Ing. (grad.) W. Eberhardt
Ing. (grad.) G. Himbert

Bewegungs-Geschwindigkeiten

Versuchsergebnisse
nichtmotorisierter Verkehrsteilnehmer

1977

Herausgegeben: Ing.-Büro Simon-Himbert-Eberhardt
Großherzog-Friedrich-Str. 86

6600 Saarbrücken 3

Alle Rechte der Verbreitung, fotomechanische Wiedergabe
und auszugsweiser Nachdruck sind vorbehalten.

INHALTSVERZEICHNIS

		Seite
Vorwort		7
1.	Versuchsziel	11
2.	Versuchsgrundlagen	13
2.1	Versuchsinhalt	13
2.2	Versuchsaufbau	15
2.3	Meßverfahren	17
3.	Stellungnahme zu den Versuchen von H. u. W. Lange und J. Hankel	19
VERSUCHSERGEBNISSE		21
	Hinweise zur Handhabung der Diagramme	21
4.	Fußgänger	22
4.1	Kleinkinder (Mädchen u. Jungen)	22
	Alter 3.o - 3.5 Jahre	22
	Alter 3.5 - 4.o Jahre	23
	Alter 4.o - 4.5 Jahre	24
	Alter 4.5 - 5.o Jahre	25
	Alter 5.o - 5.5 Jahre	26
	Alter 5.5 - 6.o Jahre	27
4.2	Kinder	28
4.2.1	Jungen	28
	Alter 6.o - 7.o Jahre	28
	Alter 7.o - 8.o Jahre	29
	Alter 8.o - 9.o Jahre	3o
	Alter 9.o - 1o.o Jahre	31
	Alter 1o.o - 11.o Jahre	32
	Alter 11.o - 12.o Jahre	33
	Alter 12.o - 13.o Jahre	34
	Alter 13.o - 14.o Jahre	35
	Alter 14.o - 15.o Jahre	36

Seite

4.2.2 Mädchen 37

Alter 6.o - 7.o Jahre 37
Alter 7.o - 8.o Jahre 38
Alter 8.o - 9.o Jahre 39
Alter 9.o - 1o.o Jahre 4o
Alter 1o.o - 11.o Jahre 41
Alter 11.o - 12.o Jahre 42
Alter 12.o - 13.o Jahre 43
Alter 13.o - 14.o Jahre 44
Alter 14.o - 15.o Jahre 45

4.3 Jugendliche und Erwachsene 46

4.3.1 Männer 46

Alter 15.o - 2o.o Jahre 46
Alter 2o.o - 3o.o Jahre 47
Alter 3o.o - 4o.o Jahre 48
Alter 4o.o - 5o.o Jahre 49
Alter 5o.o - 6o.o Jahre 5o

4.3.2 Frauen 51

Alter 15.o - 2o.o Jahre 51
Alter 2o.o - 3o.o Jahre 52
Alter 3o.o - 4o.o Jahre 53
Alter 4o.o - 5o.o Jahre 54
Alter 5o.o - 6o.o Jahre 55

4.4 Ältere Menschen 56

4.4.1 Männer 56

Alter 6o.o - 65.o Jahre 56
Alter 65.o - 7o.o Jahre 57
Alter 7o.o - 75.o Jahre 58
Alter 75.o - 8o.o Jahre 59
Alter 8o.o - 85.o Jahre 6o

4.4.2 Frauen 61

Alter 6o.o - 65.o Jahre 61
Alter 65.o - 7o.o Jahre 62
Alter 7o.o - 75.o Jahre 63
Alter 75.o - 8o.o Jahre 64
Alter 8o.o - 85.o Jahre 65

		Seite
4.5	Alter-Geschwindigkeits-Diagramm 3 - 2o Jahre	67
4.6	Alter-Geschwindigkeits-Diagramm 2o - 85 Jahre	68
4.7	Liliputaner	69
4.8	Gehbehinderte	7o
4.9	Fußgänger mit Gehgips	71
4.1o	Fußgänger mit Achselkrücken	72
4.11	Fußgänger mit Armkrücken	74
4.12	Rollstuhl	76
4.13	Fußgänger-Drehbewegung	78
4.14	Fußgänger-Rückwärtsgehen	8o
4.15	Körperhaltung beim Gehen bis Rennen	81
5.	Kinder auf Rollschuhen (Mädchen u. Jungen)	87
	Alter 5 - 6 Jahre	87
	Alter 7 - 8 Jahre	88
	Alter 9 - 1o Jahre	89
	Alter 11 - 12 Jahre	9o
6.	Fahrzeuge für Kleinkinder	92
6.1	Dreirad "Puky"	92
6.2	Traktor	94
6.3	Tretroller "Kick Go"	96
6.4	Tretroller "Puky"	98
6.5	Roller "Buggy"	1oo
6.6	Kettcar	1o2
7.	Fahrräder	1o4
7.1	Allgemeines	1o4
7.2	Berechnung der Geschwindigkeit und der Beschleunigung	1o5
7.3	Dreirad 12,5 x 1,25"	1o8
7.4	Dreirad 14,o x 1,25"	11o

			Seite
7.5	Kinderfahrrad	16,o x 1,75"	112
7.6	Kinderfahrrad	18,o x 1,75"	114
7.7	Jugendfahrrad	18,o x 1,75"	116
7.8	Klappfahrrad	2o,o x 1,75"	118
7.9	Sportrad (3 Gänge)	2o,o x 2,12"	12o
7.1o	Damenfahrrad	26,o x 1,37"	124
7.11	Rennrad	28,o x 1,37"	126

8. Bremsversuche mit Fahrrädern 128

8.1 Rücktritt und Kabelstoßbremse 128

8.1.1 Bremsung: vorne und hinten 128

8.1.2 Bremsung: vorne 128

8.1.3 Bremsung: hinten 128

8.2 Bremsarme auf beide Felgen wirkend 129

8.2.1 Bremsung: vorne und hinten 129

8.2.2 Bremsung: vorne 129

8.2.3 Bremsung: hinten 129

9. Gleitverzögerungen von Fahrrädern 13o

1o. Fußgängerwurfweiten nach (4) 132

11. Streubereiche von Glassplittern (5) 133

12. Schlußwort 135

13. Literaturhinweise 137

VORWORT

Dem forensisch tätigen Kfz.-Sachverständigen sind bei der Unfallaufklärung, bedingt durch neu entwickelte Prüf-, Meß- und Auswertmethoden und die sich daraus ergebenden rechtlichen Konsequenzen, ständig neue Maßstäbe gesetzt.

Die Notwendigkeit einer gezielten Unfallursachenforschung, die im letzten Jahrzehnt stark forciert wurde, resultiert sowohl aus dem für diesen Zeitraum überaus starken Unfallaufkommen als auch aus der Zielsetzung der Rechtsprechung.

Zur optimalen Lösung der technischen Probleme, die bei der Unfallaufklärung auftreten, benötigt der Kfz.-Sachverständige neben einem fundierten Ingenieurwissen praxisbezogene Erfahrungen sowie umfangreiche Meßeinrichtungen, Voraussetzungen also, die die Möglichkeiten eines einzelnen übersteigen würden.

Aus diesem Grunde bildeten die Verfasser eine Ingenieur-Gemeinschaft zur Unfallaufklärung und bauten ein spezielles Unfallaufnahmefahrzeug auf, mit dessen technischen Einrichtungen eine optimale Unfallaufnahme gegeben ist.

Zur Unfallsachdarstellung werden sehr häufig auf Grund mangelnder objektiver Unfallindizien Vergleichswerte benötigt. Dabei stellt sich im nachhinein sehr oft die Frage nach der Bewegungsgeschwindigkeit der verunfallten Verkehrsteilnehmer.

Auf der Grundlage umfangreicher Versuchsreihen wird in der vorliegenden Schrift "Bewegungsgeschwindigkeiten nichtmotorisierter Verkehrsteilnehmer" dem in der Praxis arbeitenden Sachverständigen ein Nachschlagewerk an die Hand gegeben, das neben dem normalen Bewegungsverhalten von Fußgängern auch nichtalltägliche Bewegungsformen einschließt.

Dem Juristen soll die Schrift eine objektive Stütze bei der Beurteilung der in der Praxis auftretenden, oft nicht nachvollziehbaren Bewegungsgrößen bieten, um Aussagen und Gutachten kritisch würdigen zu können.

W. Eberhardt - G. Himbert

Saarbrücken, im März 1977


UNFALLURSACHENFORSCHUNG

1. VERSUCHSZIEL

Bei der Rekonstruktion von Unfällen mit nichtmotorisierten Verkehrsteilnehmern hat sich der forensisch tätige Kfz.-Sachverständige an den Fragen zu orientieren, die zur straf- und zivilrechtlichen Beurteilung relevant sind. Diese Fragestellung bezieht sich unter anderem

- auf die Ausgangsgeschwindigkeit des unfallverursachenden Fahrzeuges,

- auf den Reaktionspunkt des Fahrzeugführers,

- auf die Vermeidbarkeit unter räumlichen Gesichtspunkten, sofern eine überhöhte Geschwindigkeit nachgewiesen werden kann,

- auf eine zeitliche Betrachtungsweise zur Vermeidbarkeit unter besonderer Berücksichtigung des Bewegungsverhaltens des nichtmotorisierten Verkehrsteilnehmers.

Bei der Beantwortung der Frage nach der zeitlichen Vermeidbarkeit kommt der Bewegungsgeschwindigkeit des nichtmotorisierten Verkehrsteilnehmers eine fundamentale Bedeutung zu.

Dabei ergibt sich sehr oft die Schwierigkeit, daß gerade diese Größe in der Regel nicht nachvollziehbar ist, und man sich, wenn vorhanden, auf Zeugenaussagen stützen muß, die das Bewegungsverhalten nur sehr subjektiv einzuschränken vermögen.

Neben der Frage nach dem absoluten Wert der Bewegungsgeschwindigkeit erfolgt zwangsläufig eine Einstufung derselben zu charakteristischen Begriffszuordnungen.

In diesem Zusammenhang kann auf eine Forschungsarbeit des DEKRA (1) verwiesen werden, aus der sich eine Zuordnung von Zeugenaussagen über das Bewegungsverhalten von Fußgängern zu tatsächlichen Geschwindigkeiten ergibt. Hierbei ist eine Geschwindigkeitsrangordnung der üblicherweise verwendeten Begriffe festgelegt.

Erkenntnisse über tatsächlich realisierbare Bewegungsgeschwindigkeiten repräsentativer Personengruppen lassen sich hieraus jedoch nicht ziehen bzw. ableiten.

Diesbezüglich wurden sowohl von R. Lochner (2) als auch von H. und W. Lange und Hankel (3) Versuche über Bewegungsverhalten von Fußgängern im Straßenverkehr durchgeführt, wobei Lochner nur die Bewegungsart "Laufen", Lange und Hankel dagegen eine Unterteilung in "Gehen - Laufen - Rennen" vornahmen.

Bei Lochner wurde das Anfangsverhalten aus stehendem Start global angegeben; bei Lange und Hankel wurden die Versuche zwar aus fliegendem und stehendem Start durchgeführt, jedoch ist das Weg-Zeit-Verhalten im Anfangsbereich der Bewegung nicht näher präzisiert.

Dies ist jedoch insbesondere bei kurzen Bewegungsstrecken (Fußgänger von rechts etc.) von sehr großem Interesse.

Ferner liegen bislang keine Versuchsergebnisse mit Gehbehinderten und anderen nichtmotorisierten Verkehrsteilnehmern, wie z. B. Fahrradfahrern, Kindern auf Rollschuhen etc., vor, deren Anteil mit dem Gesamtunfallaufkommen der letzten Jahre ebenfalls zugenommen hat.

Um diesem breiten Spektrum von Bewegungsarten im Strassenverkehr gerecht zu werden, haben in unseren Untersuchungen auch solche Bewegungsformen Berücksichtigung gefunden, die rein statistisch gesehen von sekundärer Bedeutung sind.

2. VERSUCHSGRUNDLAGEN

2.1 Versuchsinhalt

Im Sinne einer möglichst praxisorientierten Versuchsdurchführung wurde bei den untersuchten Bewegungsabläufen von 3 bzw. 4 Geschwindigkeitskategorien ausgegangen.

Die Bereiche für die Geschwindigkeiten wurden so gewählt, daß sie von dem üblichen menschlichen Bewegungsverhalten abgeleitet werden können und in zahlenmäßig vernünftige Bereiche einzustufen sind.

Bei den Fußgängern wurde eine Klassifizierung in

- g e h e n,

- s c h n e l l g e h e n,

- l a u f e n,

- r e n n e n,

vorgenommen, wobei "laufen" als normaler Dauerlauf und "rennen" als unter den Gegebenheiten im Straßenverkehr schnellstmögliche Bewegungsart aufzufassen ist.

Bei allen anderen Bewegungsformen erfolgte eine Unterteilung in

- normale Bewegung,

- schnelle Bewegung,

- schnellstmögliche Bewegung (maximal).

Eine detailliertere Klassifizierung hielten die Versuchsdurchführenden nicht für sinnvoll, da hierbei keine vernünftige Zuordnung zu dem subjektiven Empfinden von Zeugen gewährleistet ist.

Bei den durchgeführten Versuchen wurden sämtliche Bewegungsabläufe in ihrem Weg-Zeit-Verhalten genau ermittelt. Die Meßanordnung wurde so gewählt, daß neben konstanten

Bewegungsgrößen auch die beschleunigte Bewegung im Anfangsbereich in ihrem Verlauf bestimmt werden konnte.

Diese zusätzlichen Meßergebnisse erhalten insbesondere bei den Unfällen ihre Berechtigung, wenn sich der Verkehrsteilnehmer aus dem Stillstand über eine nur kurze Strecke bis zum Kollisionspunkt bewegt.

Die Versuche wurden bei jeder Altersgruppe von mindestens 5 und maximal 1o Versuchspersonen durchgeführt, wobei jede Versuchsperson die Teststrecke zweimal durchlaufen mußte, so daß die gemessenen Werte als vernünftige Mittelwerte von gesunden Verkehrsteilnehmern betrachtet werden können.

Zur Abrundung des Versuchsspektrums wurden noch Bremsversuche mit Fahrrädern sowie Messungen der Gleitverzögerung von Fahrrädern auf Asphalt durchgeführt, die für eine Beurteilung des Kollisionsverhaltens durch einen Kfz.-Sachverständigen von Interesse sein können.

2.2 Versuchsaufbau

Die Bewegungsstrecken, die dem Versuchsaufbau zugrunde lagen, wurden auf solche Entfernungen beschränkt, die auch in der Praxis dominieren.

Die gesamte Meßstrecke betrug 1o,o m. Eine Zeitmessung erfolgte jeweils nach 1,o m, nach 3,o m, nach 6,o m und 1o,o m.

Die Versuchspersonen mußten sich dabei an einer Reihe von Lichtschranken vorbeibewegen, die in oben beschriebenem Abstand aufgestellt waren. Der Abstand zwischen Fotozelle und Lichtquelle betrug je nach Versuchsart zwischen 1 und 4 m.

Bei fliegendem Start wurde je nach der Bewegungsart eine bestimmte Anlaufstrecke zum Startpunkt eingehalten.

