

Prof. Jürgen Wrede
Institute for
Smart Bicycle Technology
Hochschule Pforzheim

Bericht 18.02.26
Forschungsprojekt **KombiABS** –
Kombibremse/ABS für S-Pedelecs und
Fahrräder/Pedelecs

Projekt „KombiABS“

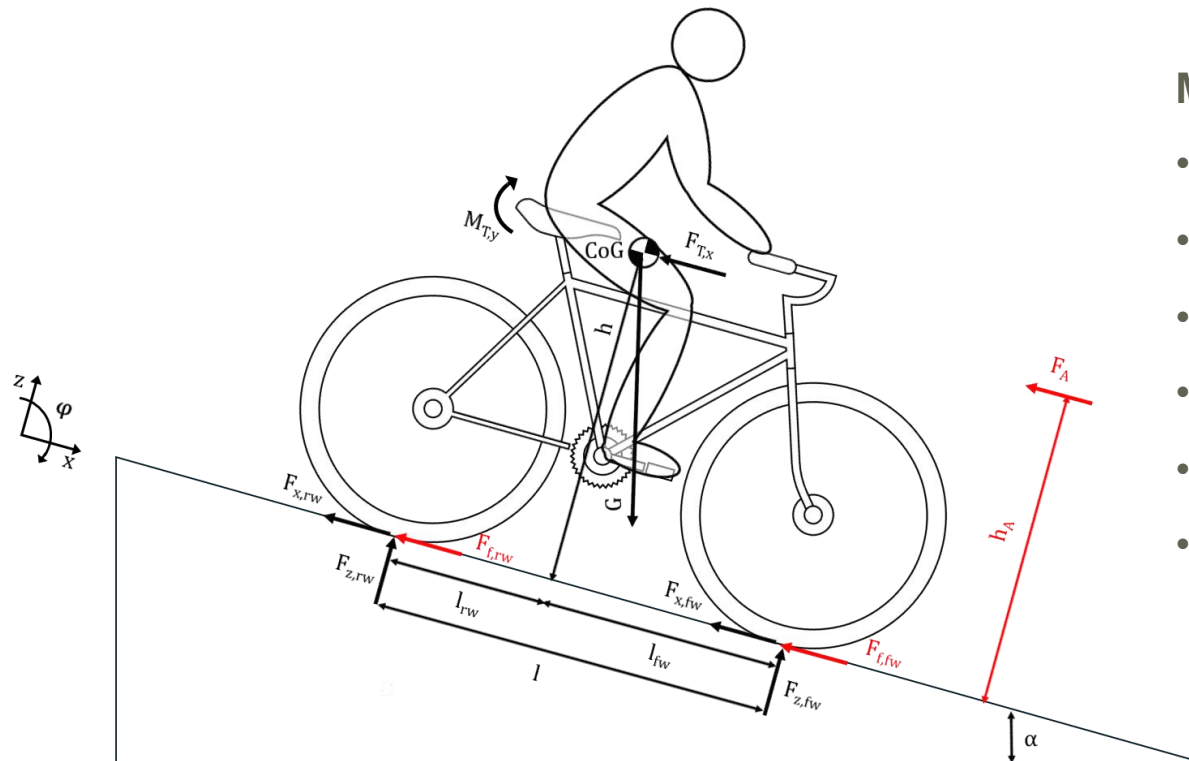


Aktivitäten in 3 Bereichen:

1. Computersimulation von **Verzögerung**/Bremsweg des Pedelecs bei verschiedenen Bremskraftverteilungen
2. Nutzerbefragung des **Bremsverhaltens** von Radfahrenden mit Agentur
3. Aufbau eines S-Pedelec-Versuchsträgers, mit dem sich **beliebige Bremshebelzuordnungen und Bremskraftverteilungen durch Software-Programmierung** einfach darstellen lassen, um so die optimale Konfiguration zu finden.

Projekt „KombiABS“

Computersimulation: Erweitertes Modell aus Diss. O. Maier



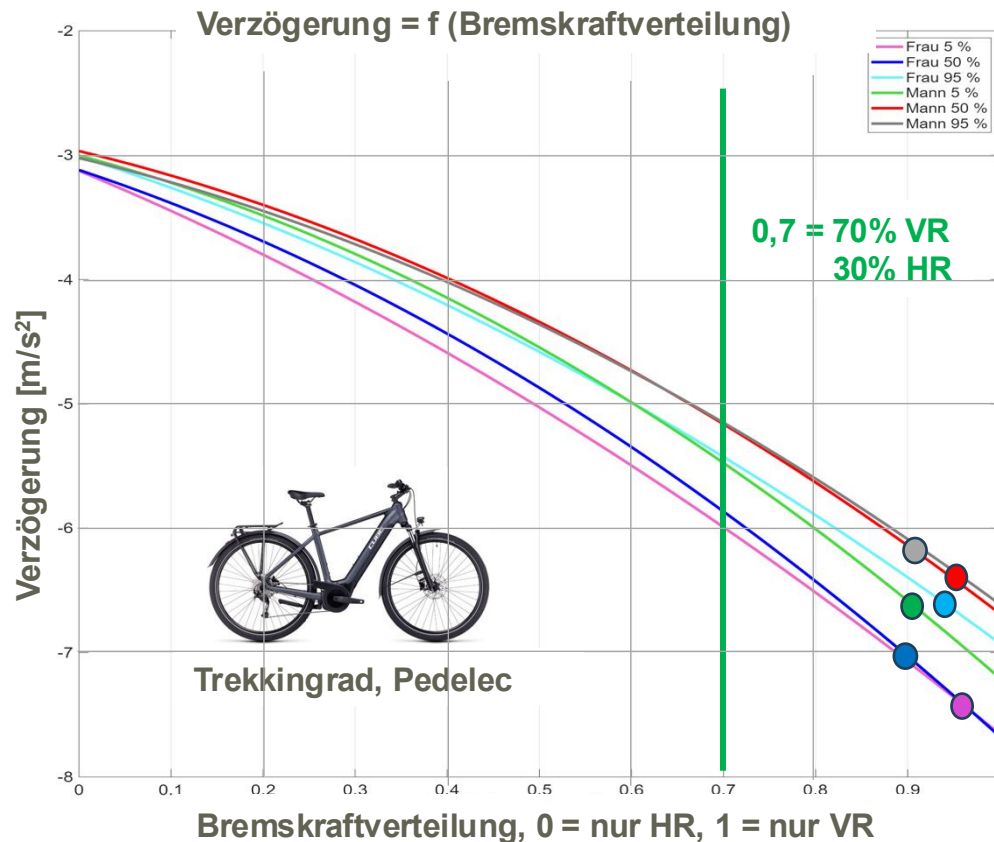
Modellannahmen:

- mit Luftwiderstand
- mit Rollwiderstand
- mit Massenträgheitsmomenten
- **gedeferte** Vorderradgabel
- Reifenmodell nach Paceijka
- Bremsdruckrampe

Projekt „KombiABS“

Computersimulation, erweitertes Modell aus Diss. O.Maier

Bremssituation: $v_0 = 25$ km/h, 5% bergab, $\mu_{\max} = 0,8$, Bremsdruckgradient 30 bar/s



Simulationsparameter

für 50. Perzentil Mann:

Gesamtmasse Rad+Fahrer	108,6 kg
Massenträgheitsmoment Fahrer	7,77 kg m²
Radstand	1,11 m
Höhe Gesamt-Schwerpunkt	0,92 m
Abstand Schwerpunkt – HA	0,47 m
Rollwiderstandsbeiwert	0,01

Abbruchkriterien:

Blockieren Hinterrad

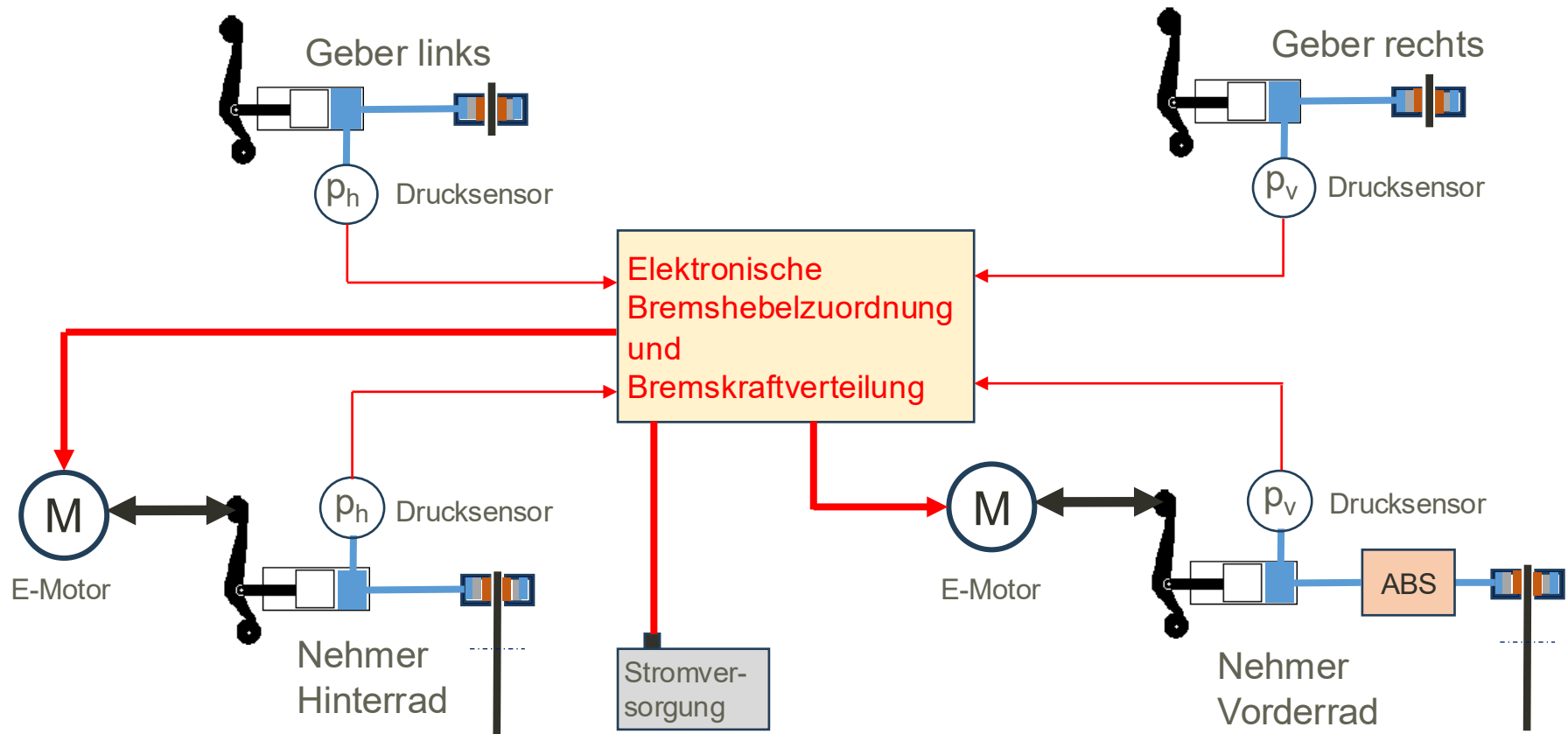
Blockieren Vorderrad (tritt hier nicht auf)

Abheben Hinterrad (●,...)

