde, und dem Datum einer erneuten Geschwindigkeitsüberschreitung.

# Fazit

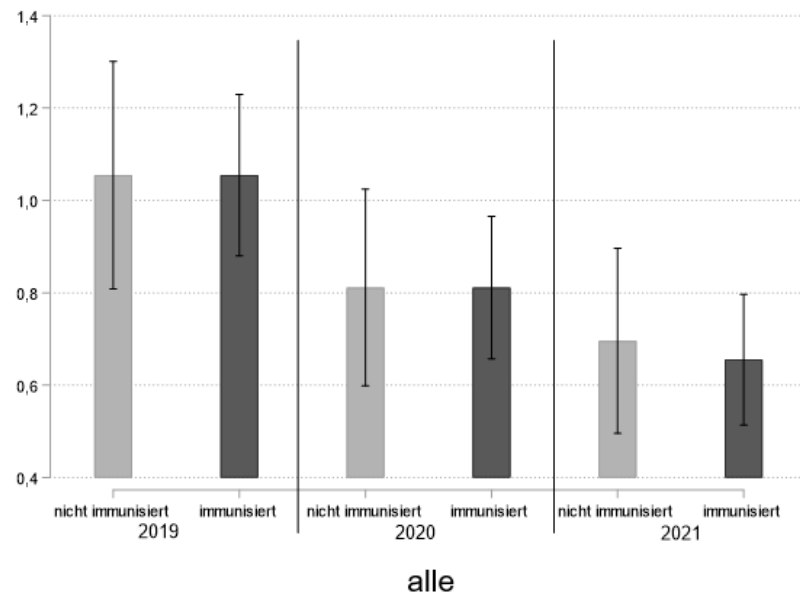
## Methodisch:

- Es gibt international eine Vielzahl von Studien zu „Hebelfaktoren“.  
Sinnvoll ist die Betrachtung existierender Meta-Analysen (→ siehe Handout)
- In den letzten Jahren: Vermehrt (quasi-)experimentelles Studiendesign.  
Vorteile bzgl. der „*internen Validität*“ (=geschätzter Effekt lässt sich kausal interpretieren),  
ggf. Schwächen bei „*externer Validität*“ (=geschätzter Effekt ist nicht repräsentativ)

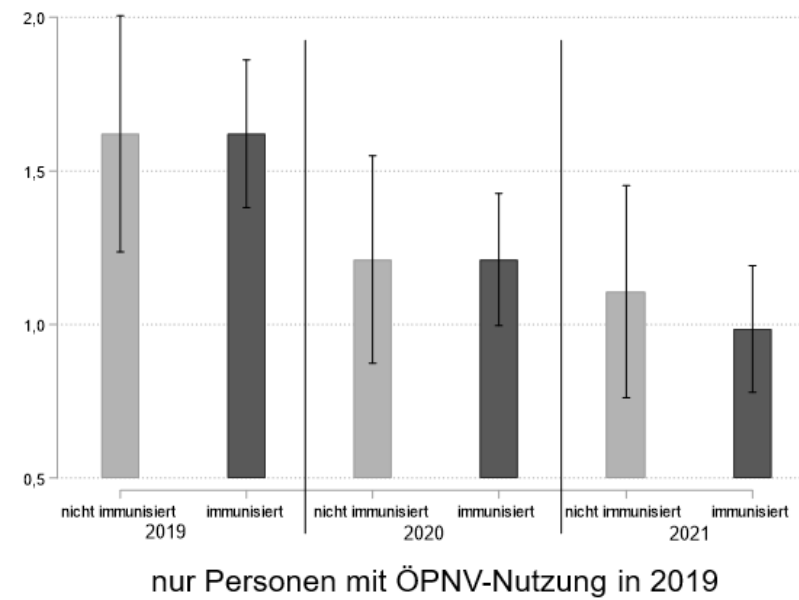
## Inhaltlich:

- Die ÖPNV-Nachfrage reagiert langfristig deutlich auf Ticketpreisänderungen, das ÖPNV-Angebot, den PKW-Besitz und den Benzinpreis.
- In der Vergangenheit hatte der ÖPNV in Europa den Charakter eines „*inferioren Gutes*“  
(Einkommen $\uparrow$   $\Rightarrow$  ÖPNV-Nachfrage $\downarrow$ )
- Umso unattraktiver PKW-Nutzung in Städten (Parken!), desto attraktiver die Radnutzung.  
Verfügbarkeit von ÖPNV erhöht die Radnutzung!  
→ Rad und ÖPNV sind teilweise eher komplementär als substitutiv! → intermodale Verknüpfung (Allerdings: E-Bike?)