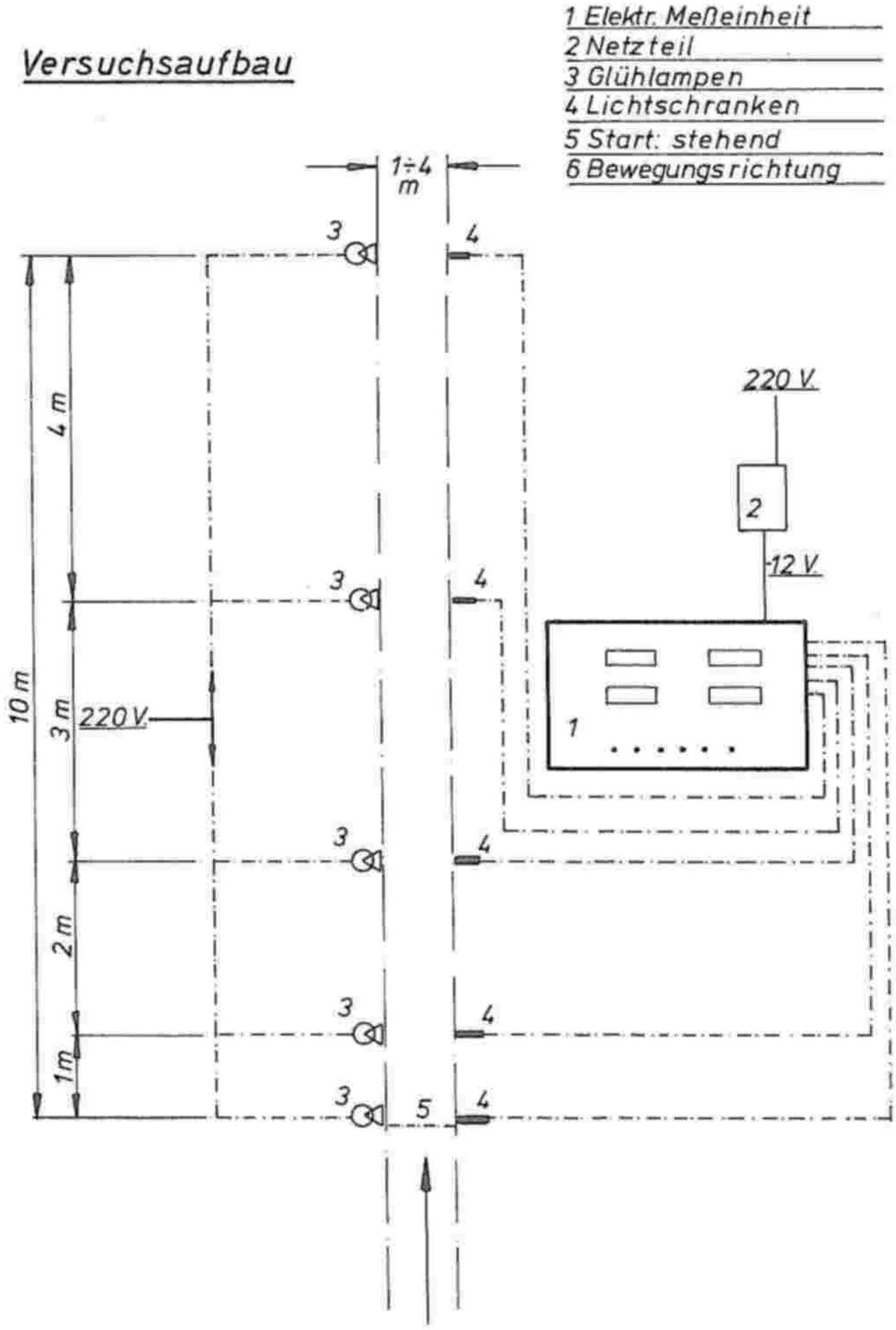
Bei stehendem Start erfolgte der Bewegungsbeginn in Höhe des Startpunktes (s. nachfolgende Skizze).

Bei der Fußgängerdrehbewegung wurde jeweils ein Drehwinkel von

180^{o}

ausgeführt, wobei eine auf der Körpervorderseite montierte Lichtquelle die hierfür in Frage kommenden Lichtschranken auslöste (s. Versuchsaufbauskizze im Punkt 4.14 Fußgängerdrehbewegung).

Versuchsaufbau



2.3 Meßverfahren

Das Meßverfahren beruhte auf einer elektronischen Zeitmessung und wurde eigens für diese Versuche entwickelt.

Die Meßimpulse wurden durch Lichtschranken, welche in genau festgelegten Abständen zueinander aufgebaut waren, geliefert.

Die Schaltung der Lichtschranken war so programmiert, daß beim Passieren der 1. Lichtschranke alle 4 digitalen Zählwerke in Betrieb gesetzt wurden, welche im Bereich bis 99 Sekunden arbeiten und Werte mit einer Genauigkeit bis $1o^{-2}$ sek liefern.

Die Konzeption der digitalen Meßeinheit erlaubte somit das Erfassen von 4 Meßstellen.

Beim Passieren der nachfolgenden Lichtschranken wurde jeweils ein Zählwerk in der digitalen Meßeinheit durch einen Steuerimpuls der Lichtschranke selbständig gestoppt. Dadurch war es möglich, über sämtliche Versuche objektive Meßergebnisse ohne Meßfehler zu liefern.

Gegenüber der bisher üblichen Handstoppung waren damit menschliche Einflußgrößen ganz ausgeschaltet.

LS Start

LS 1

Meßbereich 1

Meßbereich 2

LS 2

Sekunden
x 0,01

LS 3

LS 4

Meßbereich 3

Meßbereich 4

Eingänge über
Lichtschranken

Digitale Zeitmeßung

Handstoppung

Start 1 2 3 4 Reset

3. STELLUNGNAHME ZU DEN VERSUCHEN VON LOCHNER UND H. u. W. LANGE UND HANKEL

Die Versuche von Lochner wurden 1957, die von H. u. W. Lange und Hankel 1964 durchgeführt. Lochner untersuchte dabei lediglich die Bewegungsform des Laufens, wobei nicht unterschieden ist, ob diese Bewegung normal oder maximal erfolgte.

Lange und Hankel untersuchten dagegen die Bewegungsformen des Gehens, Laufens und Rennens, eine Differenzierung, die im Hinblick auf die forensische Praxis als sinnvoll zu bezeichnen ist; dennoch ist auf Grund des normalen menschlichen Bewegungsverhaltens auch die Unterscheidung der Bewegungsart "Gehen" in "normal Gehen" und "schnell Gehen" anzustreben, was in den vorliegenden Untersuchungen Berücksichtigung fand.

Die Bewegungszeiten wurden bei beiden Arbeiten durch Handstoppung, bei Lochner über 1o m, bei Lange und Hankel im Bereich bis 3o m, ermittelt.

Die Handstoppung stellt natürlich eine mögliche Fehlerquelle dar, die sowohl in der Ablesegenauigkeit (bis 1/1o sek) als auch in der Bedienung der Stoppuhr begründet sein kann. Bei einer Bewegungsstrecke von 1o m ergibt eine Falschmessung von o,1 sek bereits einen Geschwindig-

keitsfehler im Bereich von o,5 - 1,o m/sek, wenn man die Bewegungsform des Rennens zugrunde legt.

Beim Vergleich der vorliegenden Versuchsergebnisse mit denen von H. u. W. Lange und Hankel finden letztere im wesentlichen Bestätigung.

Lochners ermittelte Geschwindigkeitswerte wurden in den von uns durchgeführten Versuchen zum Teil nicht erreicht. Hierzu kann jedoch nicht konkret Stellung genommen werden, da die Versuchsbedingungen von Lochner, insbesondere der ausgewählte Personenkreis, nicht bekannt waren.

Die von Lochner erwähnten Rekordgeschwindigkeiten, die bis zu 25% über den angegebenen Laufgeschwindigkeiten liegen, können sich zwangsläufig nur auf Hochleistungssportler beziehen. Eine Ableitung für den Straßenverkehr kann hieraus nicht vorgenommen werden.

Unsere Meßwerte beruhen auf Messungen, die sowohl vom Personenkreis als auch von allen anderen Einflußgrößen auf den Straßenverkehr abgestimmt sind.

VERSUCHSERGEBNISSE

Hinweise zur Handhabung der Diagramme

Die nachfolgenden Diagramme berücksichtigen sowohl den fliegenden als auch den stehenden Start. Die Benutzung der Diagramme erfolgt zweckmäßigerweise so, daß bei gegebener Unfallsituation aus stehendem Start einfach aus dem Weg-Zeit-Diagramm die Zeit für das entsprechende Weginterval1 o, s herausgelesen wird.

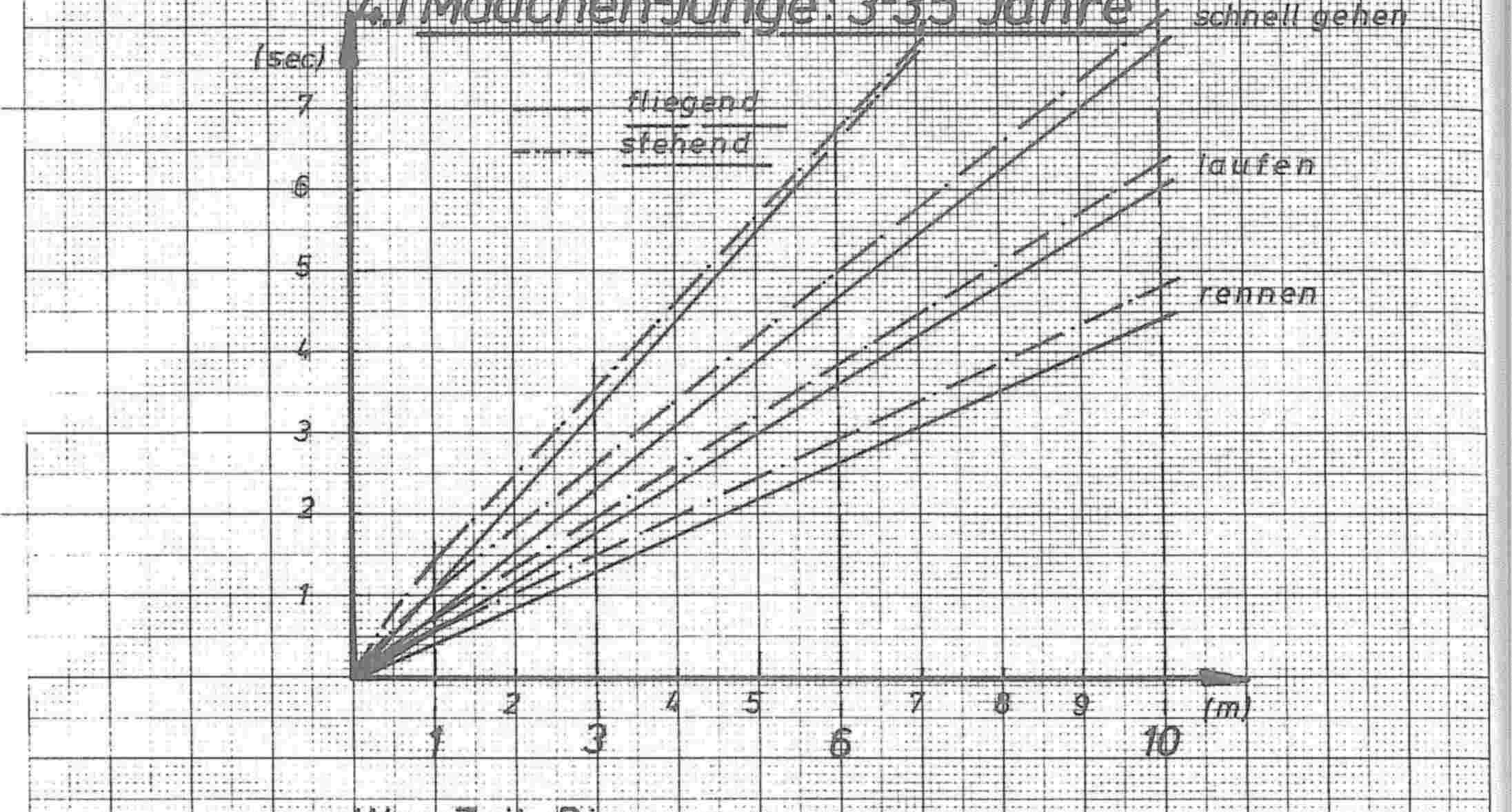
Beim Weg-Geschwindigkeits-Diagramm ist zu berücksichtigen, daß die aufgetragenen Geschwindigkeitswerte Mittelwerte in den Intervallen o, t bzw. o, s darstellen und als Mittelwert einer stetigen Größe nach

$$\overline{v}\ (\ t_1, t_2\ ) \quad = \quad \frac{s\ (t_2) - s\ (t_1)}{t_2 - t_1}$$

errechnet werden können.