Projekt „KombiABS“

Konzept für Pedelec-Versuchsträger mit elektronischem Bremskraftverteiler

Backup: 2. Bremse an Vorderrad (nicht dargestellt)



Projekt „KombiABS“

S-Pedelec als Versuchsträger mit elektronischem Bremskraftverteiler



EC-Getriebemotor von
Fa. Faulhaber mit Seilrolle
und Bowdenzug auf
Bremshebel Fa. Magura

S-Pedelec Riese & Müller
ATB Hardtail
Charger4 Touring HS
Bosch Antrieb
Hydr. Scheibenbremse Magura
Bosch ABS Gen2

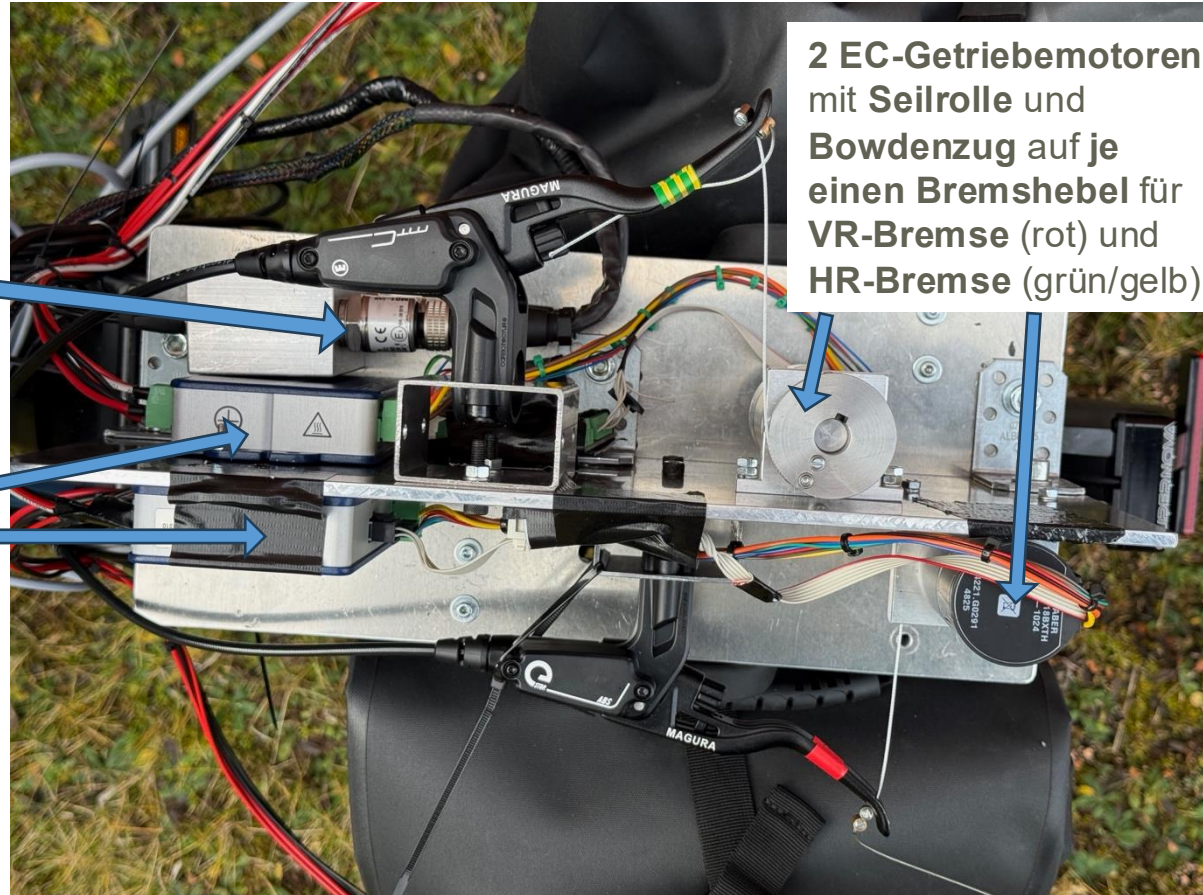
Projekt „KombiABS“

Mechatronische Bremsbetätigung mit EC-Motor und Bowdenzug

Solldrucksensoren,
messen Druck vom
linken und rechten
Bremshebel am Lenker

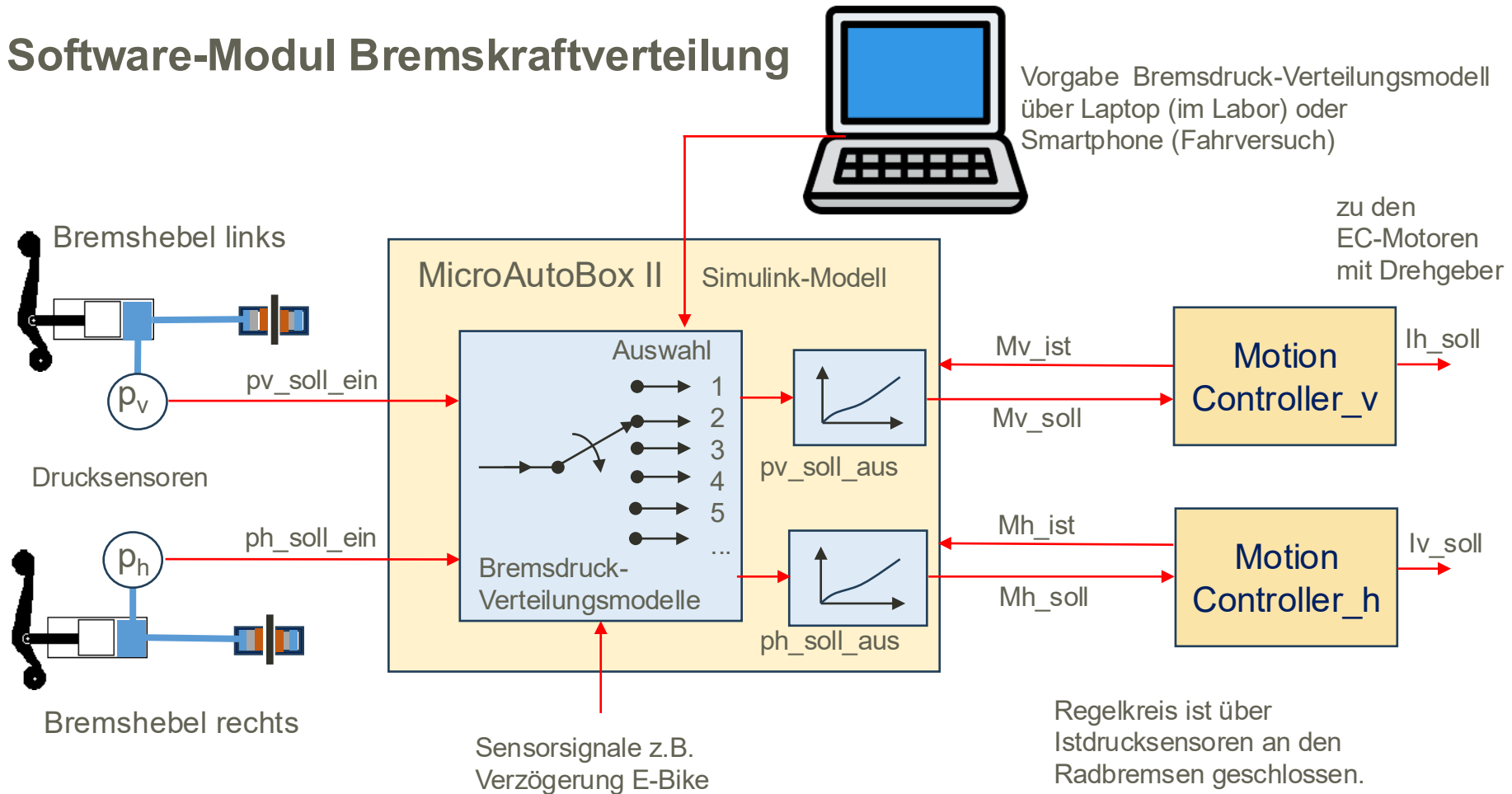
2 Motion Controller
für je einen EC-Motor

2 EC-Getriebemotoren
mit **Seilrolle** und
Bowdenzug auf je
einen **Bremshebel** für
VR-Bremse (rot) und
HR-Bremse (grün/gelb)