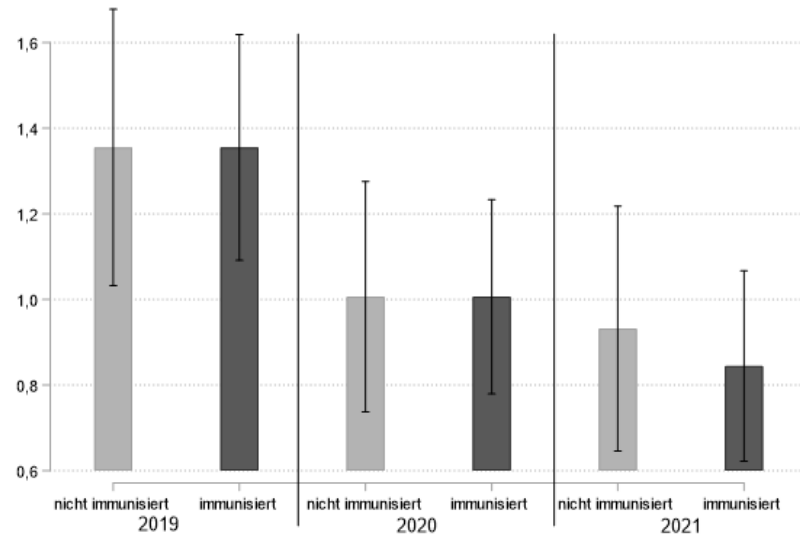
# Anhang



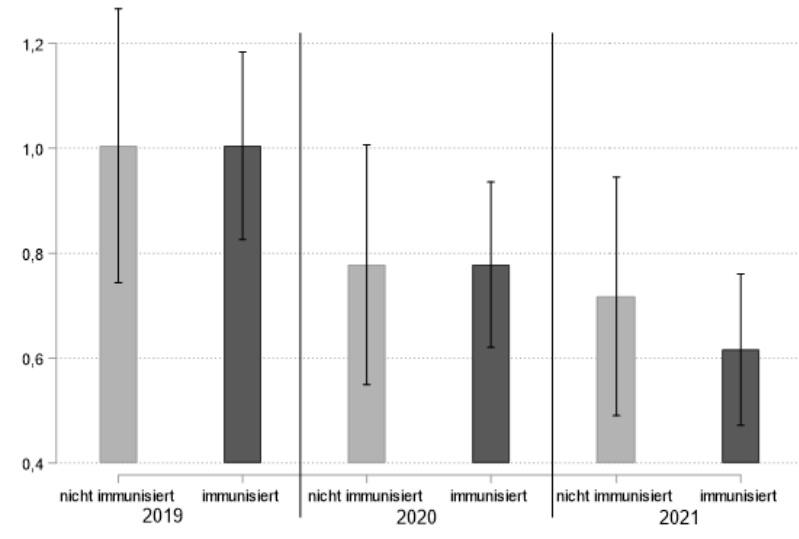
alle



nur Personen mit ÖPNV-Nutzung in 2019



nur Personen bis 60 im Jahr 2020



nur Personen ab 30 im Jahr 2020

: Nutzung öffentlicher Verkehrsmittel (Mittelwert der Tage pro Woche und 95 %-Konfidenzintervall) – Vergleich der Gruppe der im Sommer 2021 immunisierten Personen im Jahr 2021 mit der Gruppe der im Sommer 2021 nicht immunisierten Personen (mittels Entropy Balancing **gewichtete** Stichprobe der noch nicht immunisierten Personen)