4. Fußgänger

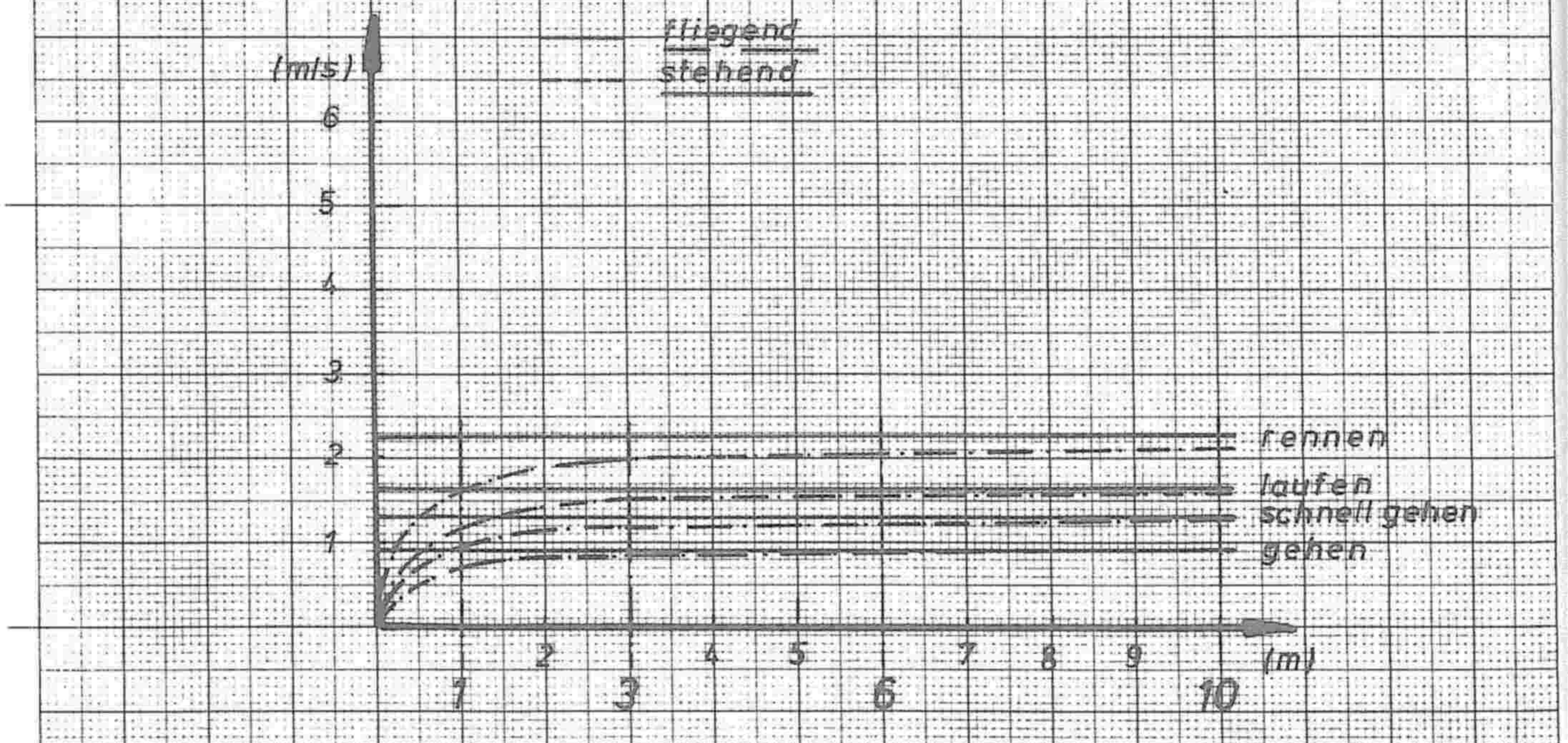
4.1 Mädchen-Junge: 3-3,5 Jahre



Weg-Zeit-Diagramm

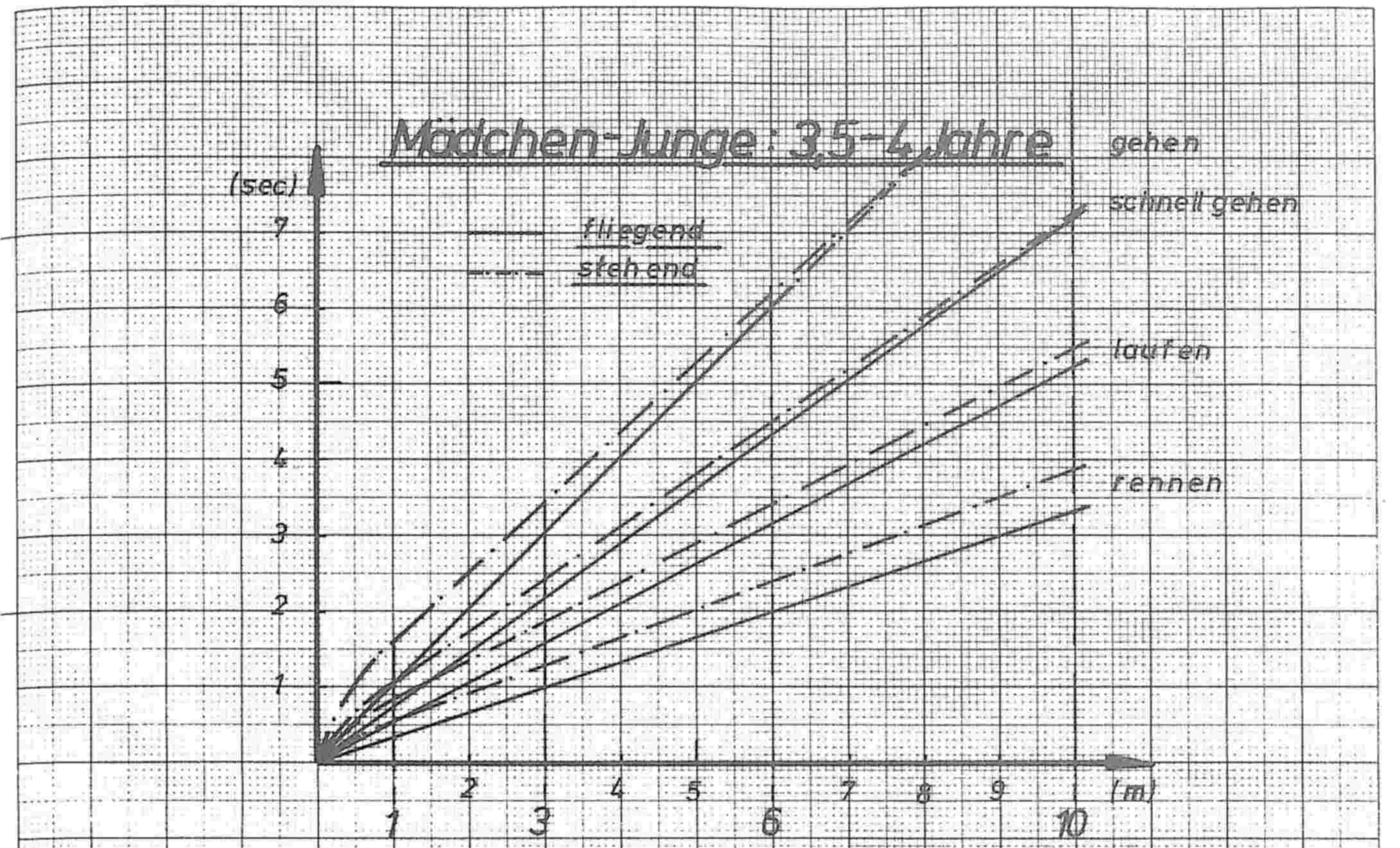
Größe: 0,88-0,99 m

Gewicht: 10 - 15 kp



Weg-Geschwindigkeit [$\bar{v}$]

Mädchen - Junge: 3,5 - 4 Jahre



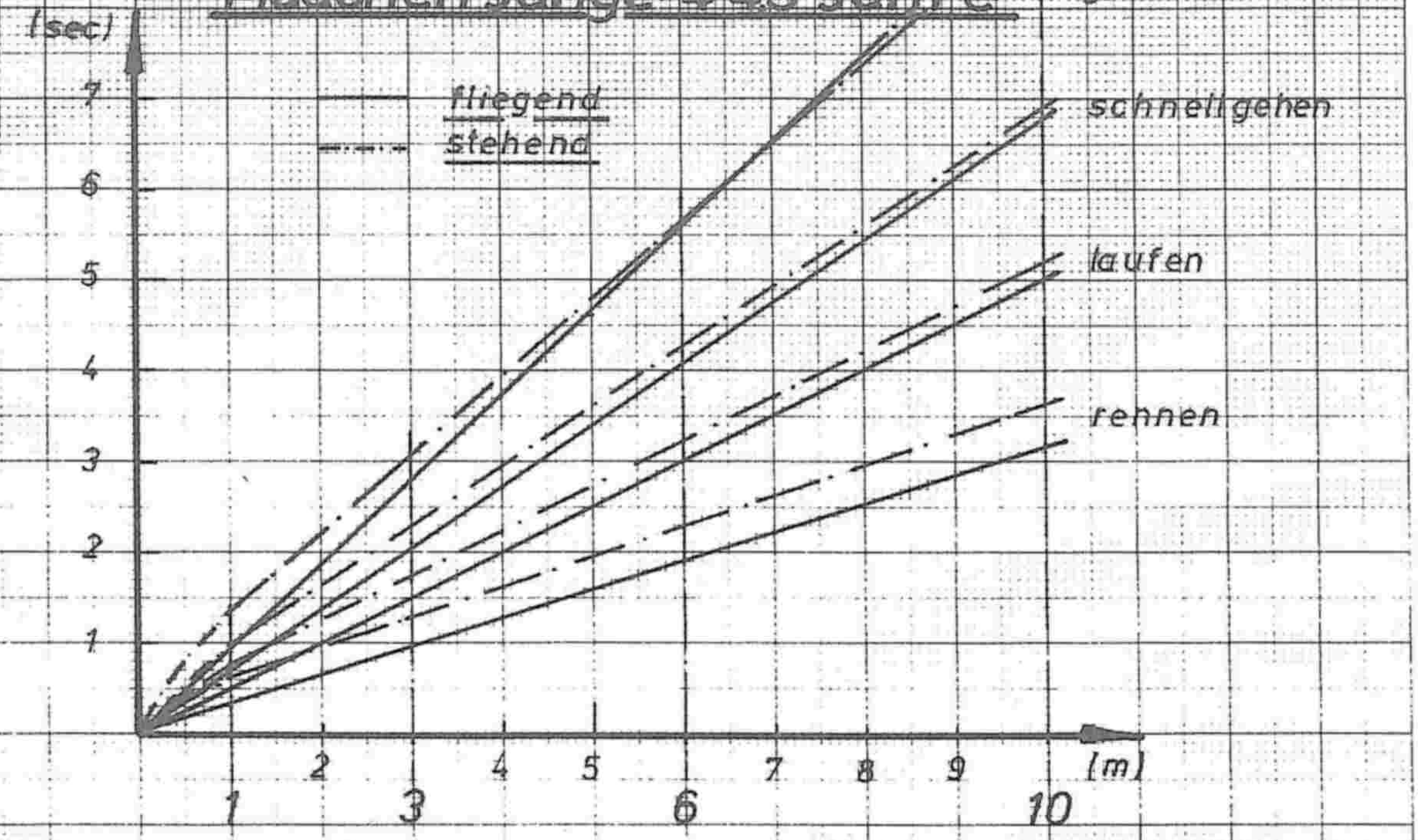
Weg – Zeit – Diagramm

Größe: 0,92 – 1,06 m

Gewicht: 11 — 16 kp

Weg – Geschwindigkeit [v]

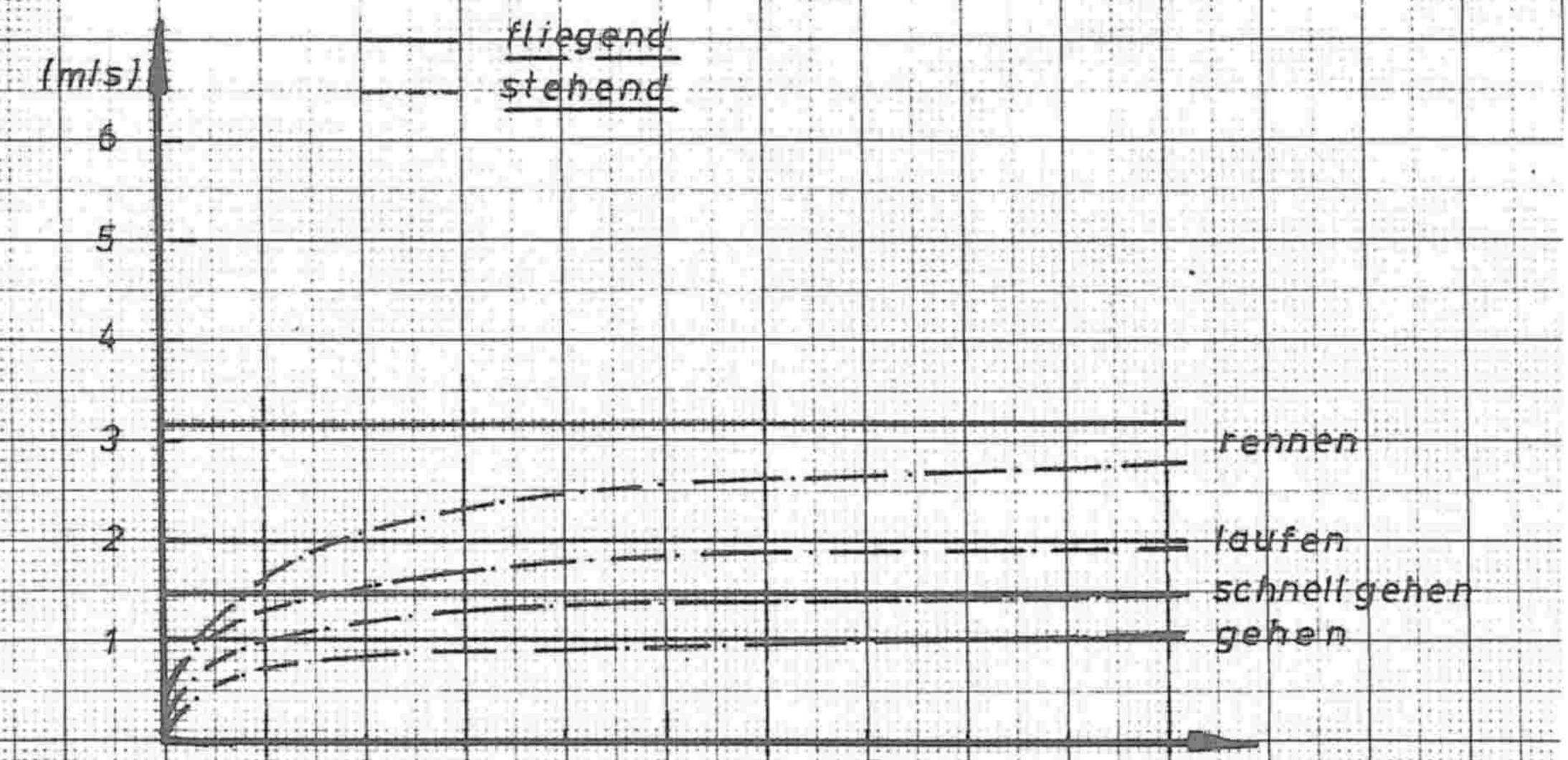
Mädchen-Junge: 4-4,5 Jahre



Weg-Zeit-Diagramm

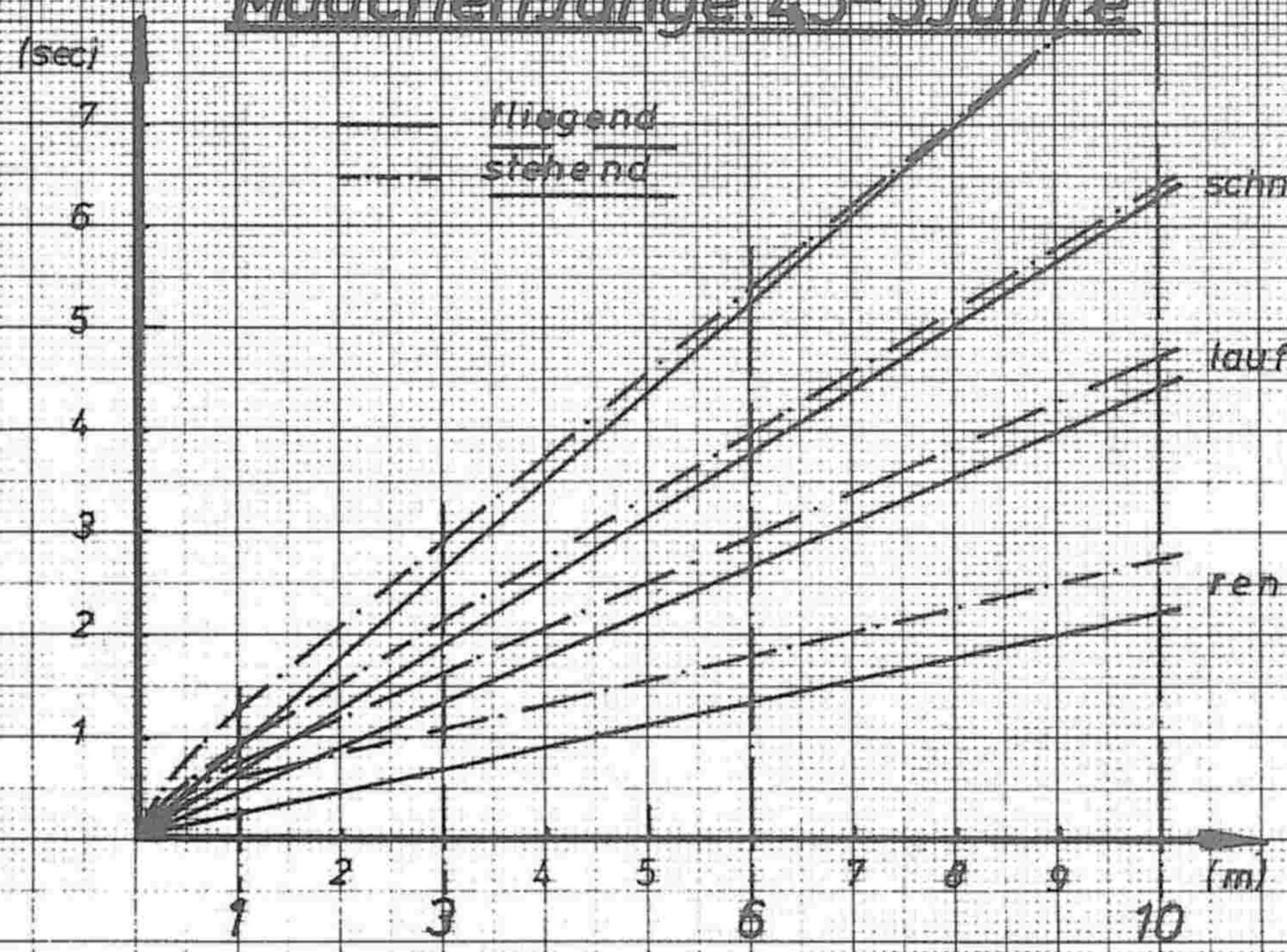
Größe: 0,96 – 1,10 m

Gewicht: 12 – 19 kp



Weg – Geschwindigkeit [v̄]