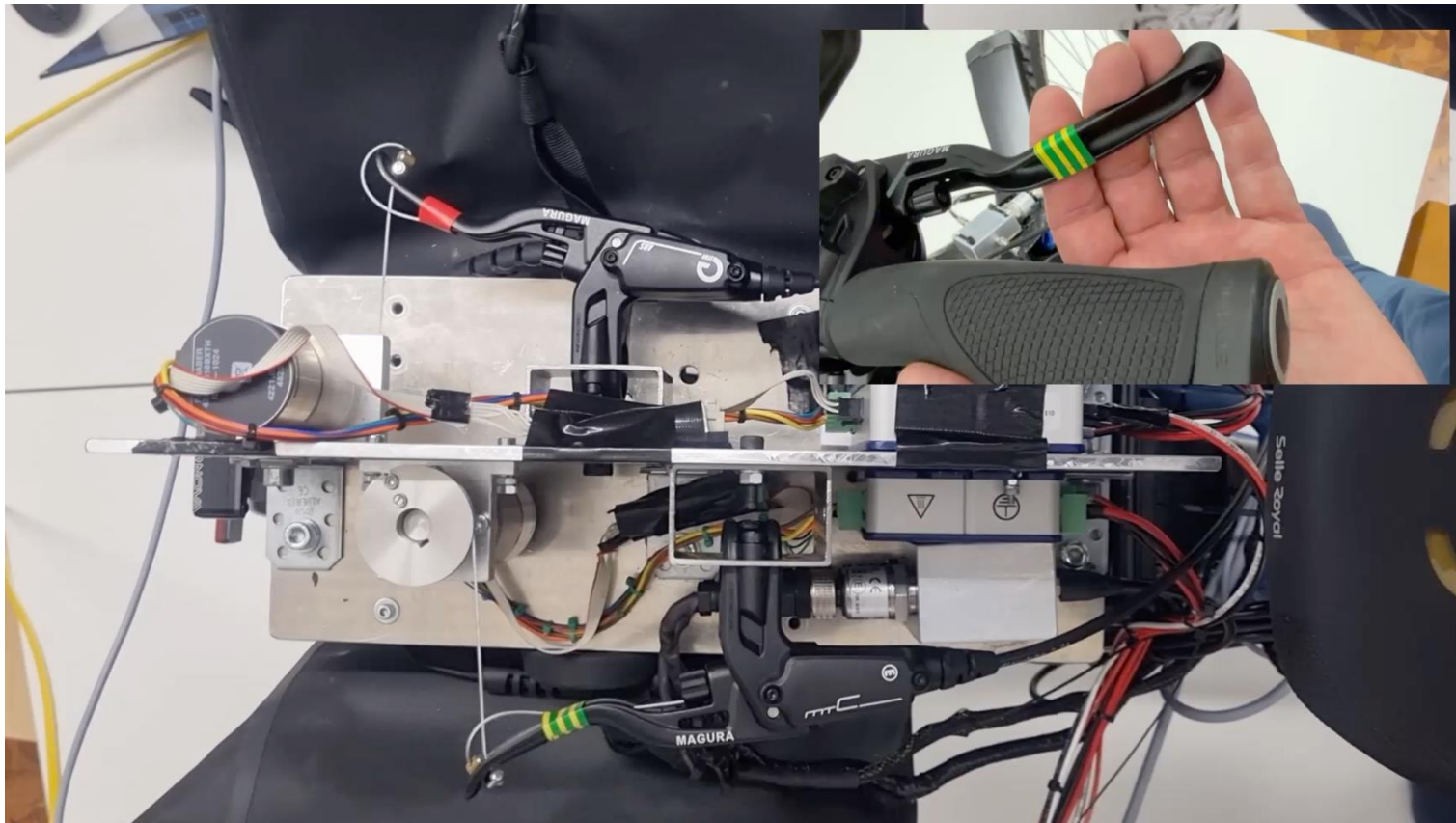
Projekt „KombiABS“

Software-Modul Bremskraftverteilung



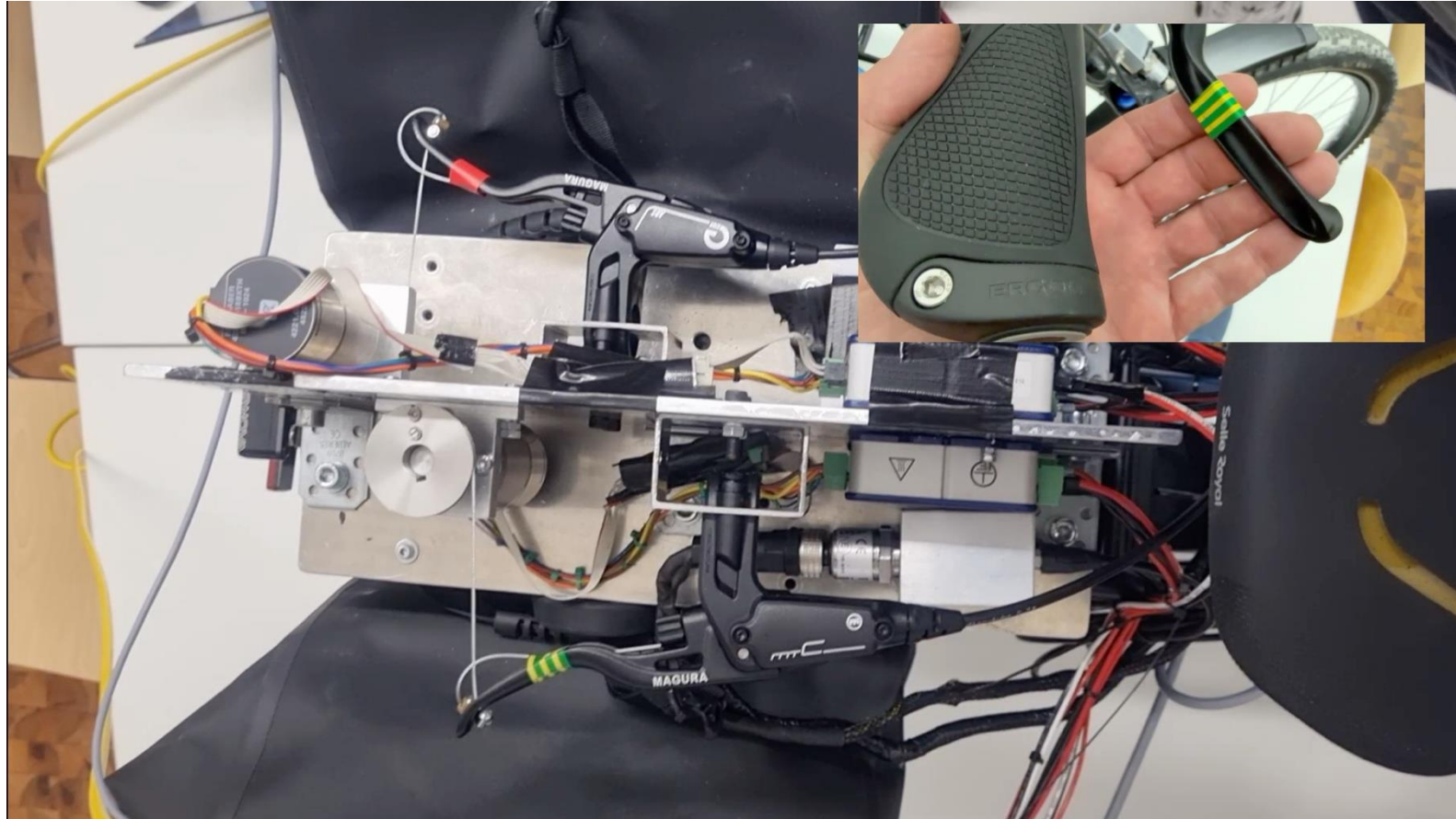
Projekt „KombiABS“

Demovideo: rechter Bremshebel betätigt nur HR-Bremse



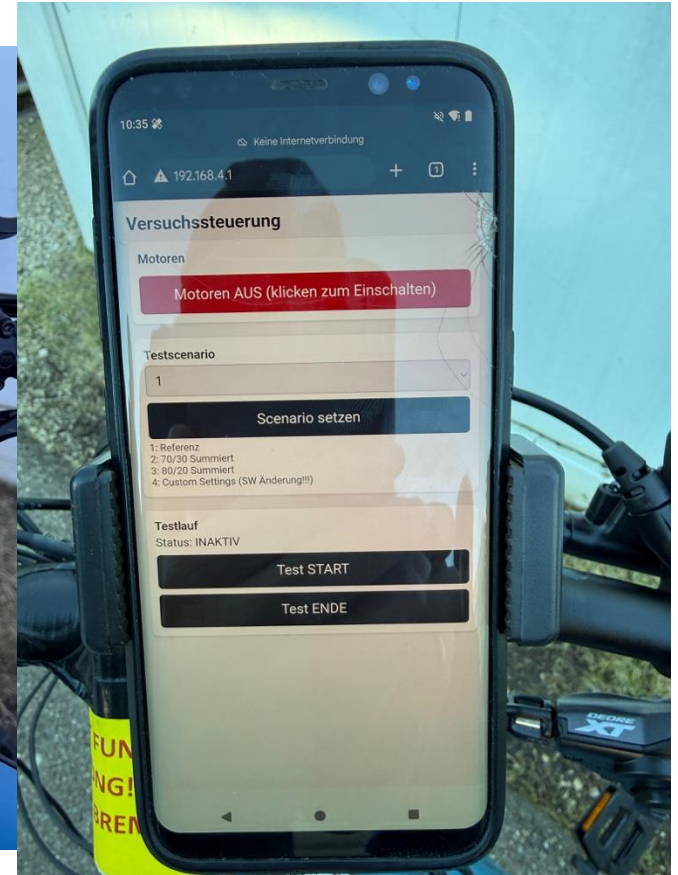
Projekt „KombiABS“

Demovideo: rechter Bremshebel betätigt HR- und VR-Bremse



Projekt „KombiABS“

Einstellung von Bremshebelzuordnung und Bremskraftverteilung per Smartphone



Projekt „KombiABS“

Bremsversuche auf Teststrecke mit Fa. Bosch und Fa. Magura



Projekt „KombiABS“

Sinnvolle Bremshebelzuordnungen und Bremskraftverteilung

a) Rechter Bremshebel wirkt auf HR-Bremse (30%) und VR-Bremse (70%)

Linker Bremshebel wirkt nur auf VR-Bremse

Beide Bremshebel betätigt:

additiv: Bremskraftverteilung verändert sich zu Gunsten des VR

Maximumauswahl: nicht intuitiv, da sich Verzögerung

mit zusätzlicher Betätigung nicht verändert

b) Beide Bremshebel wirken gleichermaßen auf HR-Bremse (30%) und VR-Bremse (70%)

additiv: Bremskraftverteilung bleibt unabhängig von Betätigung immer gleich

Bremswirkung ist unabhängig von Fahrerkenntnissen und Hebelbetätigung li/re

Projekt „KombiABS“

Bisherige Ergebnisse der Bremsversuche und Fazit

1. Der Brake-by-Wire S-Pedelec Versuchsträger ermöglicht es, auf einfache Weise verschiedene Bremshebelzuordnungen und Bremskraftverteilungen per Software einzustellen, um im Bremsversuch die optimale Konfiguration zu finden.
2. Ansprechzeiten und Bremsgefühl der mechatronischen Regelung sind schon ganz OK, aber noch zu optimieren (Ziel: möglichst genau wie konventionelle hydraulische Scheibenbremse).
3. Die Kombibremse hat Potenzial, die Brems-Sicherheit von Pedelecs und S-Pedelecs zu steigern und sollte in Kombination mit ABS weiter untersucht werden.
4. Für eine mögliche Serienrealisierung der Kombibremse kommen aus Kosten- und Sicherheitsgründen aus heutiger Sicht nur rein hydraulische Konzepte in Frage.

Projekt „KombiABS“

**Vorstellung der Pilotumfrage (150 Befragte) zum Bremsverhalten auf ICSC25,
Nov 25 in Oslo**



Projekt „KombiABS“



Modifizierte Umfrage zum Bremsverhalten – 1000 Radfahrende

Methode: Umfrageinstitut, online mit smartphone

Grundauswahl:

- 1000 Radfahrer*innen in D, die in 2025 mindestens 10x Rad gefahren sind
- 49,9% Männer, 49,9 % Frauen, 0,2% divers
- 6 Altersgruppen: 16-19, 19-29, 30-39, 40-49, 50-59, 60-79

Projekt „KombiABS“

Modifizierte Umfrage zum Bremsverhalten – 1000 Radfahrende

Inhaltliche Fragen

- 1) Sind Sie Links- oder Rechtshänder? **Nur 1 Auswahl**
 - a) Rechtshänder
 - b) Linkshänder
 - c) Keine Präferenz
- 2) Wie viele verschiedene Fahrräder/Pedelecs nutzen Sie regelmäßig? **Nur 1 Auswahl**
 - a) nur eines
 - b) zwei
 - c) drei
 - d) mehr als drei
- 3) Welche Fahrradart nutzen Sie **überwiegend**? **Nur 1 Auswahl**
 - a) Fahrrad, ohne elektrische Unterstützung beim Pedalieren
 - b) Pedelec, elektrisch unterstützt beim Pedalieren bis 25 km/h
 - c) S-Pedelec, elektrisch unterstützt beim Pedalieren bis 45 km/h, kennzeichenpflichtig
- 4) Um welchen Fahrradtyp handelt es sich bei Ihrer Antwort aus Frage 3), den Sie **überwiegend** nutzen? (mit oder ohne elektrische Unterstützung beim Pedalieren) **Nur 1 Auswahl**
 - a) Trekkingrad
 - b) Holland-/Tourenrad
 - c) Cityrad/Urban (Stadtrad)
 - d) Mountain Bike/MTB
 - e) All Terrain Bike/ATB (straßentaugliches MTB mit Licht, Schutzblech etc.)
 - f) Rennrad/Gravel Bike
 - g) Jugendrad
 - h) Lastenrad
- 5) Wie ist das Fahrrad/Pedelec, welches Sie **überwiegend** fahren, ausgestattet?
Nur 1 Auswahl
 - a) Bremshebel links und rechts, keine Rücktrittbremse
 - b) Rücktrittbremse und Bremshebel nur rechts
 - c) Rücktrittbremse und Bremshebel links und rechts
 - d) Ich bin mir nicht sicher
- 6) Welches Bremssystem hat Ihr **überwiegend** genutztes Fahrrad/Pedelec? **Nur 1 Auswahl**
 - a) Hydraulische Scheibenbremsen
 - b) Felgenbremsen (hydraulisch oder Seilzug)
 - c) Rücktrittbremse und Felgen/Scheibenbremse
 - d) Bin mir nicht sicher
- 7) Wie nutzen Sie Ihr Fahrrad/Pedelec überwiegend?
Mehrfachauswahl
 - a) Im Alltag für Besorgungen und/oder Pendeln zur Arbeit
 - b) In der Freizeit für Genuss-Touren
 - c) In der Freizeit für sportliche Touren
- 8) Wie viele km fahren Sie üblicherweise geschätzt mit allen Ihren Fahrrädern pro Jahr? **Nur 1 Auswahl**
 - a) weniger als 500 km
 - b) zwischen 500 km und 5000 km
 - c) mehr als 5000 km
- 9) Wo fahren Sie häufig mit dem überwiegend genutzten Rad?
Mehrfachnennung
 - e) Innerorts
 - f) Ebene Strecken
 - g) Bergige Strecken

Projekt „KombiABS“

Modifizierte Umfrage zum Bremsverhalten – 1000 Radfahrende

10) Wie bremsen Sie normalerweise bei einer üblichen leichten Bremsung? **Nur 1 Auswahl**

- a) Mit dem linken Bremshebel
- b) Mit dem rechten Bremshebel
- c) Mit beiden Bremshebeln gleichzeitig
- d) Mit einem Bremshebel und Rücktrittbremse
- e) Mit beiden Bremshebeln und Rücktrittbremse
- f) Nur mit Rücktrittbremse
- g) Ich bin mir nicht sicher, mache das intuitiv

11) Wie bremsen Sie normalerweise bei einer starken Bremsung? **Nur 1 Auswahl**

- a) Mit dem linken Bremshebel
- b) Mit dem rechten Bremshebel
- c) Mit beiden Bremshebeln gleichzeitig
- d) Mit einem Bremshebel und Rücktrittbremse
- e) Mit beiden Bremshebeln und Rücktrittbremse
- f) Nur mit Rücktrittbremse
- g) Ich bin mir nicht sicher, mache das intuitiv

12) Wie oft fahren Sie mit nur einer Hand am Lenker? **Nur 1 Auswahl**

- a) nur beim Abbiegen, um Zeichen zu geben
- b) mache ich gelegentlich
- c) mache ich häufiger

13) Welches Rad bremsen Sie mit dem linken Bremshebel? **Nur 1 Auswahl**

- a) Vorderrad
- b) Hinterrad
- c) Vorder- und Hinterrad
- d) Ich bin mir nicht sicher

14) Wie verhält sich Ihr Fahrrad/Pedelec Ihrer Ansicht nach beim starken Bremsen mit dem linken Bremshebel?

Mehrfachnennung

- a) Vorderrad kann blockieren
- b) Hinterrad kann abheben
- c) Kein Unterschied zum Bremsen mit rechtem Bremshebel
- d) Ich bin mir nicht sicher

15) Fahren Sie Motorrad oder Roller? **Nur 1 Auswahl**

- a) Ja, häufig (mindestens 10 mal pro Jahr)
- b) Ja, selten (weniger als 10 mal pro Jahr)
- c) Nein

16) Wissen Sie, dass es Fahrräder/Pedelecs mit einem gut funktionierenden und zuverlässigen ABS-System (AntiBlockierSystem) bereits zu kaufen gibt? **Nur 1 Auswahl**

- a) nein
- b) ja, habe davon gehört
- c) ja, ich habe ein Fahrrad/Pedelec mit ABS

Projekt „KombiABS“

Modifizierte Umfrage zum Bremsverhalten – 1000 Radfahrende

Ergebnisse:

- 88,8% Rechtshänder, 9,1% Linkshänder, 2,1% keine Präferenz
- Wie viele Fahrräder regelmäßig genutzt: nur 1: 69,3%, 2: 27,4%, ≥ 3 : 3,3%
- Überwiegend genutzte Fahrradart: 62,8% Fahrrad, 36,2% Pedelec, 1% S-Pedelec, kaum Unterschied Mann/Frau
- Überwiegend genutzter Fahrradtyp: 41,8% City, 27,4% Trekking/ATB, 16,6% MTB, große Unterschiede zwischen Mann/Frau

Projekt „KombiABS“

Modifizierte Umfrage zum Bremsverhalten – 1000 Radfahrende

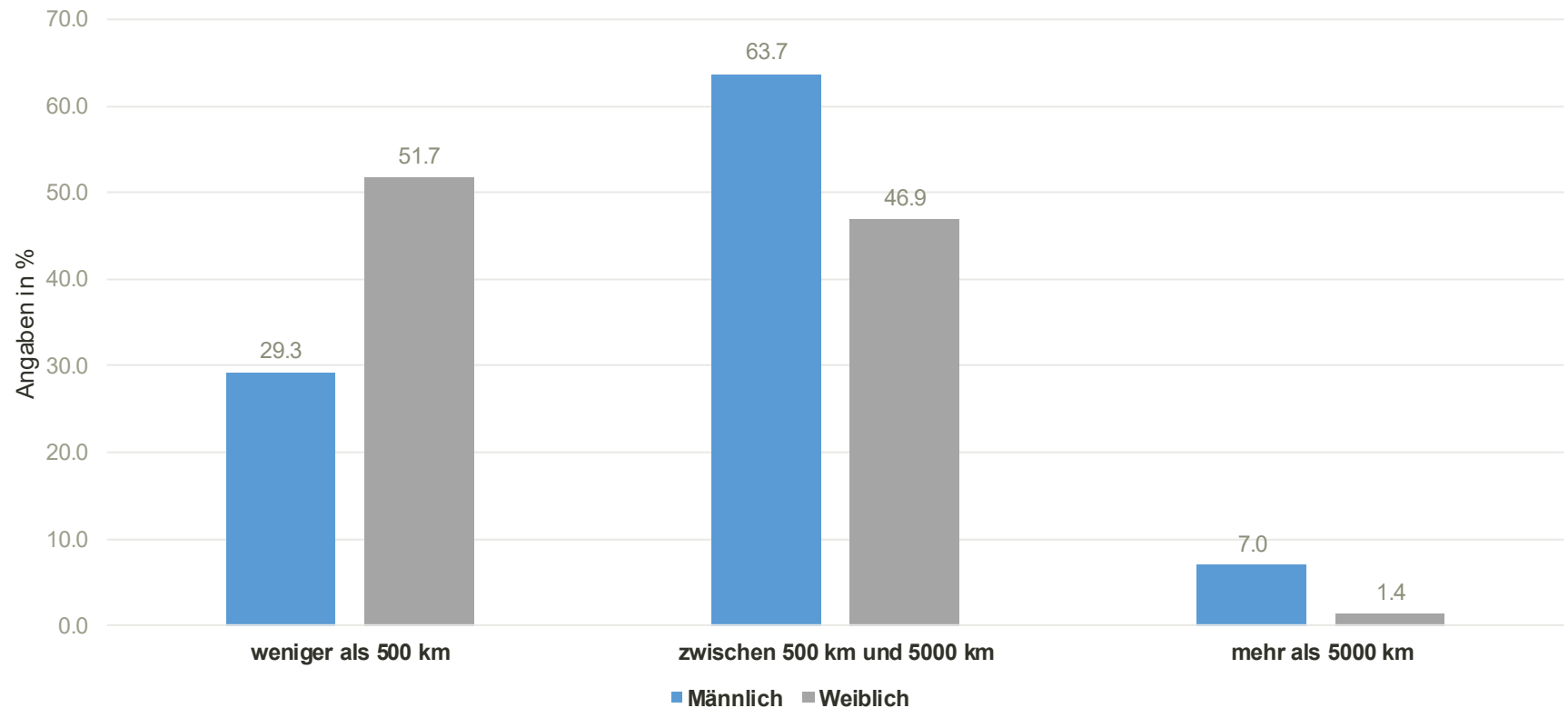
Ergebnisse:

- 32,9% Scheibenbremse, 37,8% Felgenbremse, 21,9% Rücktrittbremse, 17,4% nicht sicher, große Unsicherheit insbesondere bei Frauen: 27,3%
- Ohne Rücktrittbremse: 60,3%, mit Rücktrittbremse: 37,3% (20,5% mit 2 Bremshebeln)
- Wo? 81% innerorts, 77,1 % ebene Strecken, 24,2 bergige Strecken
- Überwiegend: 76,2% Alltag, 70,4% Freizeit/Genuss, 28,6% Freizeit Sport
- Strecke pro Jahr: 40,4% < 500 km, 55,4% 500-5.000 km, 4,2% > 5.000 km, Männer fahren längere Strecken
- Motorrad- oder Rollerfahrer: 76,5% nein, 13,8% häufig, 9,7% selten

Projekt „KombiABS“

Jährliche Fahrstrecke – Männer/Frauen

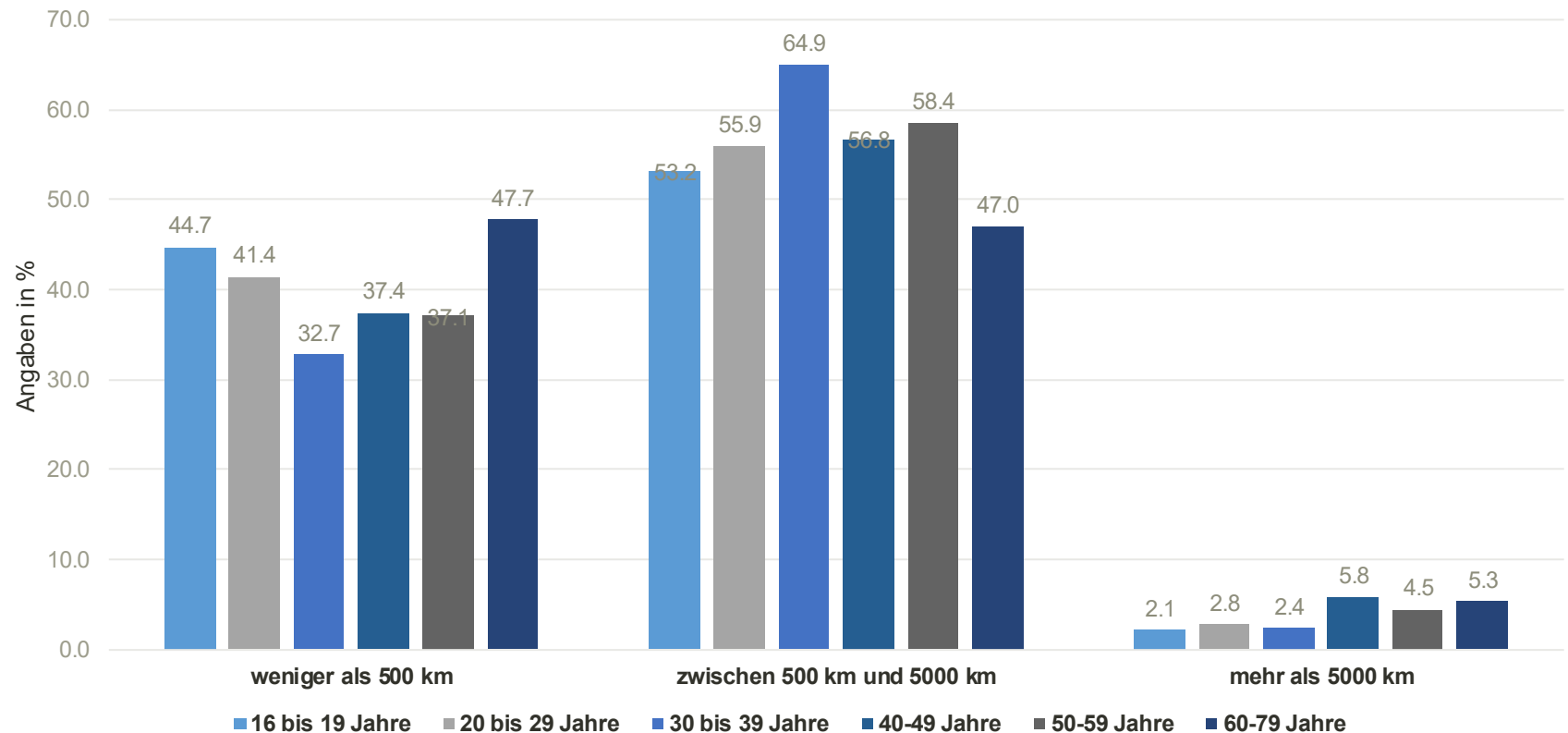
Q7: Wie viele km fahren Sie üblicherweise geschätzt mit allen Ihren Fahrrädern pro Jahr?