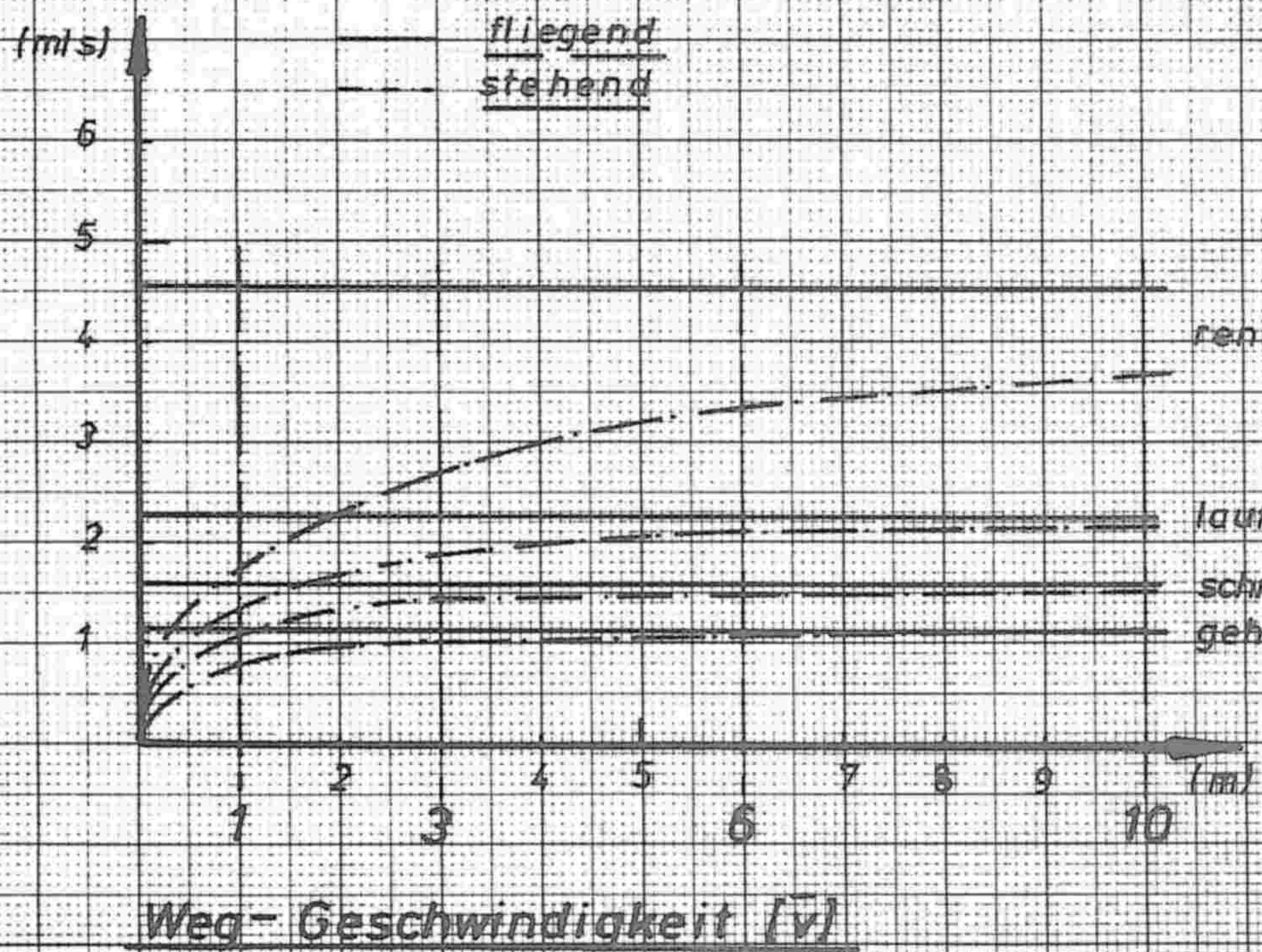
Mädchen:Junge: 4,5–5 Jahre



Weg-Zeit-Diagramm

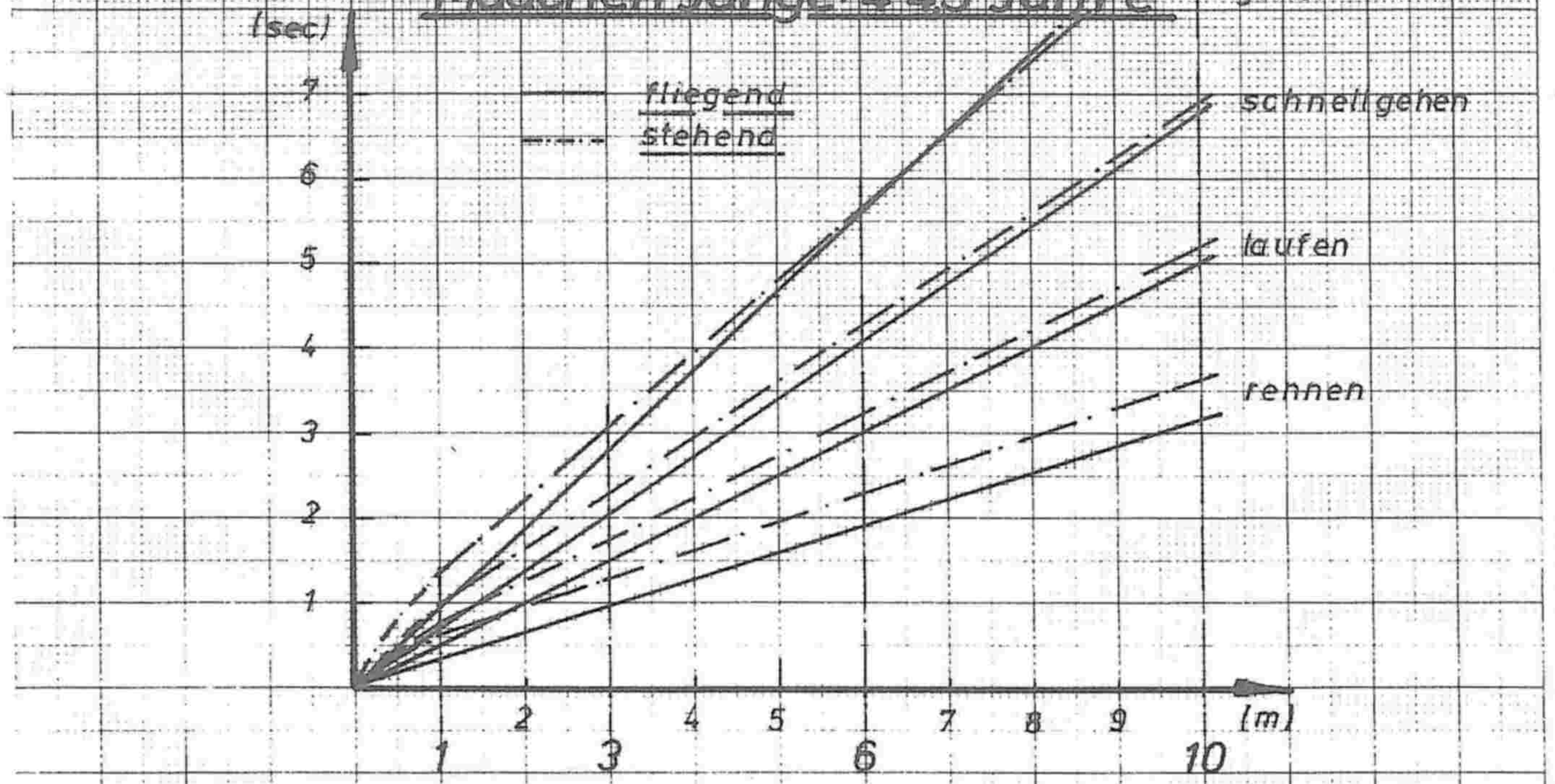
Größe: 1,02 — 1,14 m

Gewicht: 15 — 19 kp



Weg- Geschwindigkeit (v̄)

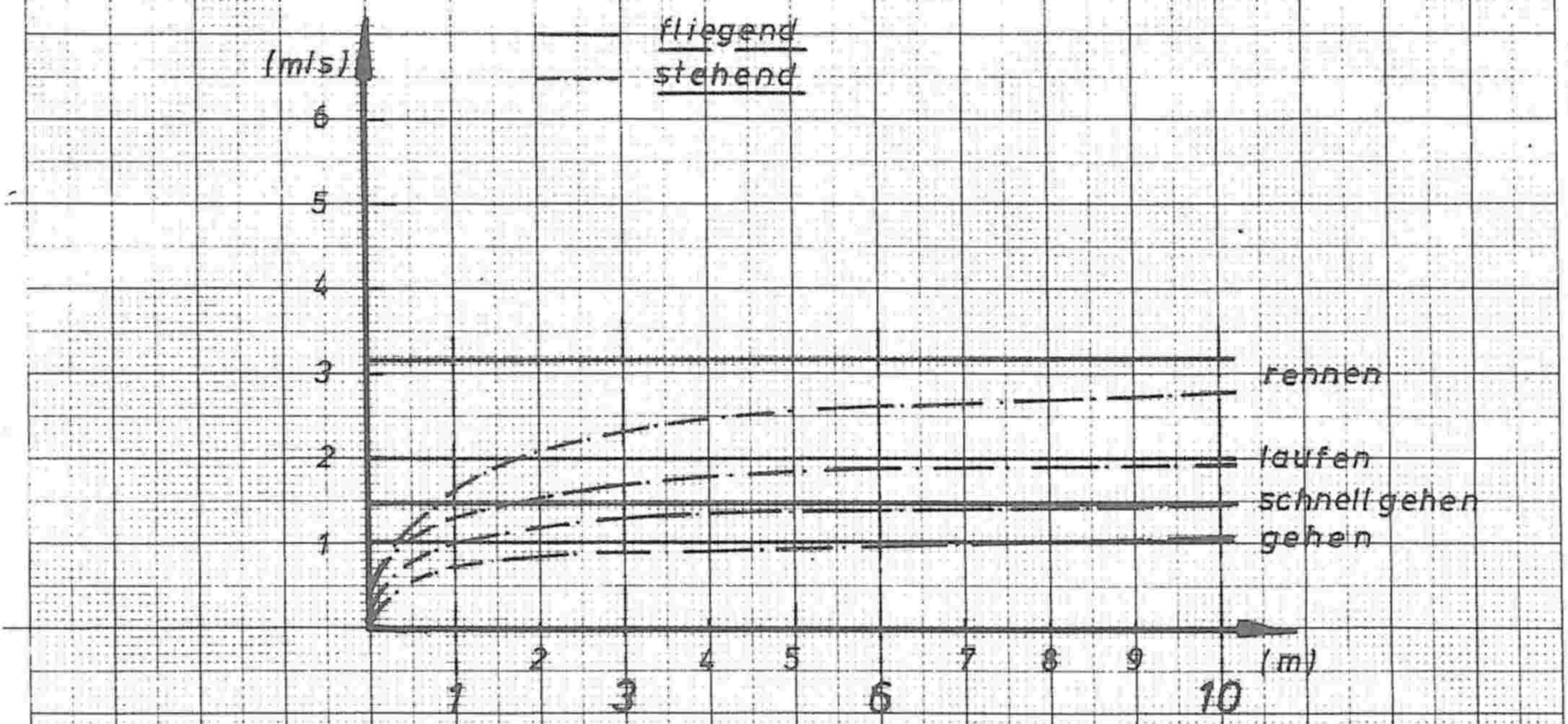
Mädchen-Junge: 4-4,5 Jahre



Weg-Zeit-Diagramm

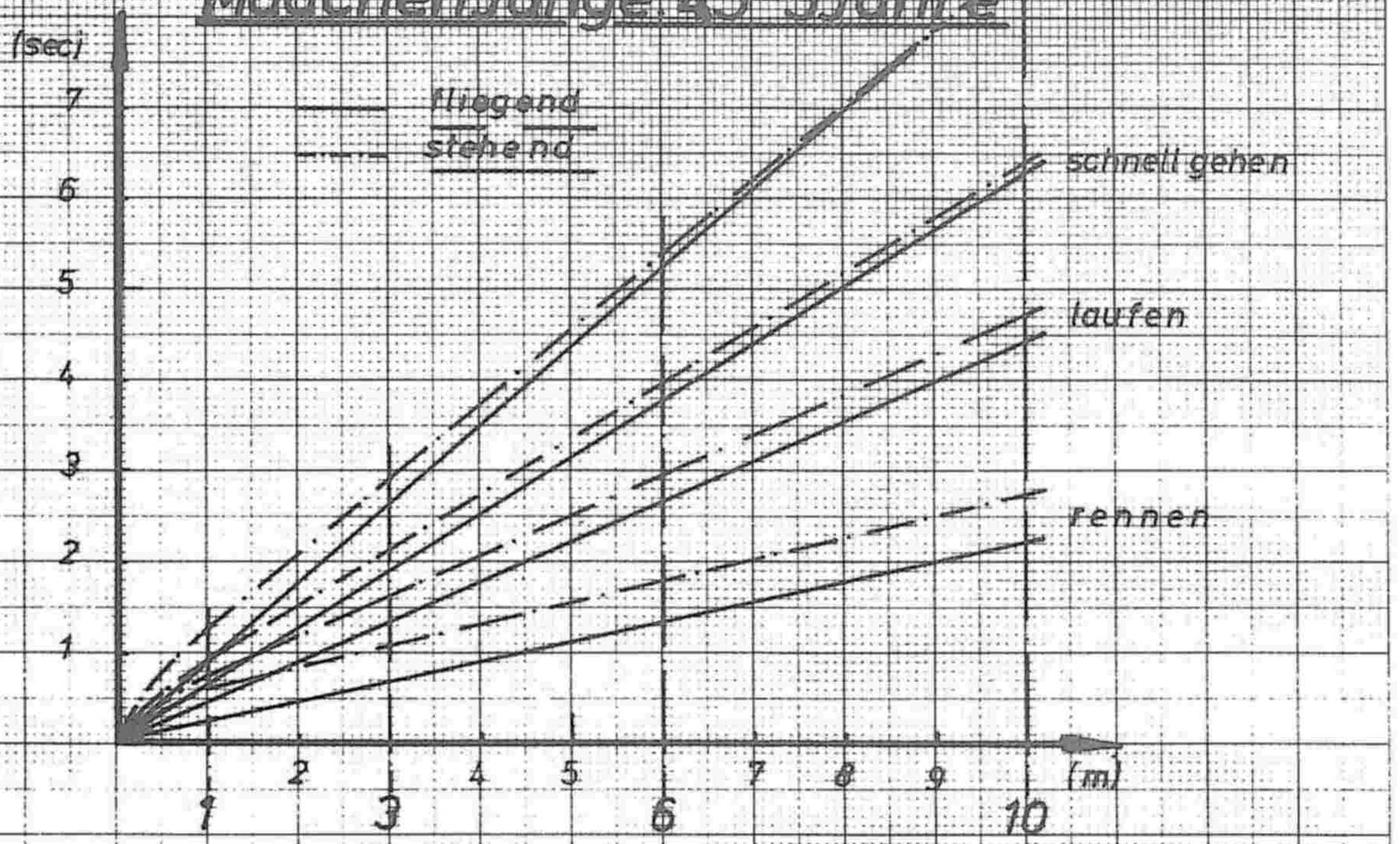
Größe: 0,96 – 1,10 m

Gewicht: 12 – 19 kp



Weg-Geschwindigkeit [v]