Projekt „KombiABS“

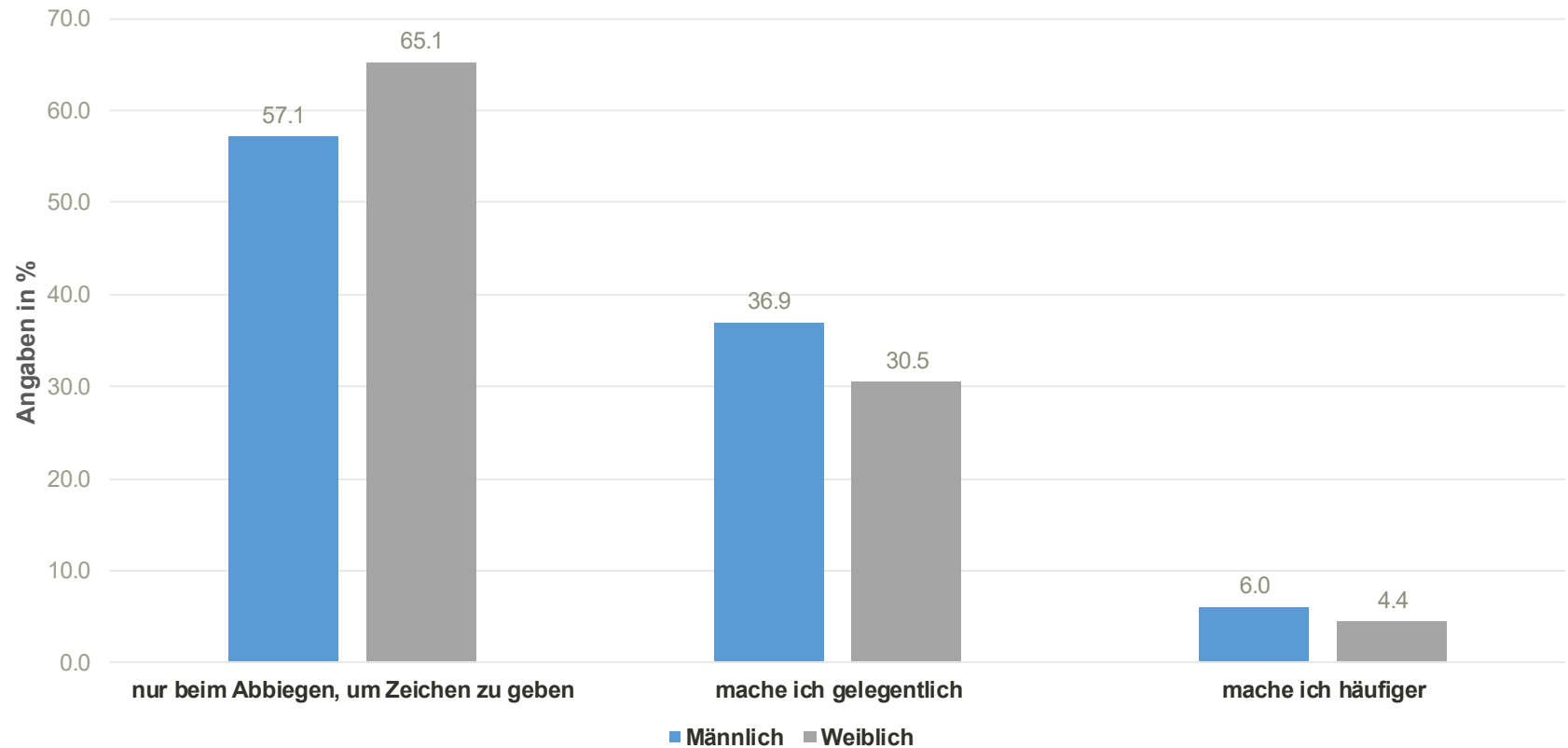
Jährliche Fahrstrecke - Alter

Q7: Wie viele km fahren Sie üblicherweise geschätzt mit allen Ihren Fahrrädern pro Jahr?



Fahrverhalten – mit einer Hand – Männer/Frauen

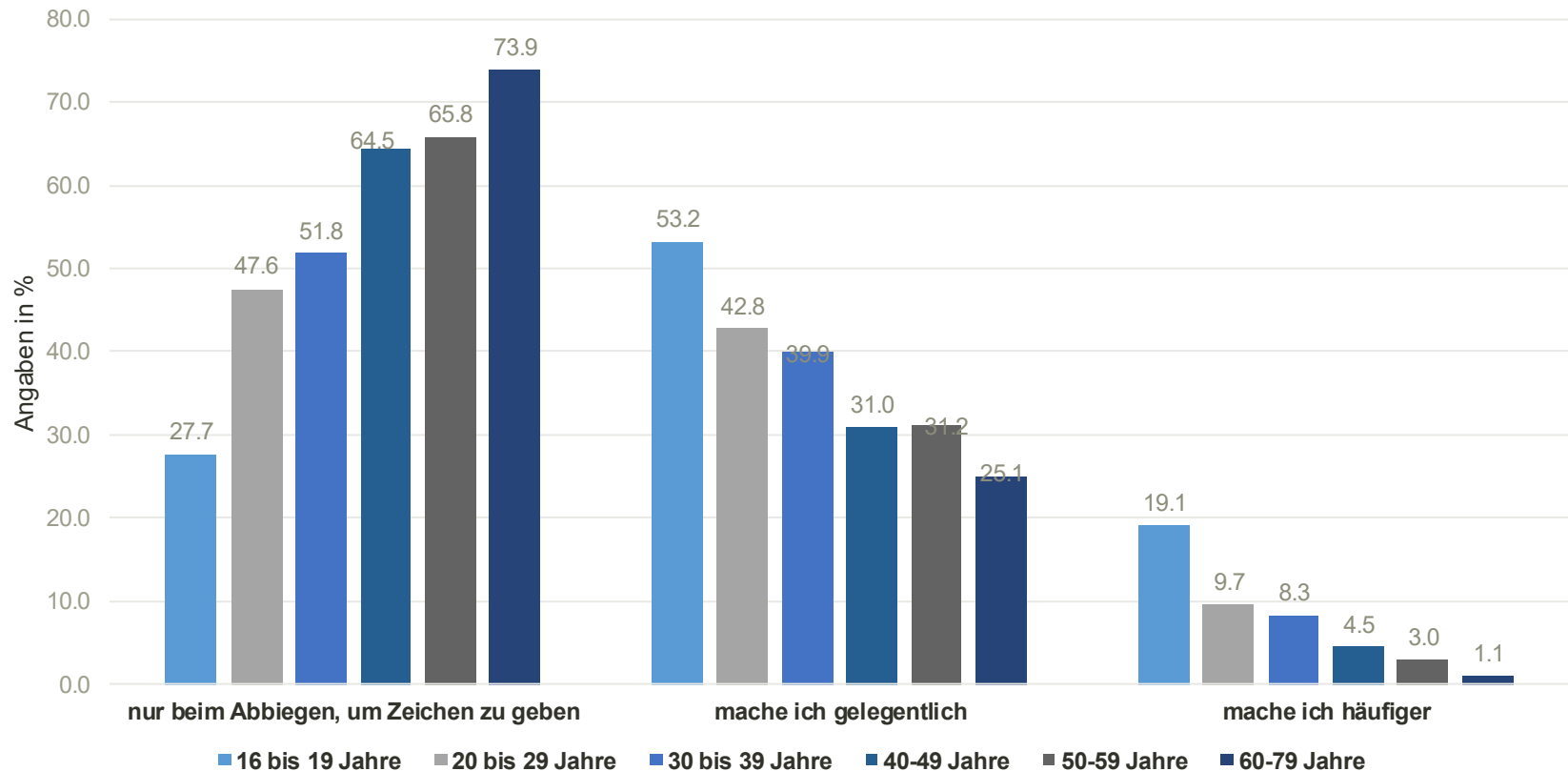
Q12: Wie oft fahren Sie mit nur einer Hand am Lenker?



Projekt „KombiABS“

Fahrverhalten – mit einer Hand - Alter

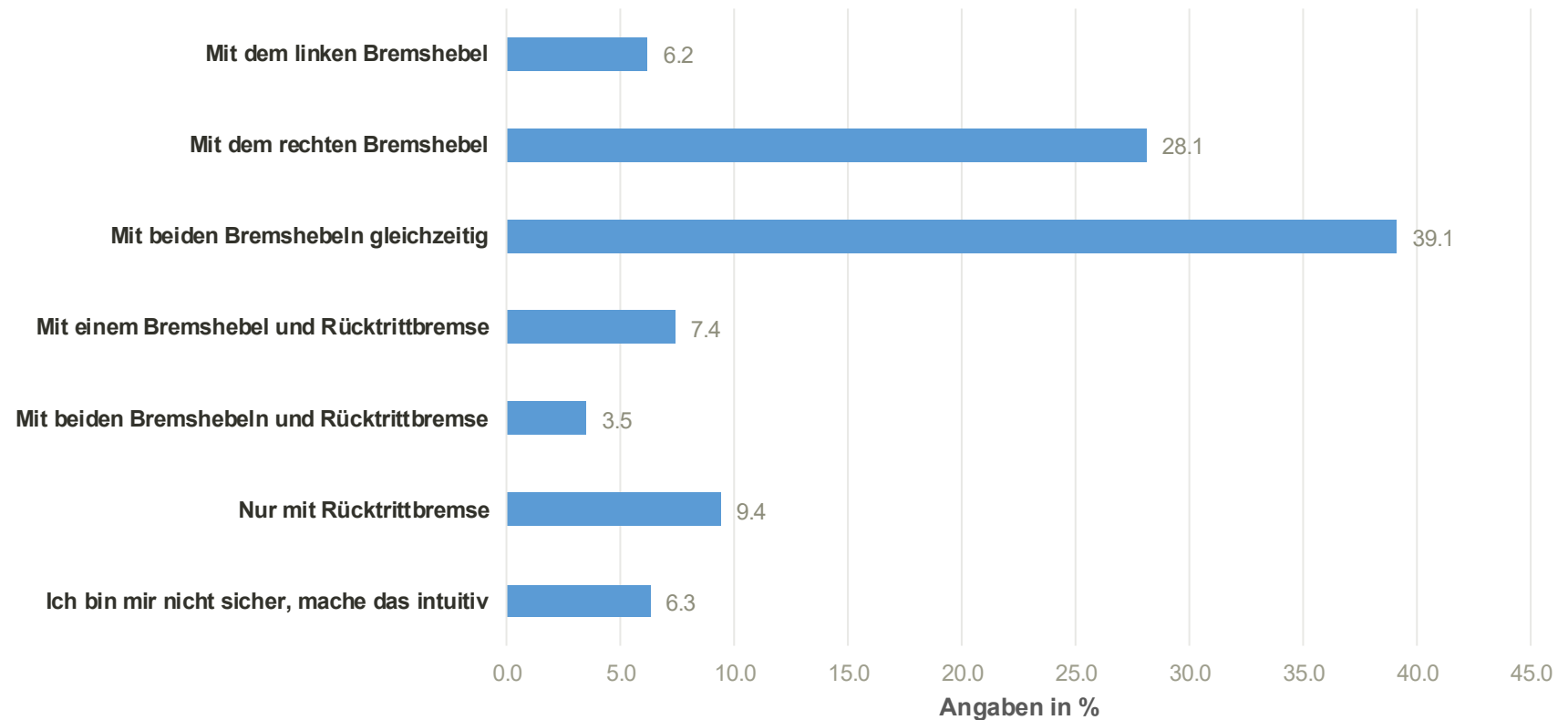
Q12: Wie oft fahren Sie mit nur einer Hand am Lenker?



Projekt „KombiABS“

Bremsverhalten bei leichter Bremsung

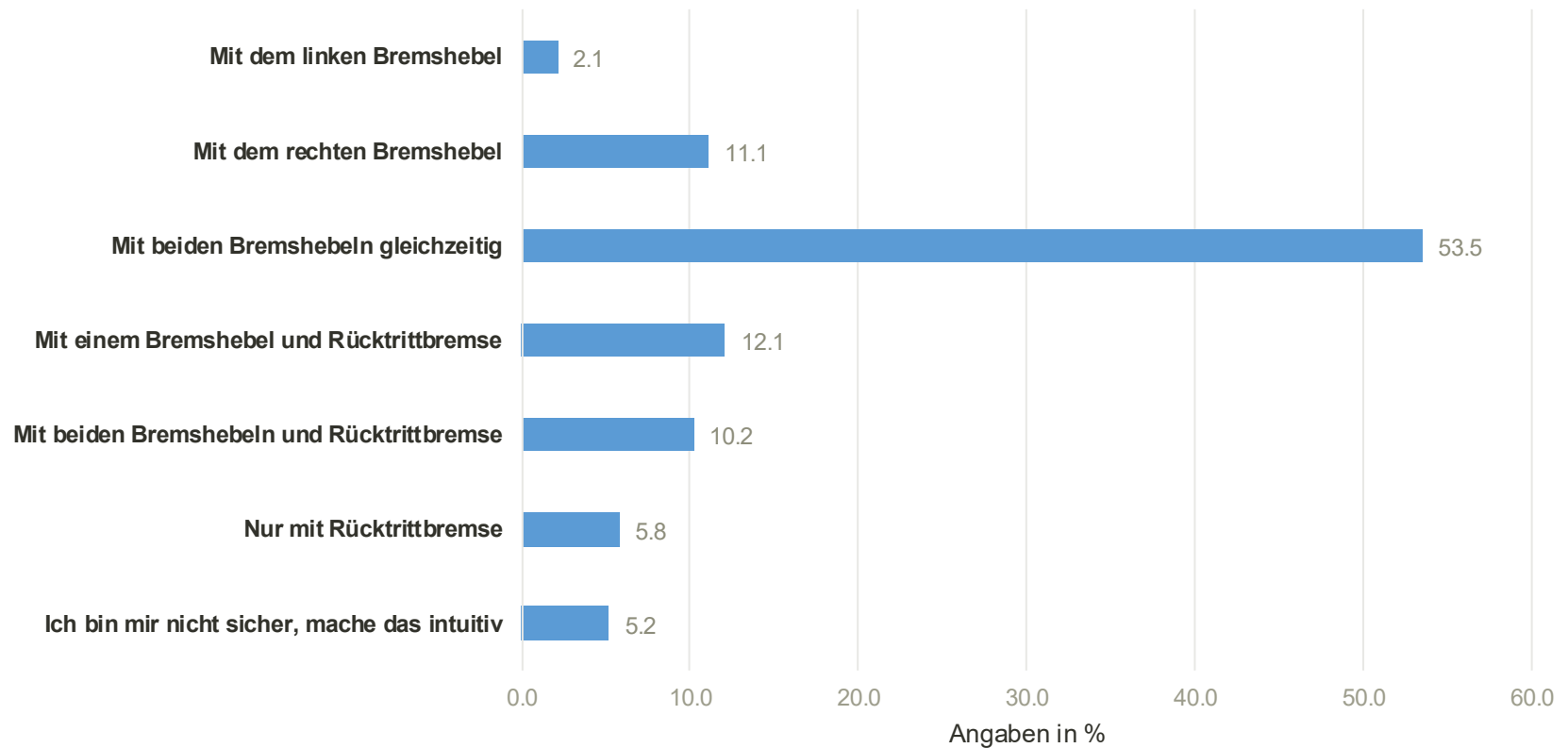
Q9: Wie bremsen Sie normalerweise bei einer üblichen leichten Bremsung?