Mädchen: Junge: 4,5–5 Jahre



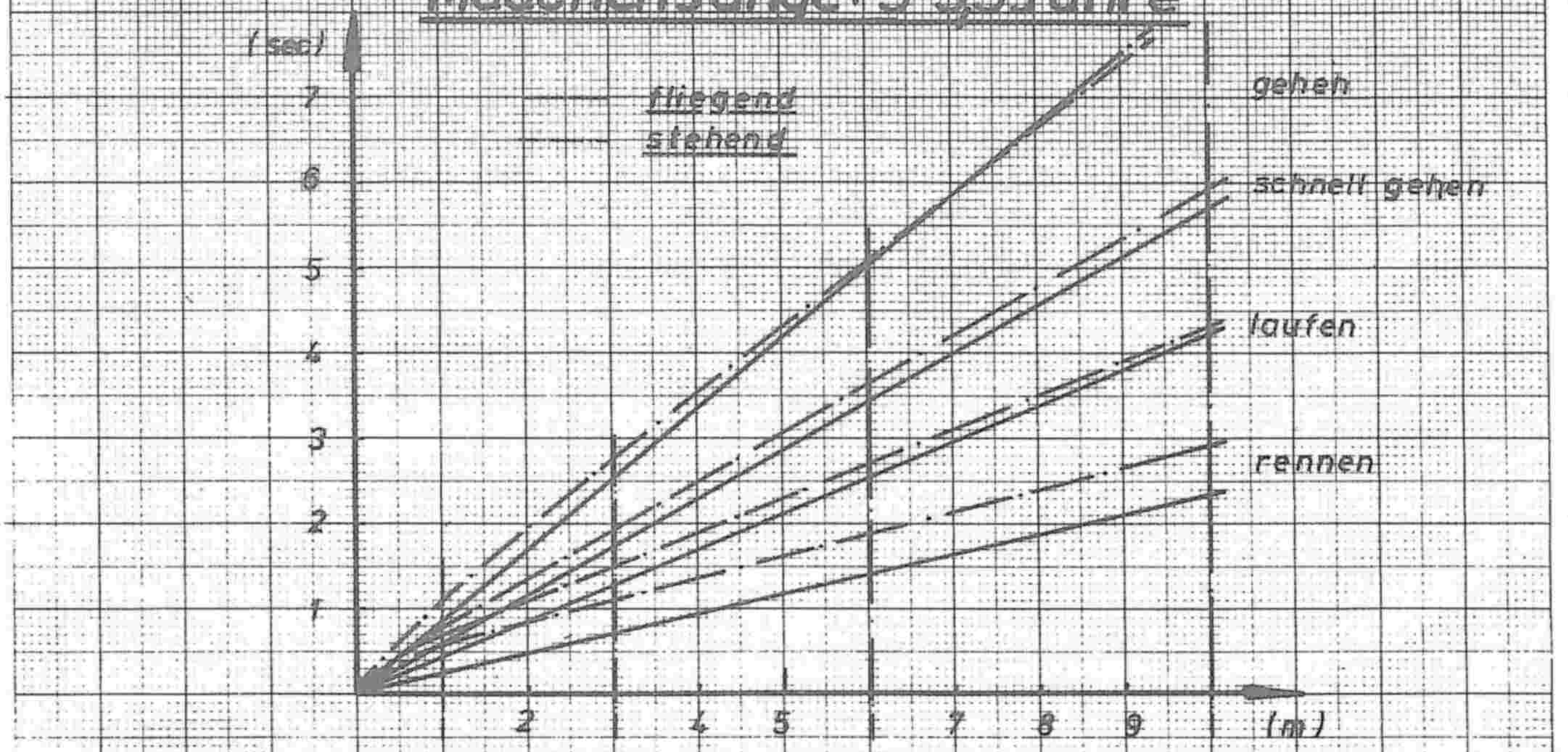
Weg-Zeit-Diagramm

Größe: 1,02 — 1,14 m

Gewicht: 15 — 19 kp

Weg- Geschwindigkeit [v]

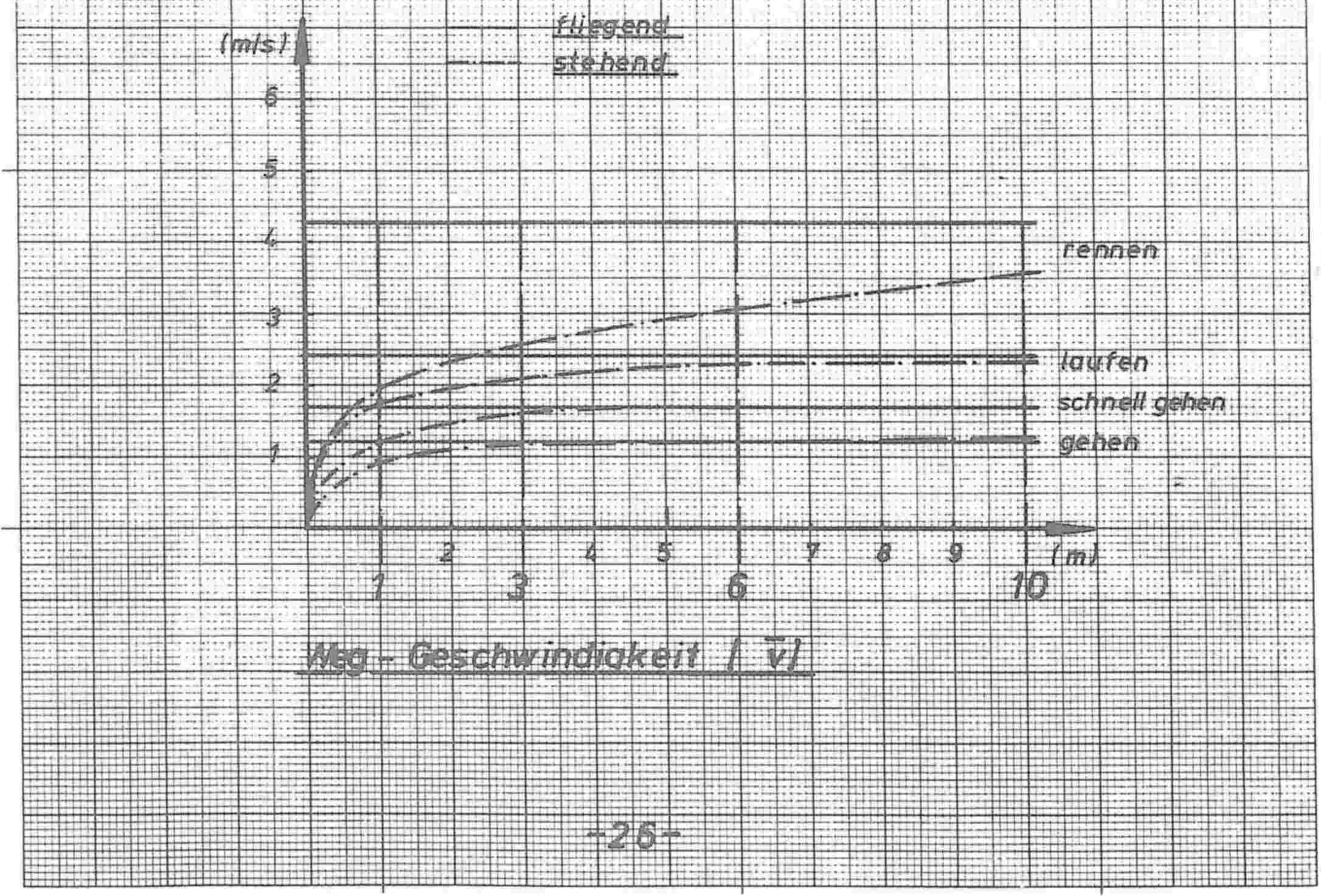
Mädchen/Junge: 5-5,5 Jahre



Weg - Zeit - Diagramm

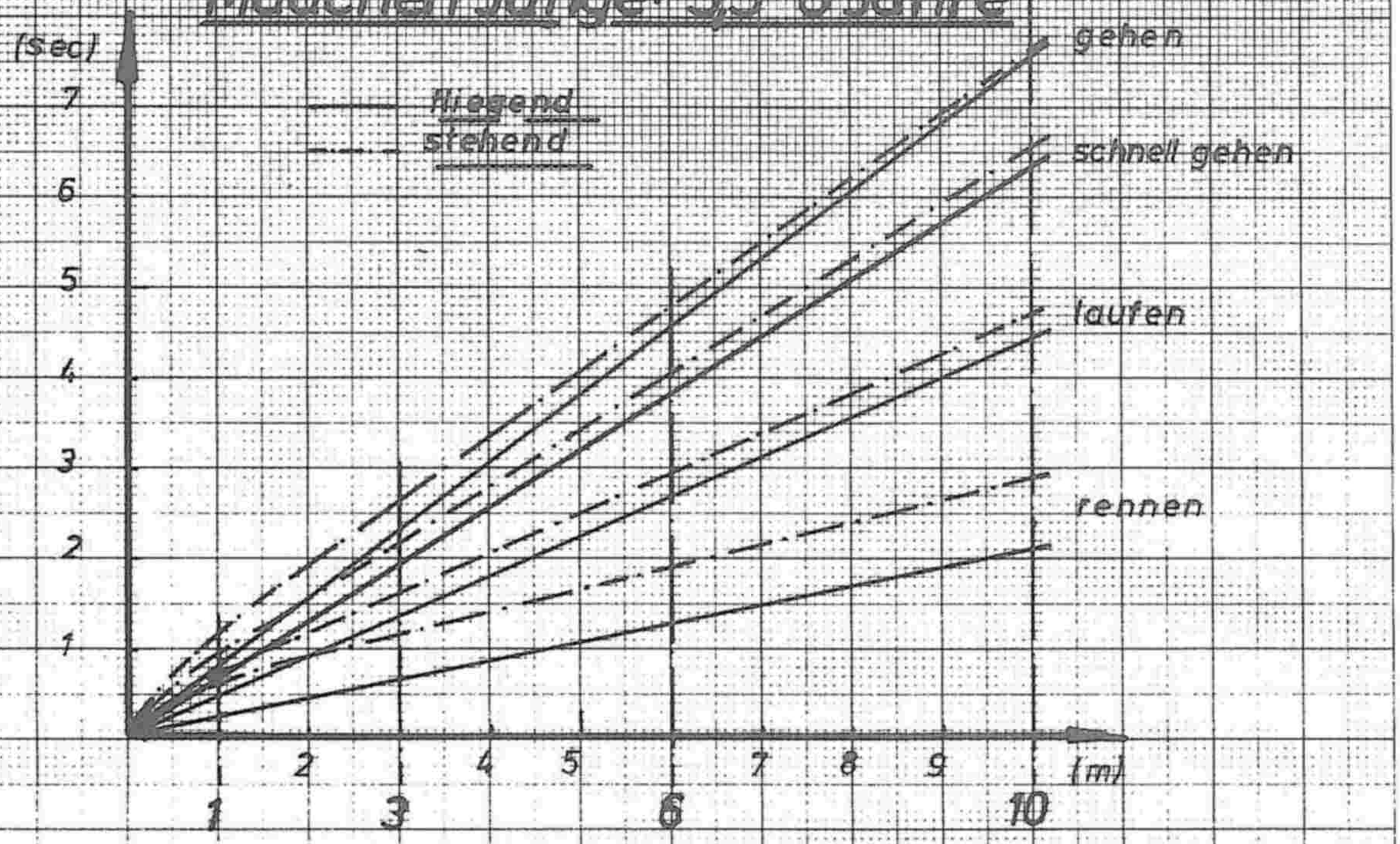
Größe: 1,08-1,18 m

Gewicht: 15 - 21 kp



Weg - Geschwindigkeit ($\bar{v}$)

Mädchen-Junge: 5,5–6 Jahre



Weg-Zeit-Diagramm

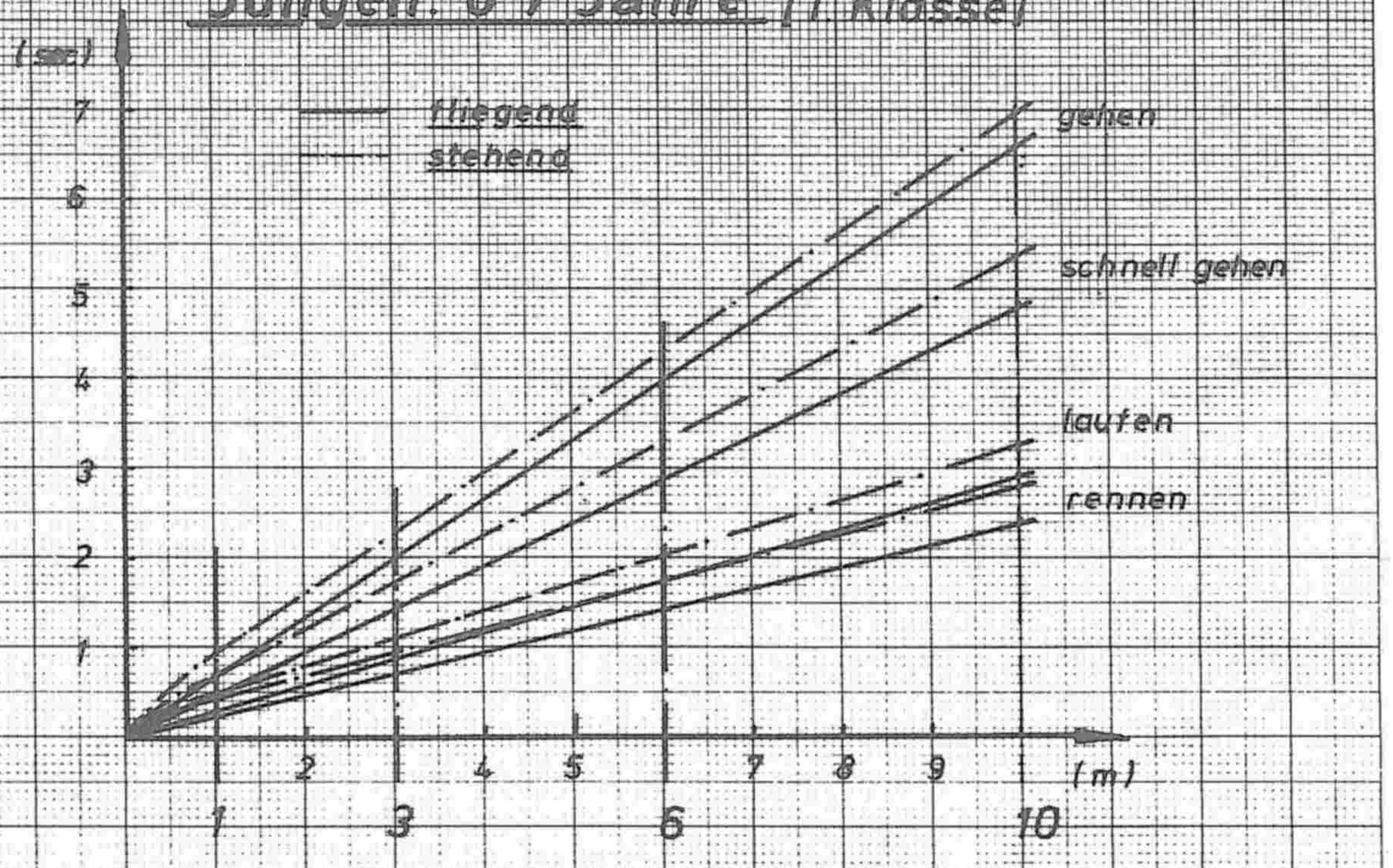
Größe: 1,16–1,25 m

Gewicht: 19 – 24 kp

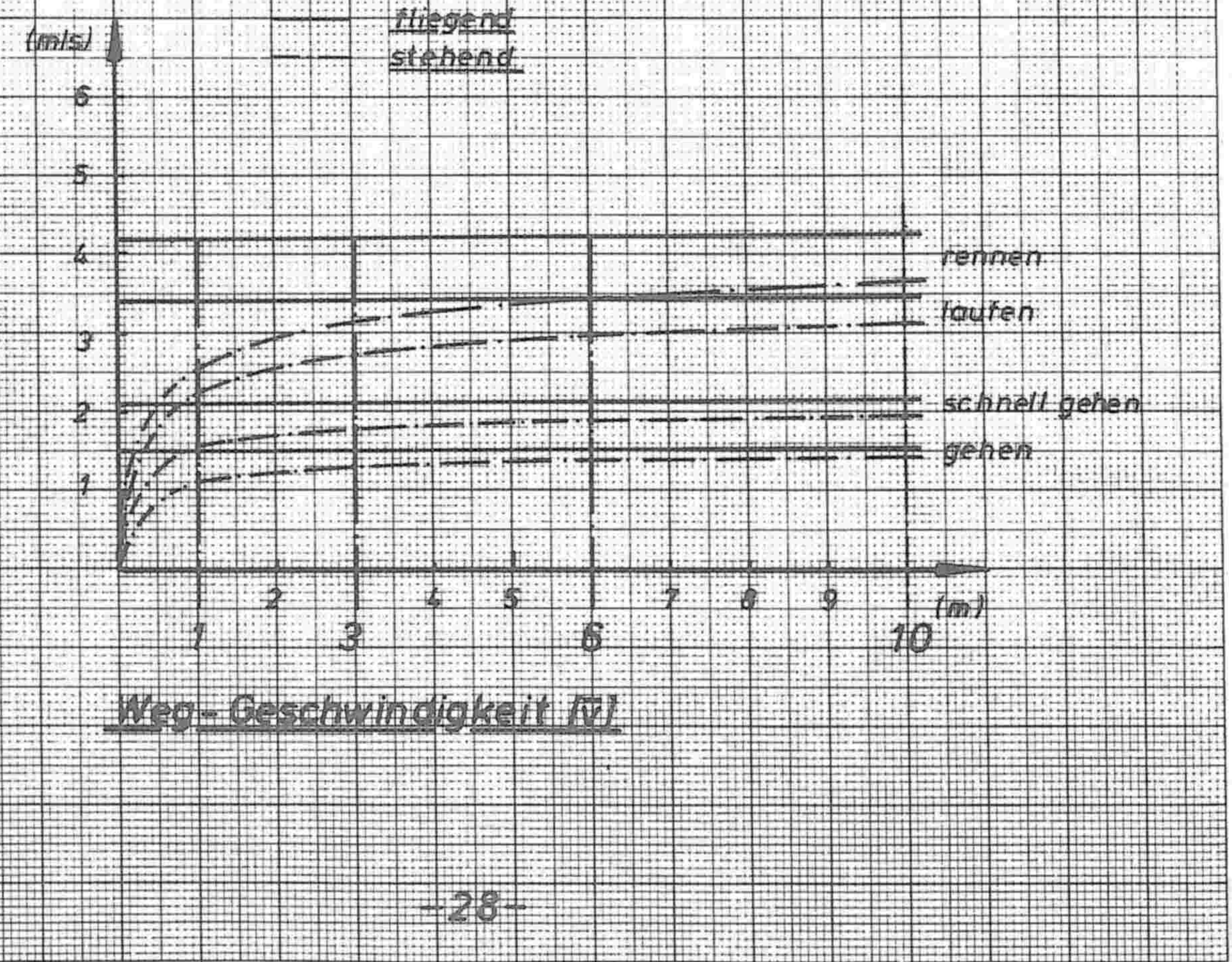
Weg–Geschwindigkeit [$\bar{v}$]