Projekt „KombiABS“

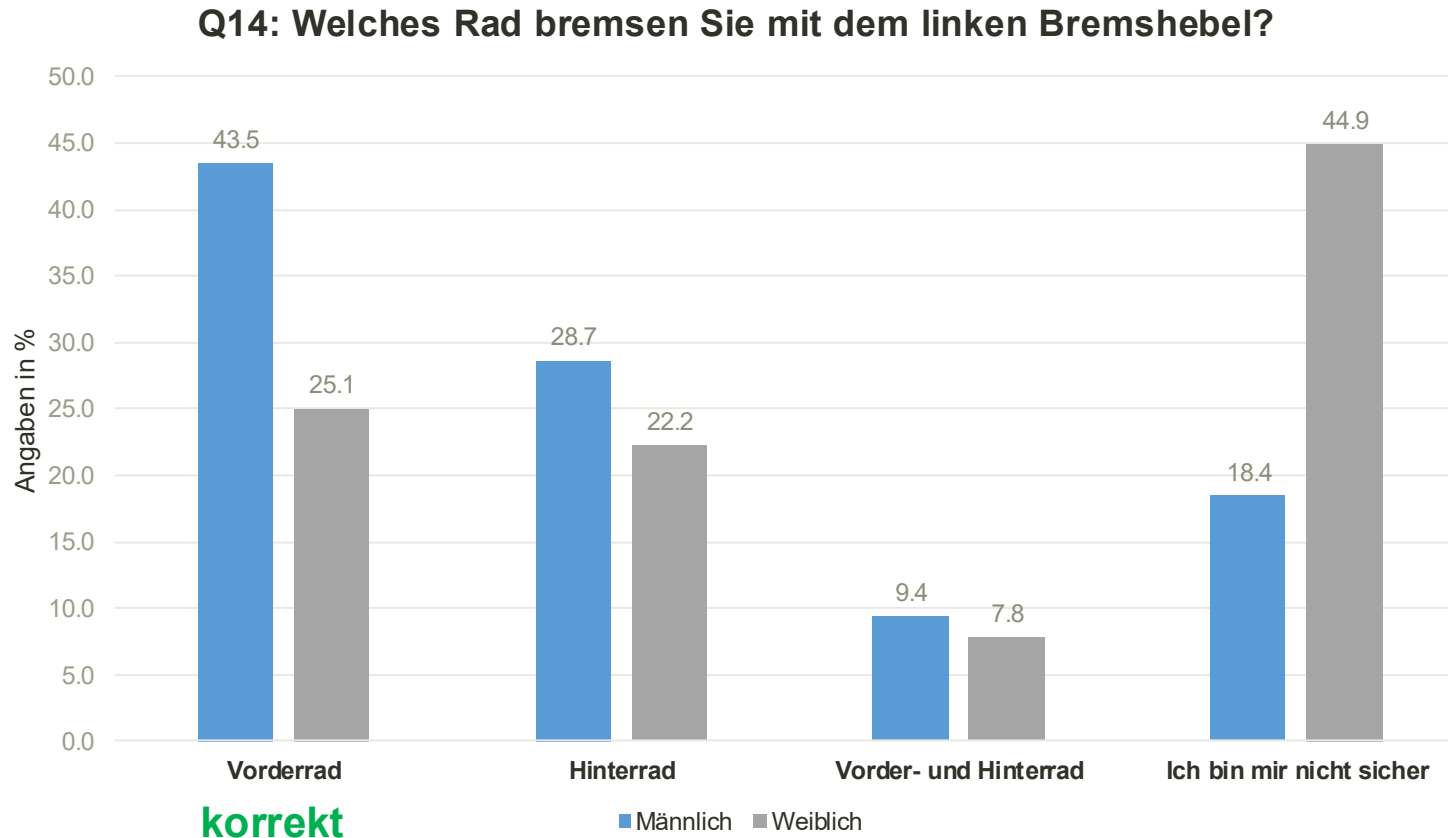
Bremsverhalten bei starker Bremsung

Q10: Wie bremsen Sie normalerweise bei einer starken Bremsung?



Projekt „KombiABS“

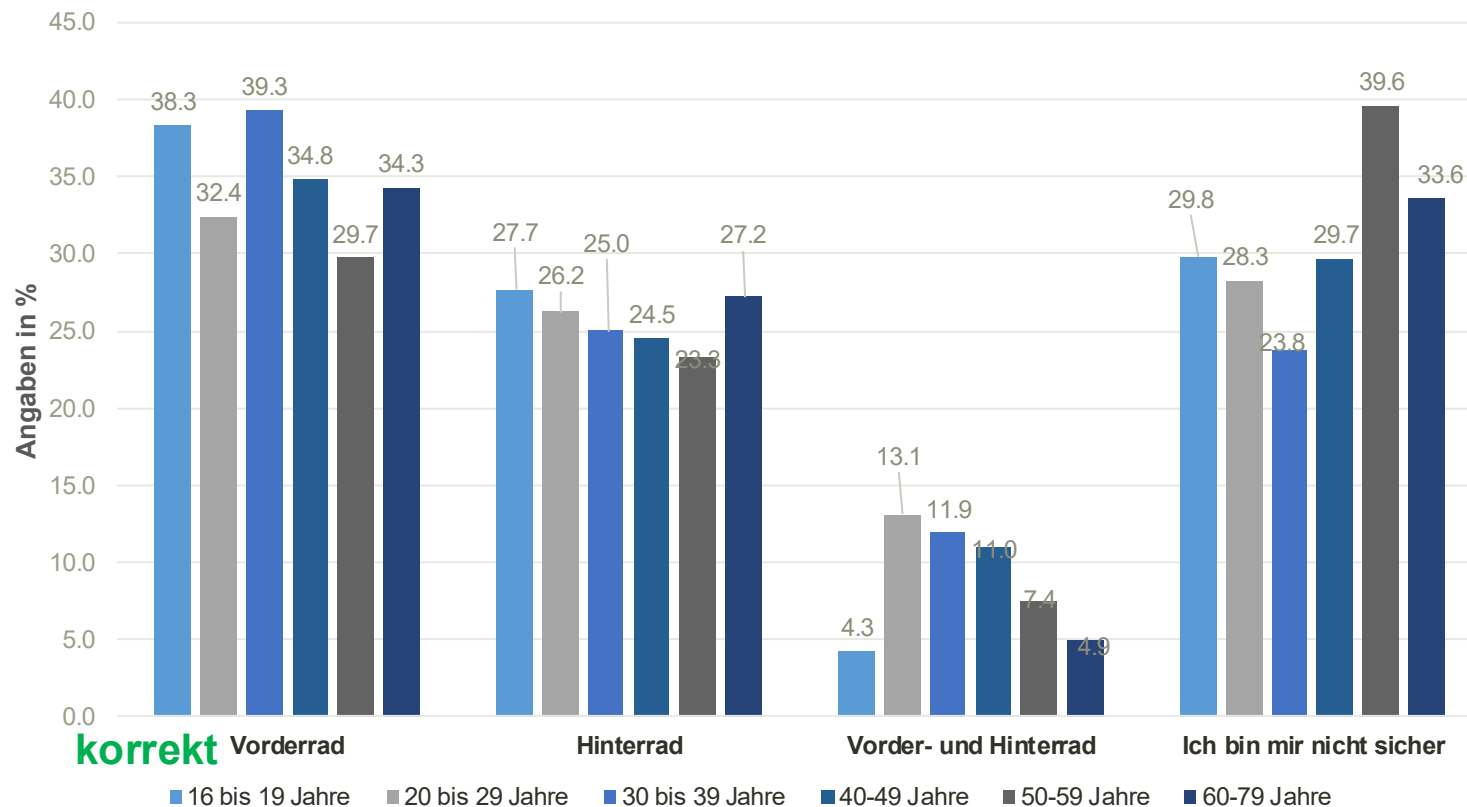
Wissen über Bremshebelzuordnung – Männer/Frauen



Projekt „KombiABS“

Wissen über Bremshebelzuordnung – Alter

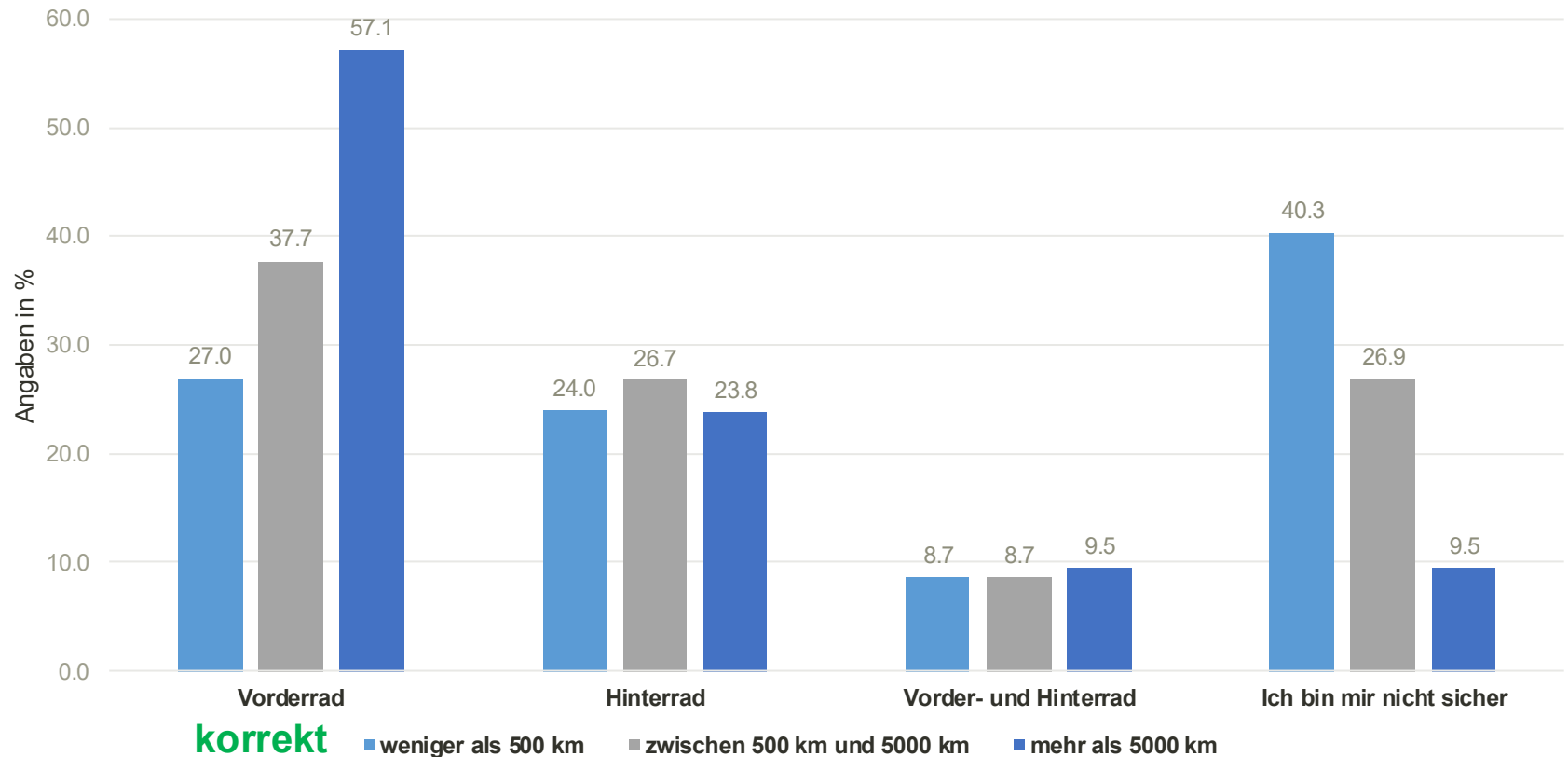
Q14: Welches Rad bremsen Sie mit dem linken Bremshebel?



Projekt „KombiABS“

Wissen über Bremshebelzuordnung – jährliche Fahrstrecke

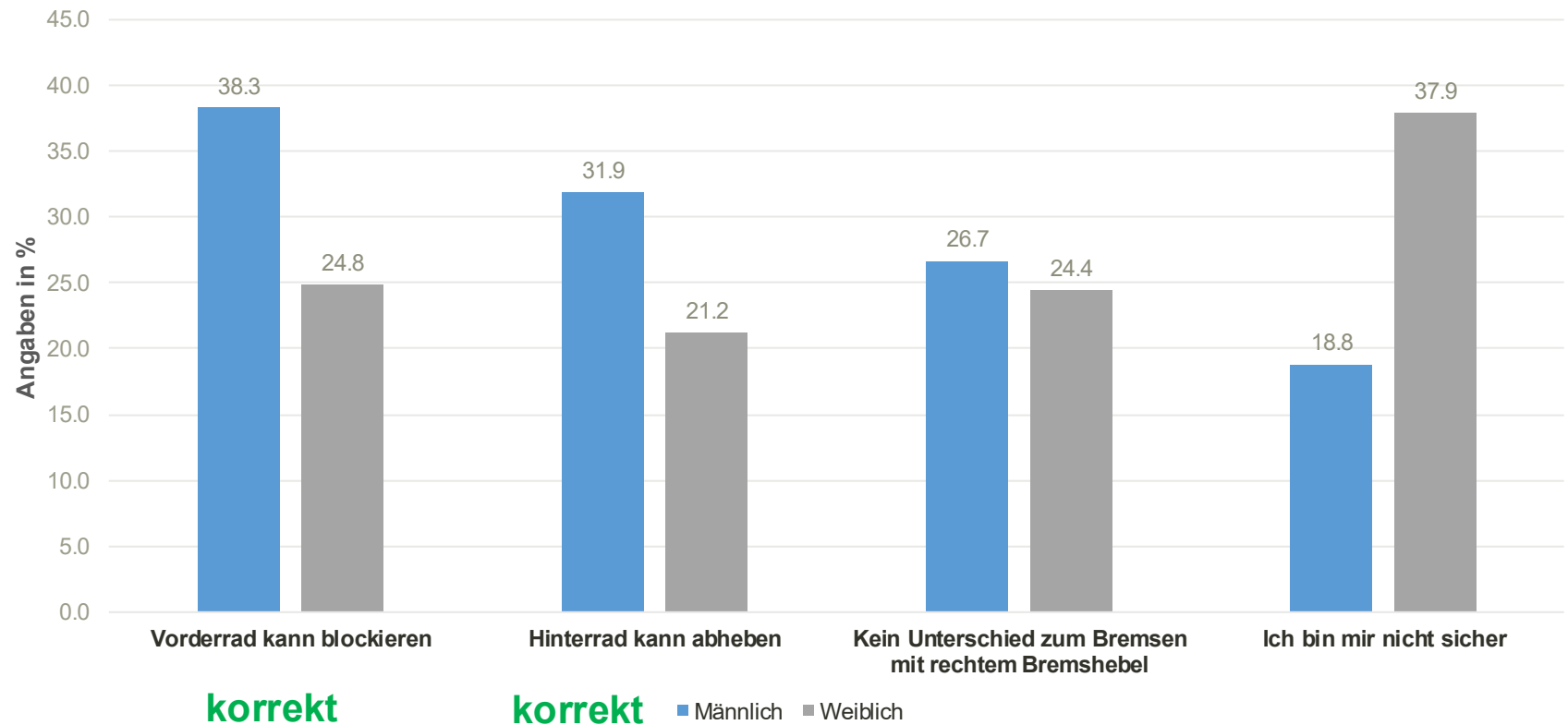
Q14: Welches Rad bremsen Sie mit dem linken Bremshebel?



Projekt „KombiABS“

Wissen über kritisches Bremsverhalten – Männer/Frauen

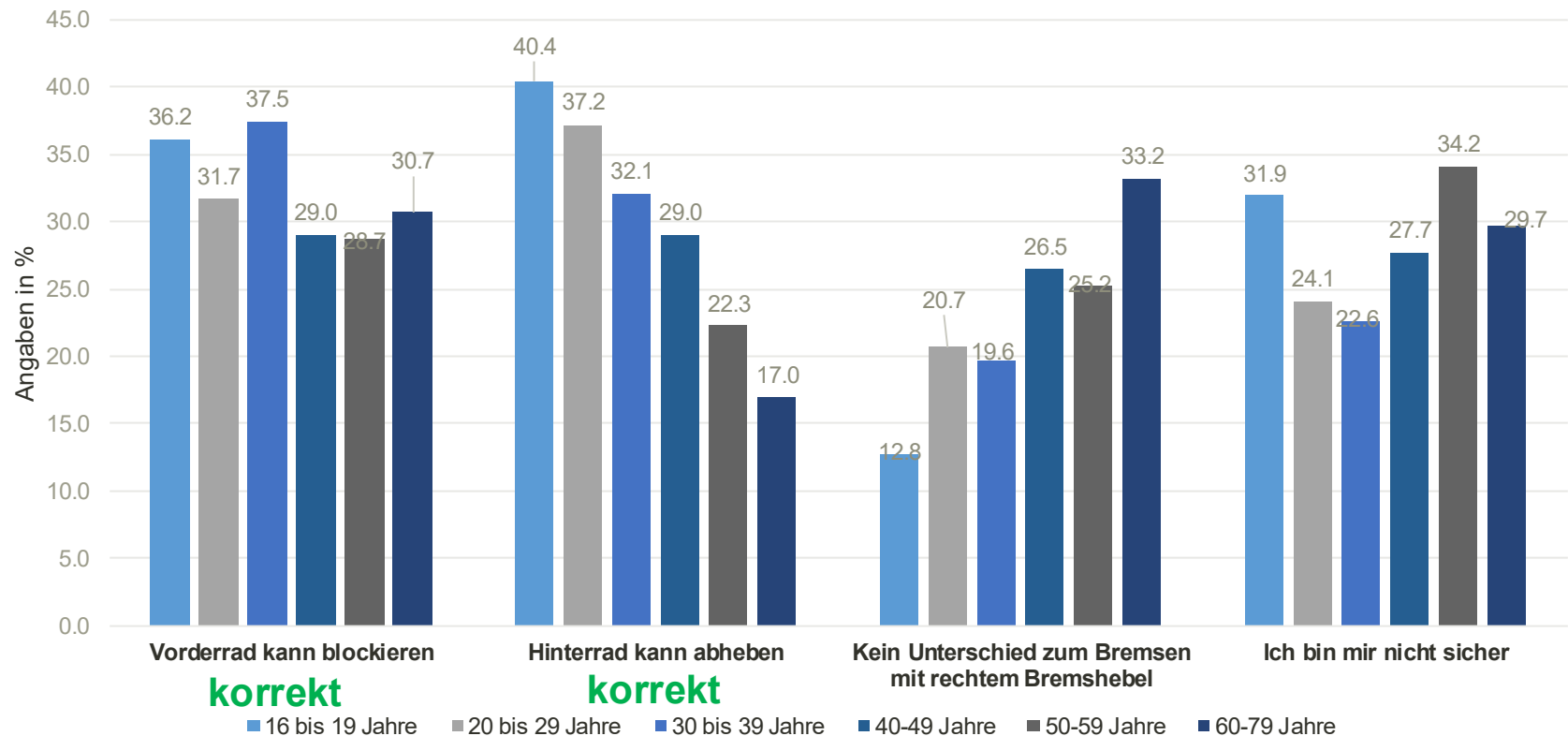
Q15a-d: Wie verhält sich Ihr Fahrrad/Pedelec Ihrer Ansicht nach beim starken Bremsen mit dem linken Bremshebel oder mit beiden Bremshebeln?



Projekt „KombiABS“

Wissen über kritisches Bremsverhalten - Alter

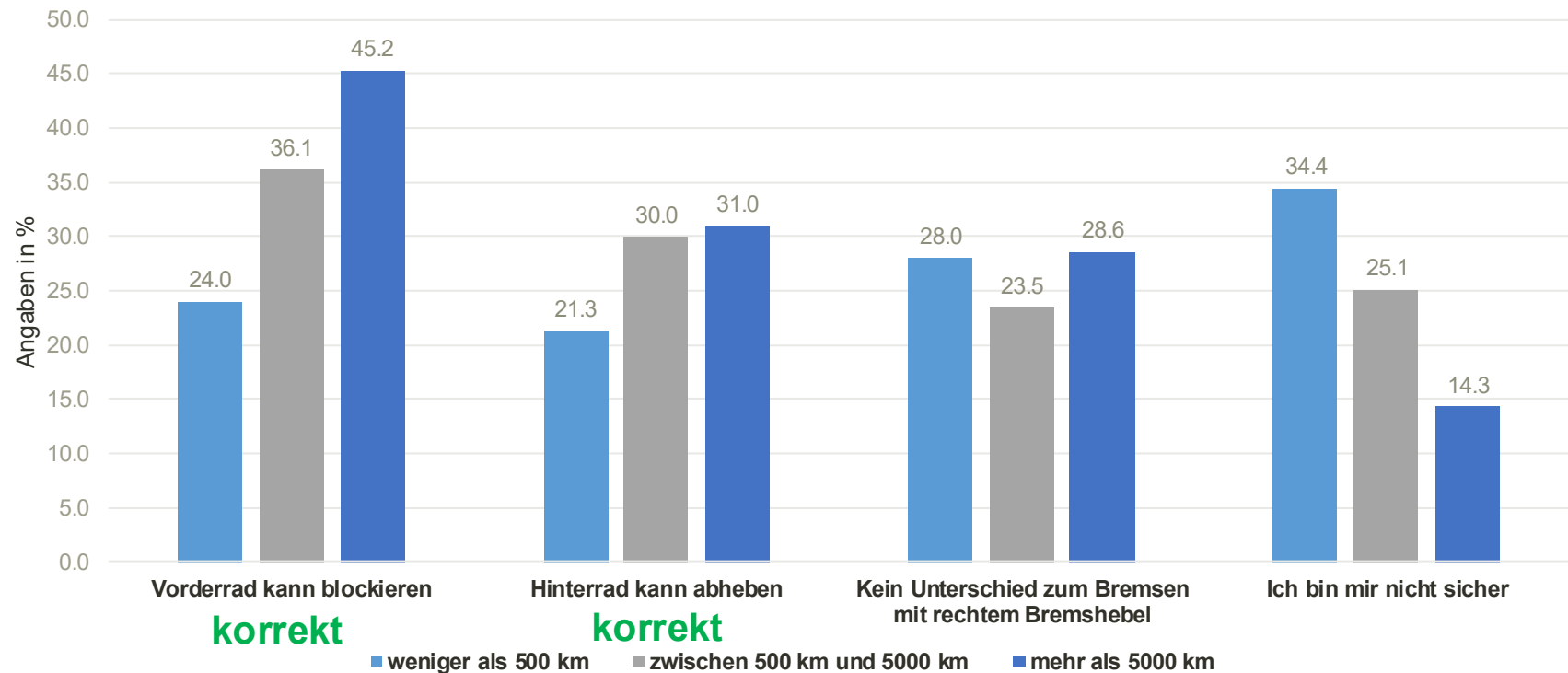
Q15a-d: Wie verhält sich Ihr Fahrrad/Pedelec Ihrer Ansicht nach beim starken Bremsen mit dem linken Bremshebel oder mit beiden Bremshebeln?