4.2 Kinder

Jungen: 6-7 Jahre (1. Klasse)

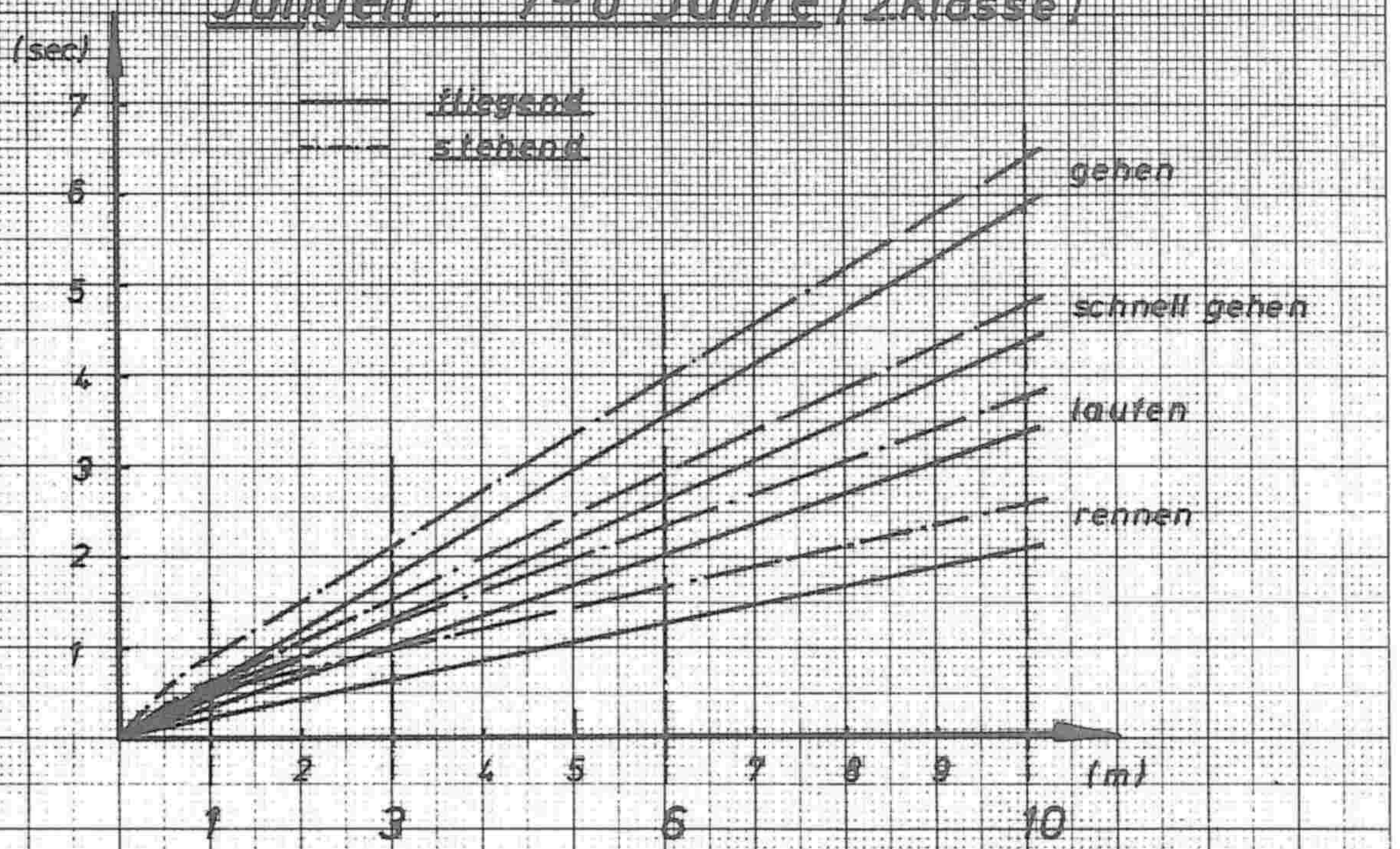


Weg- Zeit- Diagramm

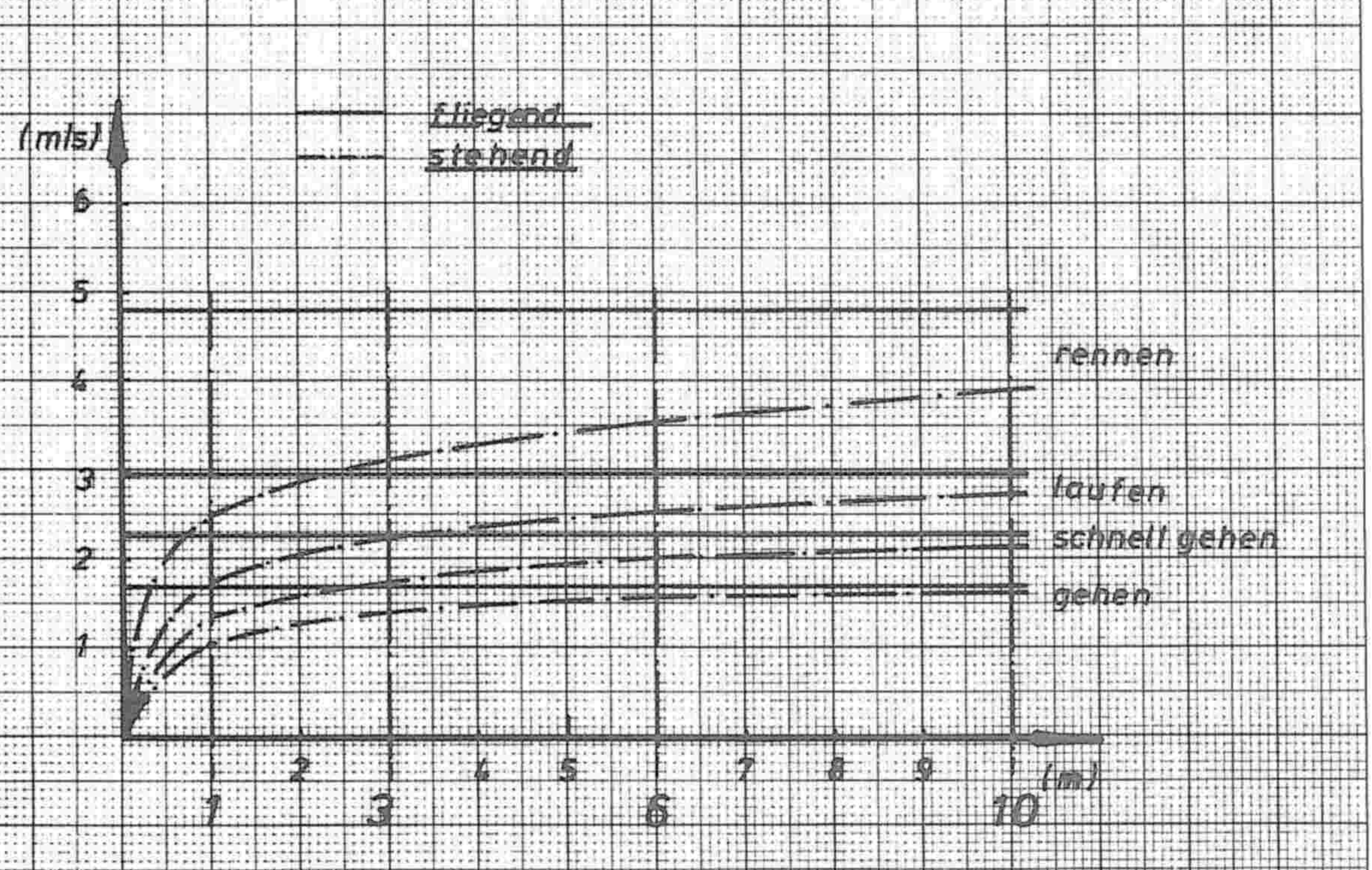


Weg- Geschwindigkeit (v)

Jungen: 7–8 Jahre / 2. Klasse /

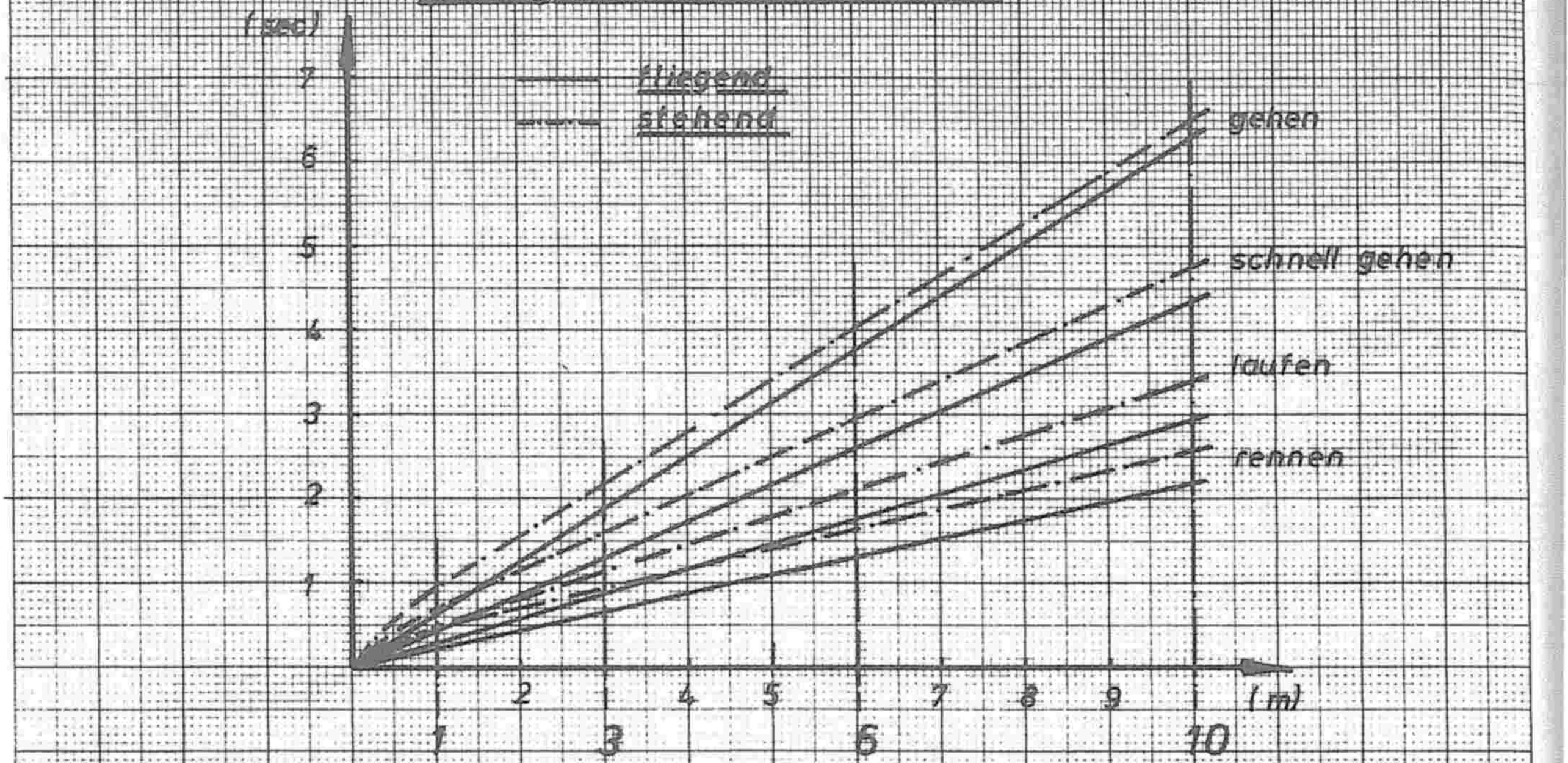


Weg-Zeit-Diagramm

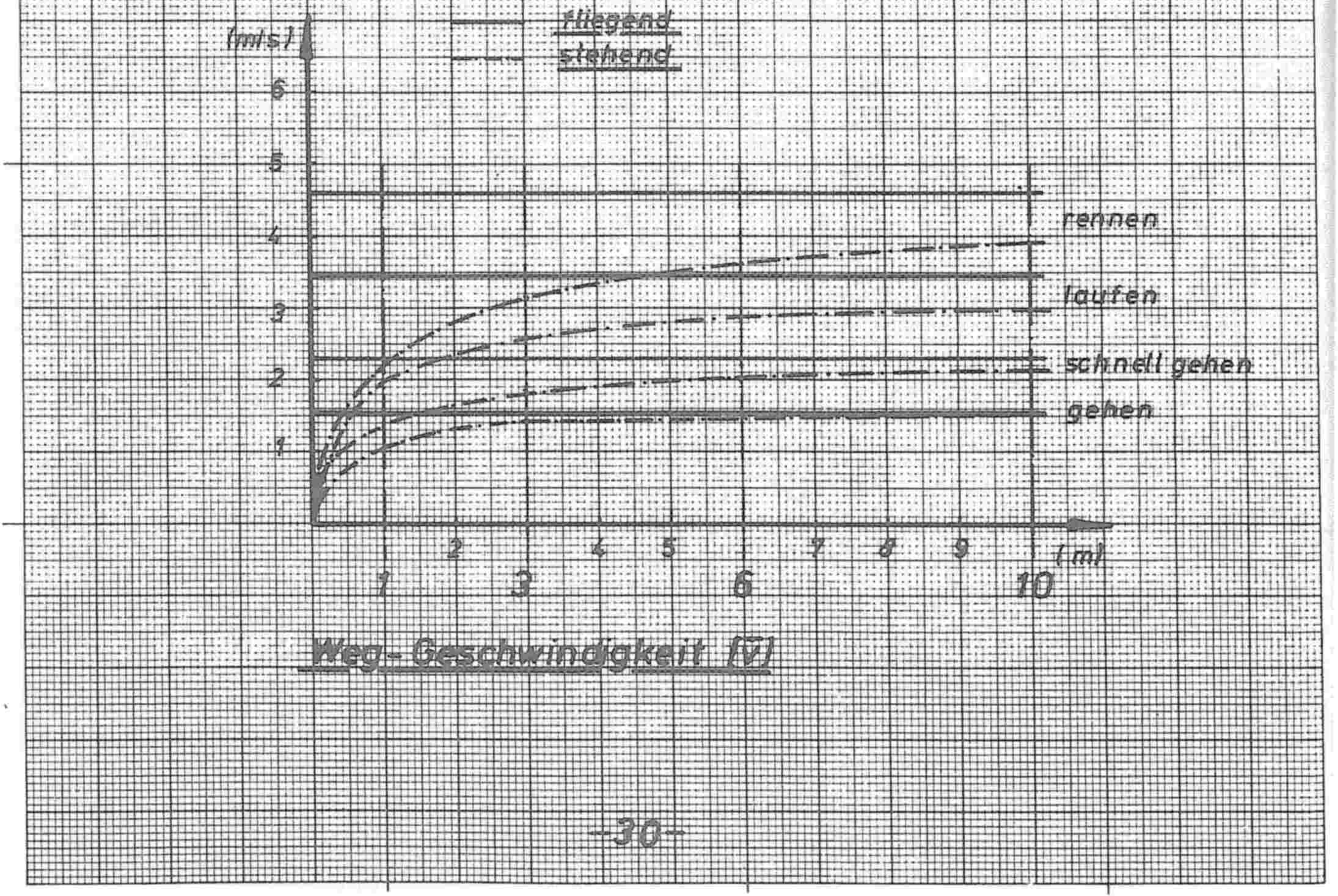


Weg-Geschwindigkeit [v]

Jungen: 8–9 Jahre (3. Klasse)

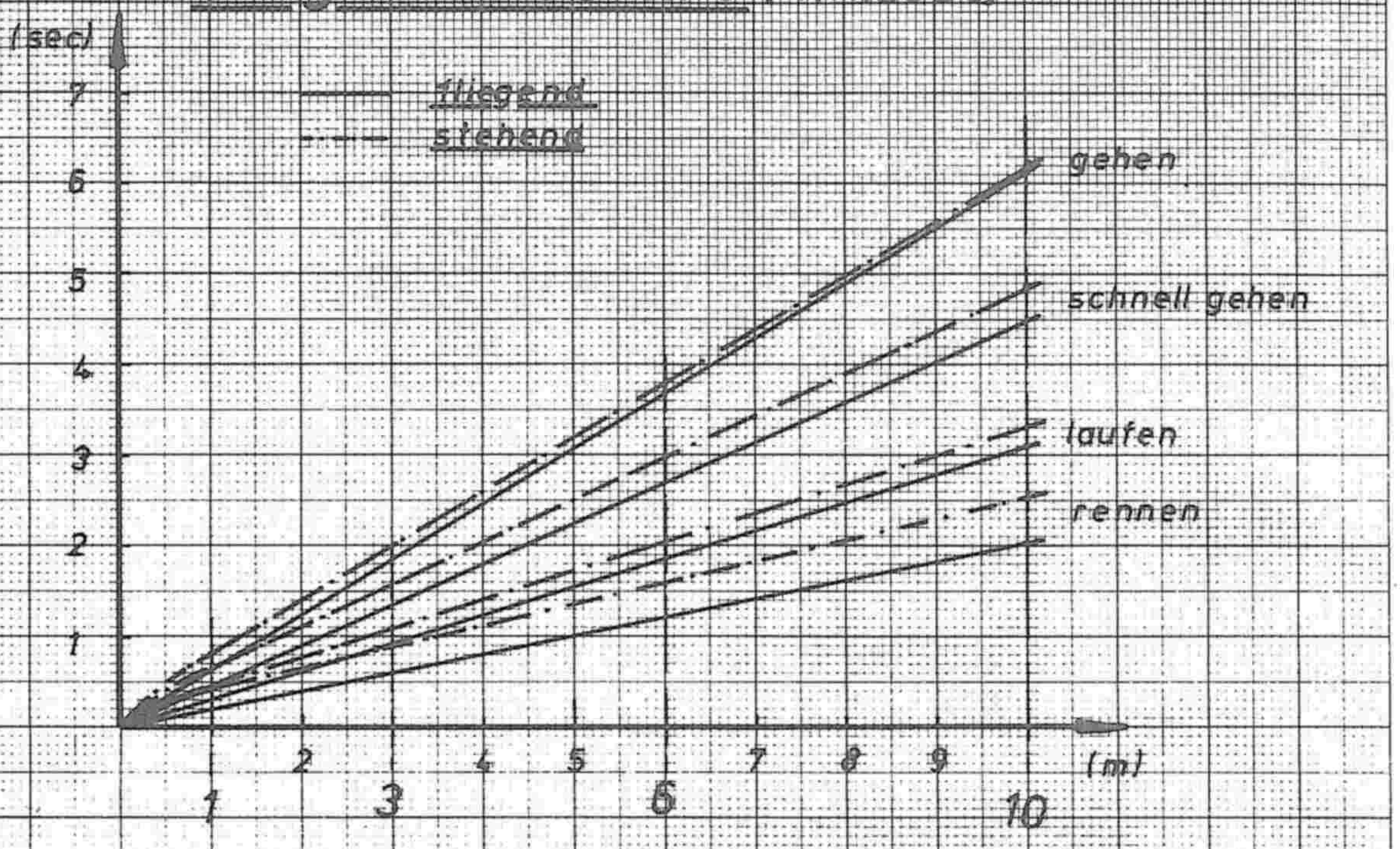


Weg- Zeit- Diagramm

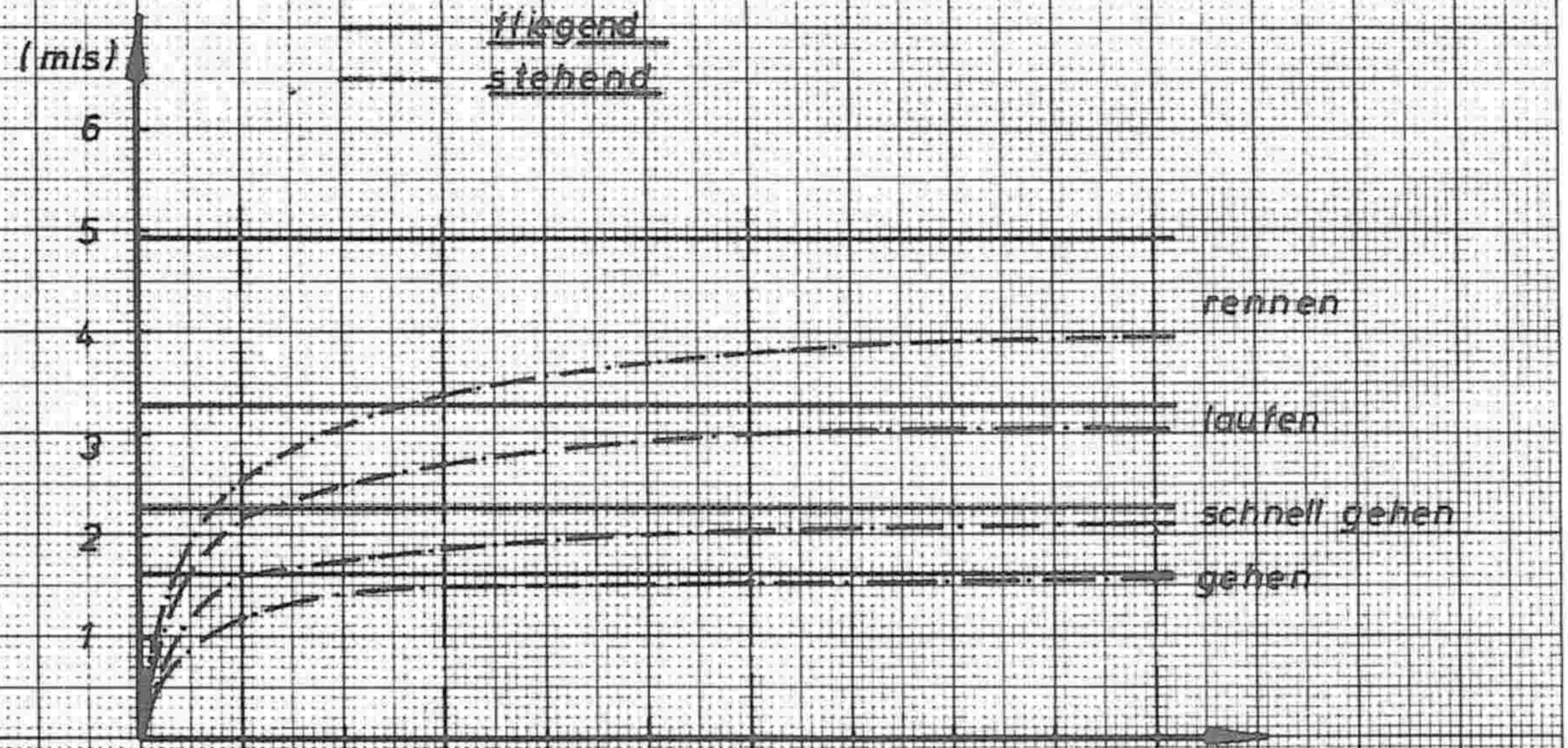


Weg- Geschwindigkeit (v)

Jungen: 9-10 Jahre (4. Klasse)

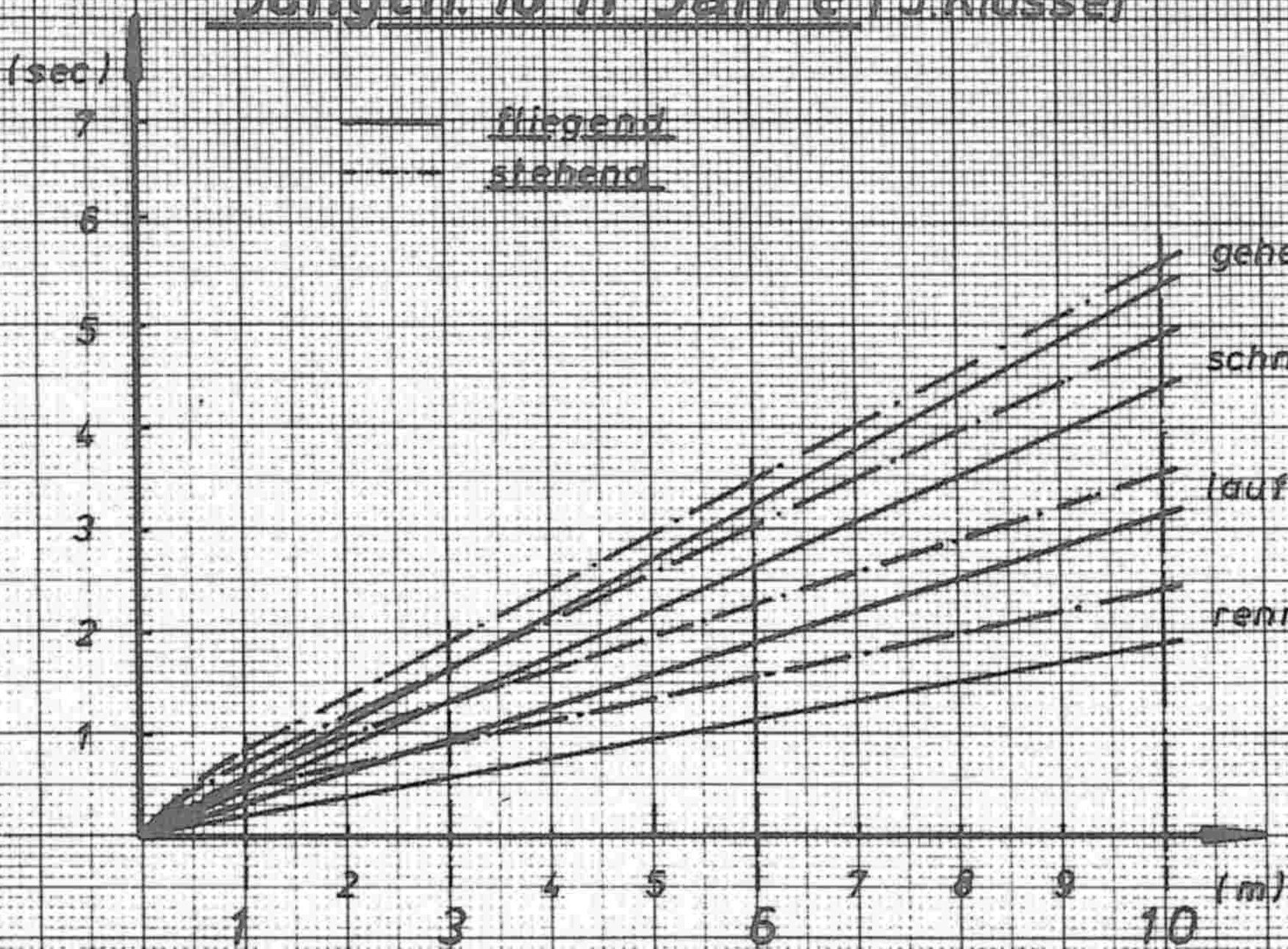


Weg - Zeit - Diagramm

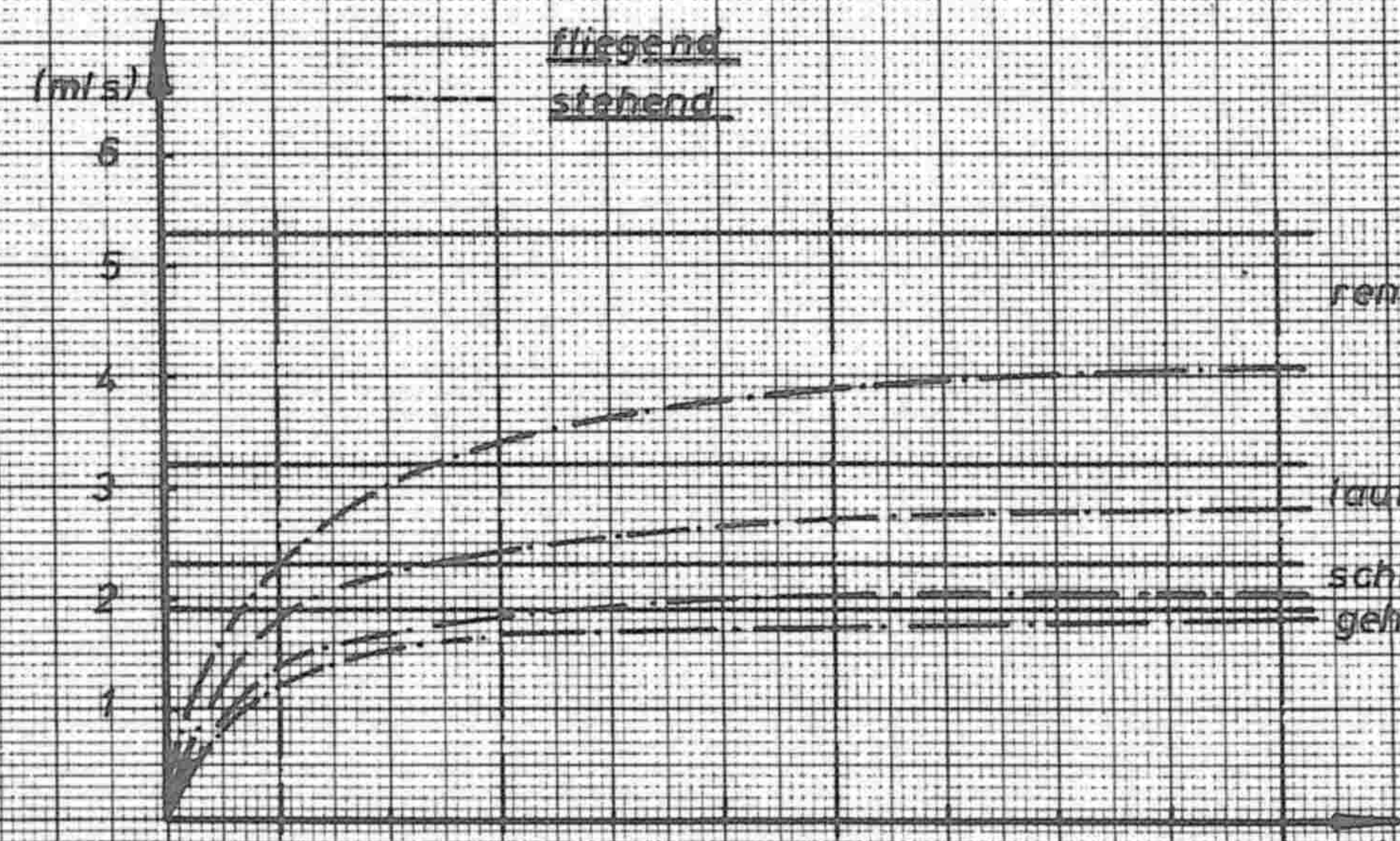


Weg - Geschwindigkeit (v)