Projekt „KombiABS“

Wissen über kritisches Bremsverhalten – jährliche Fahrstrecke

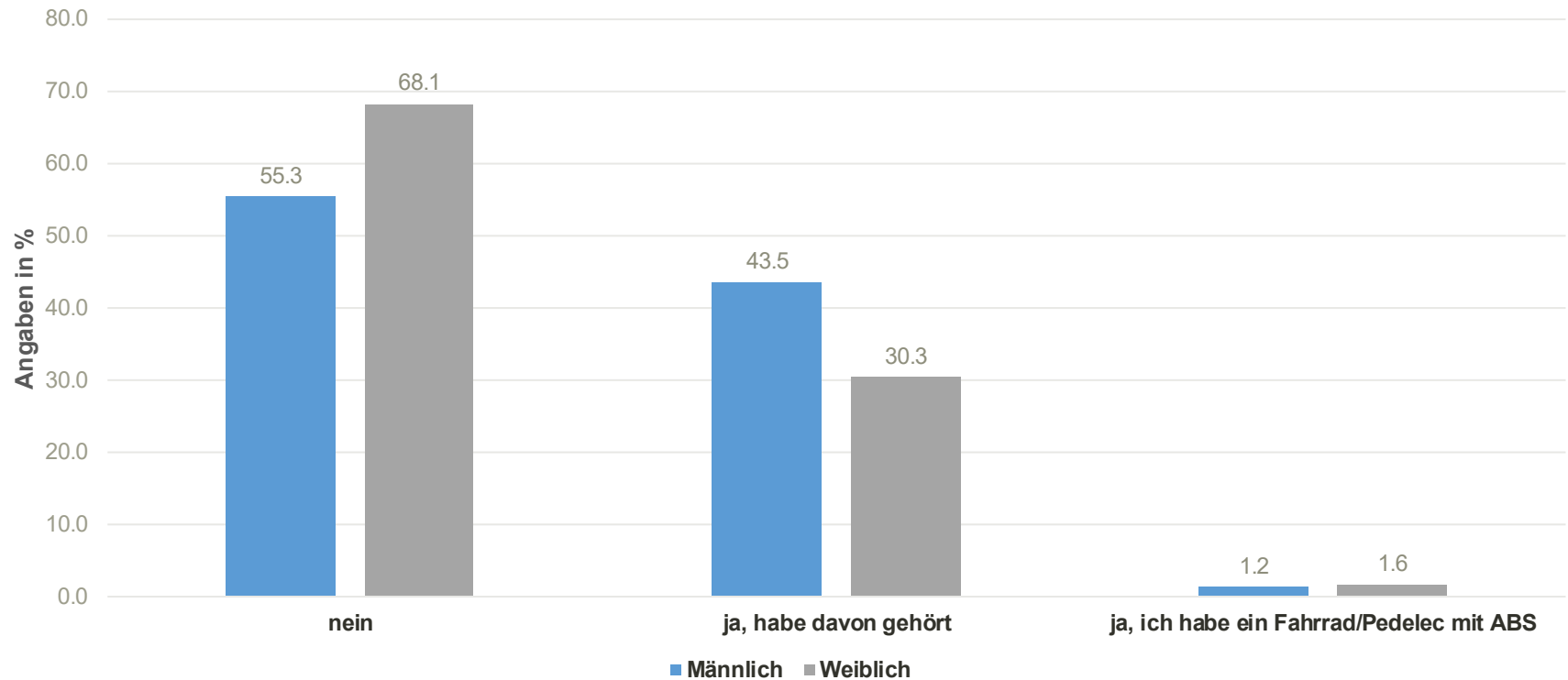
**Q15a-d: Wie verhält sich Ihr Fahrrad/Pedelec Ihrer Ansicht nach beim starken Bremsen mit dem linken Bremshebel oder mit beiden Bremshebeln?
(Mehrfachauswahl)**



Projekt „KombiABS“

Wissen über ABS-Verfügbarkeit für Pedelecs – Männer/Frauen

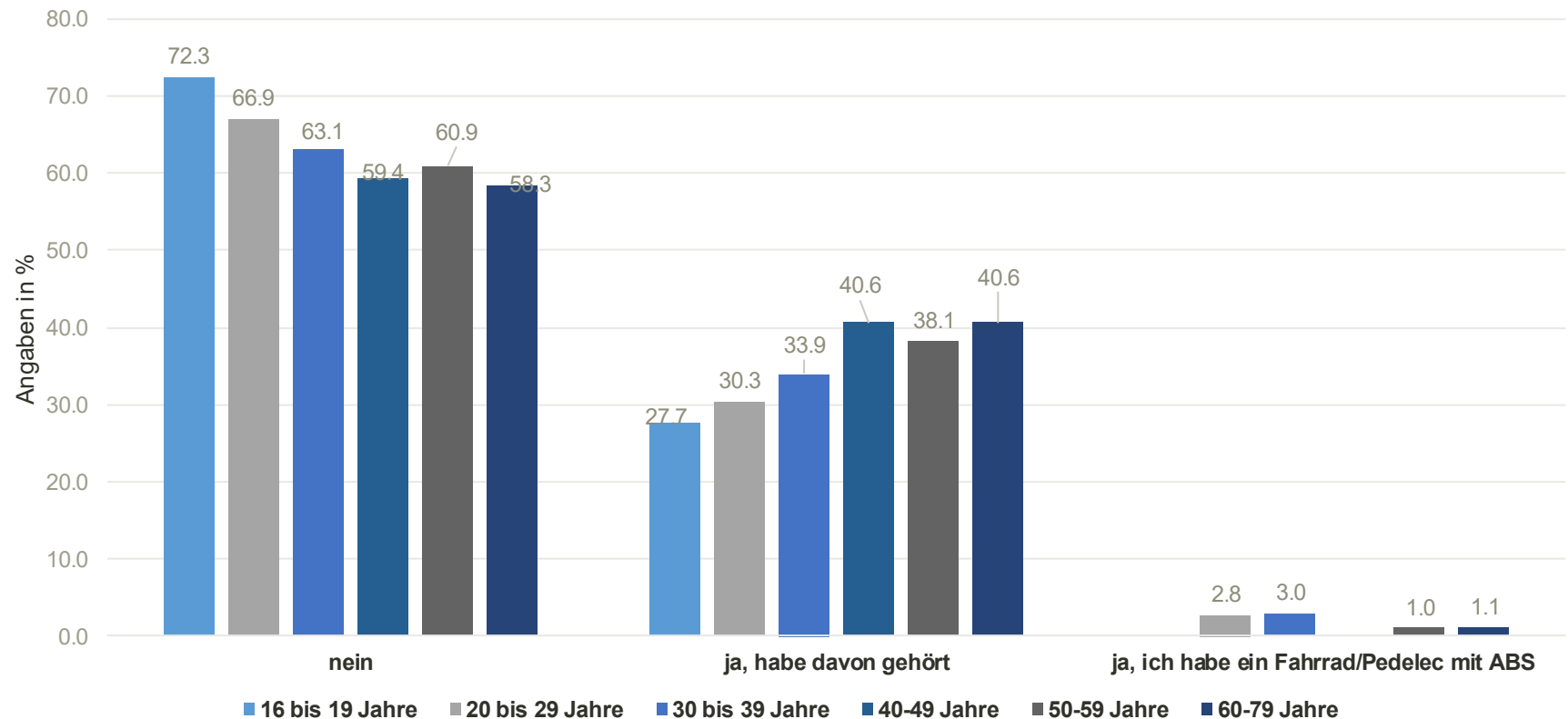
Q16: Wissen Sie, dass es Fahrräder/Pedelecs mit einem gut funktionierenden und zuverlässigen ABS-System (AntiBlockierSystem) bereits zu kaufen gibt?



Projekt „KombiABS“

Wissen über ABS-Verfügbarkeit für Pedelecs - Alter

Q16: Wissen Sie, dass es Fahrräder/Pedelecs mit einem gut funktionierenden und zuverlässigen ABS-System (AntiBlockierSystem) bereits zu kaufen gibt?



Fazit: Modifizierte Umfrage zum Bremsverhalten - 1000 Radfahrer:innen

- Erstaunlich viele Räder mit Rücktrittbremse
- Hoher Prozentsatz fährt gelegentlich mit nur einer Hand am Lenker
- 28% nutzen **nur** rechten Bremshebel bei leichter, 11% auch bei starker Bremsung
- 39% nutzen beide Bremshebel auch bei leichter Bremsung
- 53,5% nutzen beide Bremshebel bei starker Bremsung
- Große Unsicherheit über Zuordnung Bremshebel – gebremstes Rad:
 - 31,6% “ich bin mir nicht sicher“
 - 34,2% falsche Zuordnung – genau so viele wie richtige: Vorderrad!
 - Bei Frauen vor allem Unsicherheit stärker ausgeprägt: 44,9%
 - Selbst Vielfahrer (>5000 km/a) antworten falsch oder sind unsicher: 43%

Projekt „KombiABS“

Fazit: Modifizierte Umfrage zum Bremsverhalten - 1000 Radfahrerende

- Große Unsicherheit über kritisches Fahrradverhalten bei starker Bremsung: Frage nach dem Verhalten bei starkem Bremsen mit linkem oder beiden Bremshebeln: 25,5% falsche Antwort, 28,4% unsicher
- Selbst Vielfahrer antworten auf diese Frage falsch oder sind unsicher: 43%
- Vielfahrer (>5000km/a) nutzen zu 31% Renn- oder Gravelbike, Wenigfahrer (< 500 km/a) das City/Stadtrad
- Vielfahrer nutzen bei leichter Bremsung zu 60% und bei starker zu 90% beide Bremshebel
- Kenntnisse Pedelec-ABS: Männer ab 40 am besten informiert, Vielfahrer nutzen kein ABS (0 von 1000!)

Projekt „KombiABS“

Fazit aus den Ergebnissen von Simulation, Bremsversuchen, Umfrage

1. Ein sehr großer Teil der Radfahrer*innen (ca. 2/3) hat ungenügende oder falsche Kenntnisse über die Bremstechnik und das Bremsverhalten ihres Fahrrads. Dies erhöht das Unfallrisiko, insbesondere bei Notbremsungen.
2. Dies führt zu der Forderung, dass die Bedienung der Fahrradbremsen intuitiv und ohne Vorkenntnisse möglich sein sollte, um Fehlbedienungen zu vermeiden und eine sichere, höchstmögliche Verzögerung sowie kürzesten Bremsweg zu gewährleisten.
3. ABS verhindert bereits weitgehend Vorderradblockieren und Hinterradabheben, auch bei Fehlbedienungen.
4. Die Kombibremse hat das Potenzial, als Ergänzung zu ABS, einen wichtigen Beitrag zur weiteren Steigerung der Bremssicherheit zu leisten. Sie ermöglicht, unabhängig von der Bremshebelbetätigung, sogar mit einer Hand, die maximale Verzögerung zu erreichen.

Projekt „KombiABS“

Geplantes weiteres Vorgehen:

- Veröffentlichung der Umfrage zum Bremsverhalten in DVR-Report?
- S-Pedelec-Versuchsträger mit brake-by-wire Bremskraftverteilung bzgl. Ansprechverhalten optimieren und weitere Bremsversuche durchführen. Z.B. im Rahmen einer weiteren Master Thesis.
- Wesentliche Projektziele sind erreicht, aber noch viele offene Fragen:
 - Wie sieht die optimale, **in Serie realisierbare** Fahrradbremse aus, die keine Kenntnisse über die Technik erfordert? Kombibremse + ABS?
 - Wie groß wäre der Effekt einer Kombibremse (mit/ohne ABS) auf die Unfallzahlen?

Herzlichen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Fragen und Anmerkungen?



Projekt „KombiABS“



Kontakt:

Prof. Dipl.-Ing. Jürgen Wrede

Fakultät für Technik

Hochschule Pforzheim

Tiefenbronner Straße 65

75175 Pforzheim

Mail: juergen.wrede@hs-pforzheim.de

Mobil: 0049 (0)174 4155714