Jungen: 10-11 Jahre (5. Klasse)

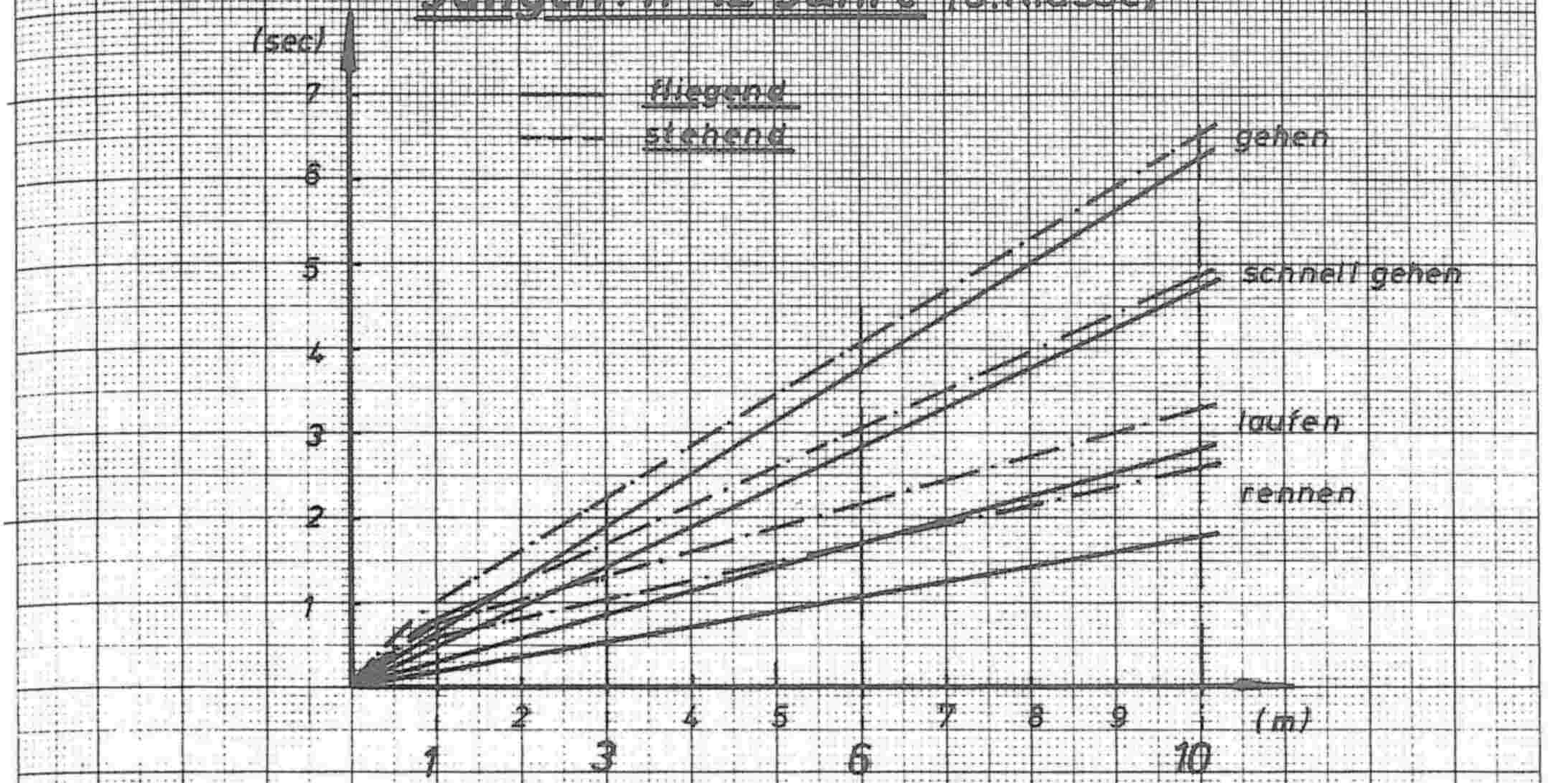


Weg-Zeit-Diagramm



Weg-Geschwindigkeit (v)

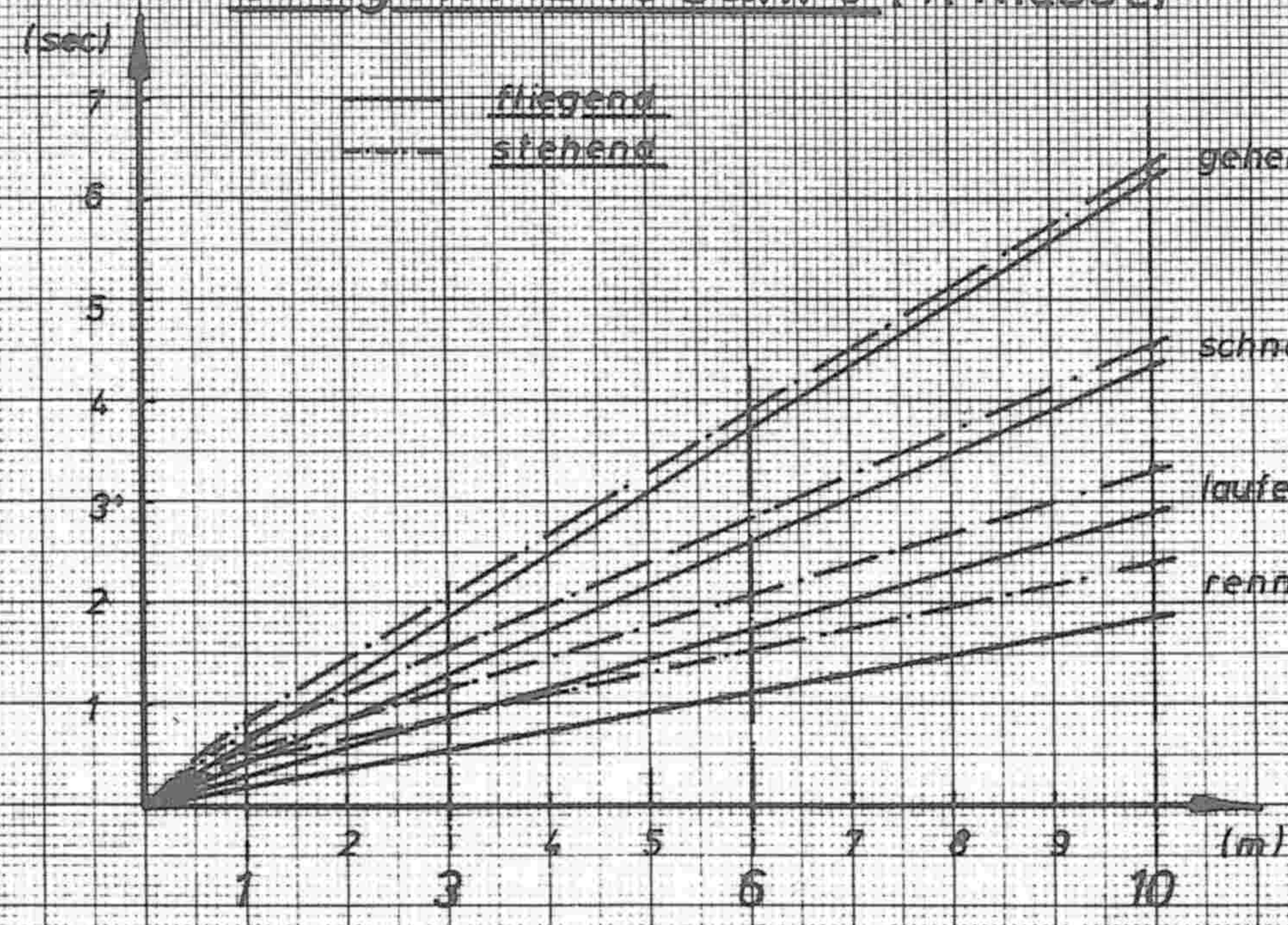
Jungen: 11-12 Jahre (6. Klasse)



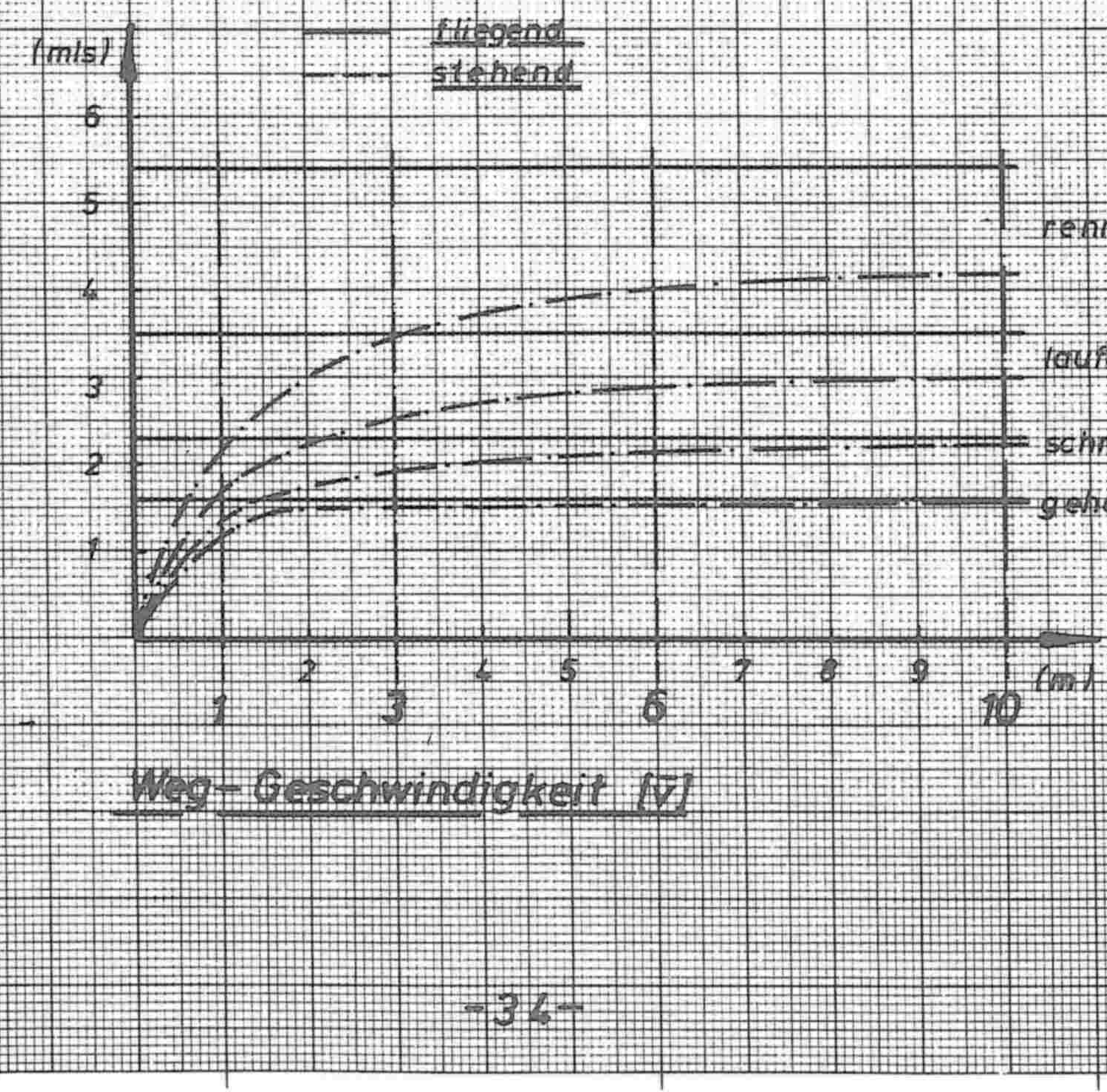
Weg- Zeit- Diagramm

Weg- Geschwindigkeit [v]

Jungen: 12-13 Jahre (7. Klasse)

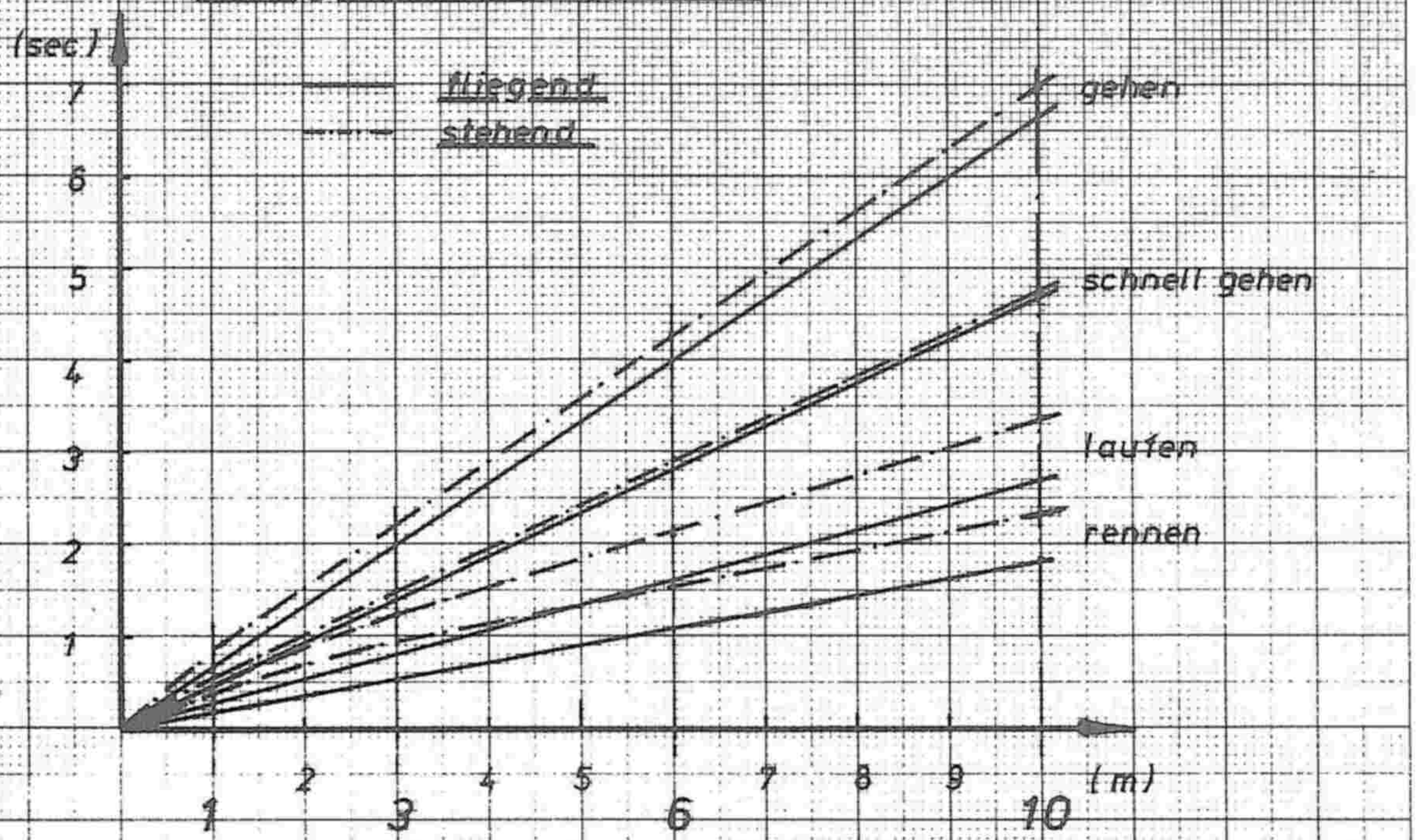


Weg-Zeit-Diagramm

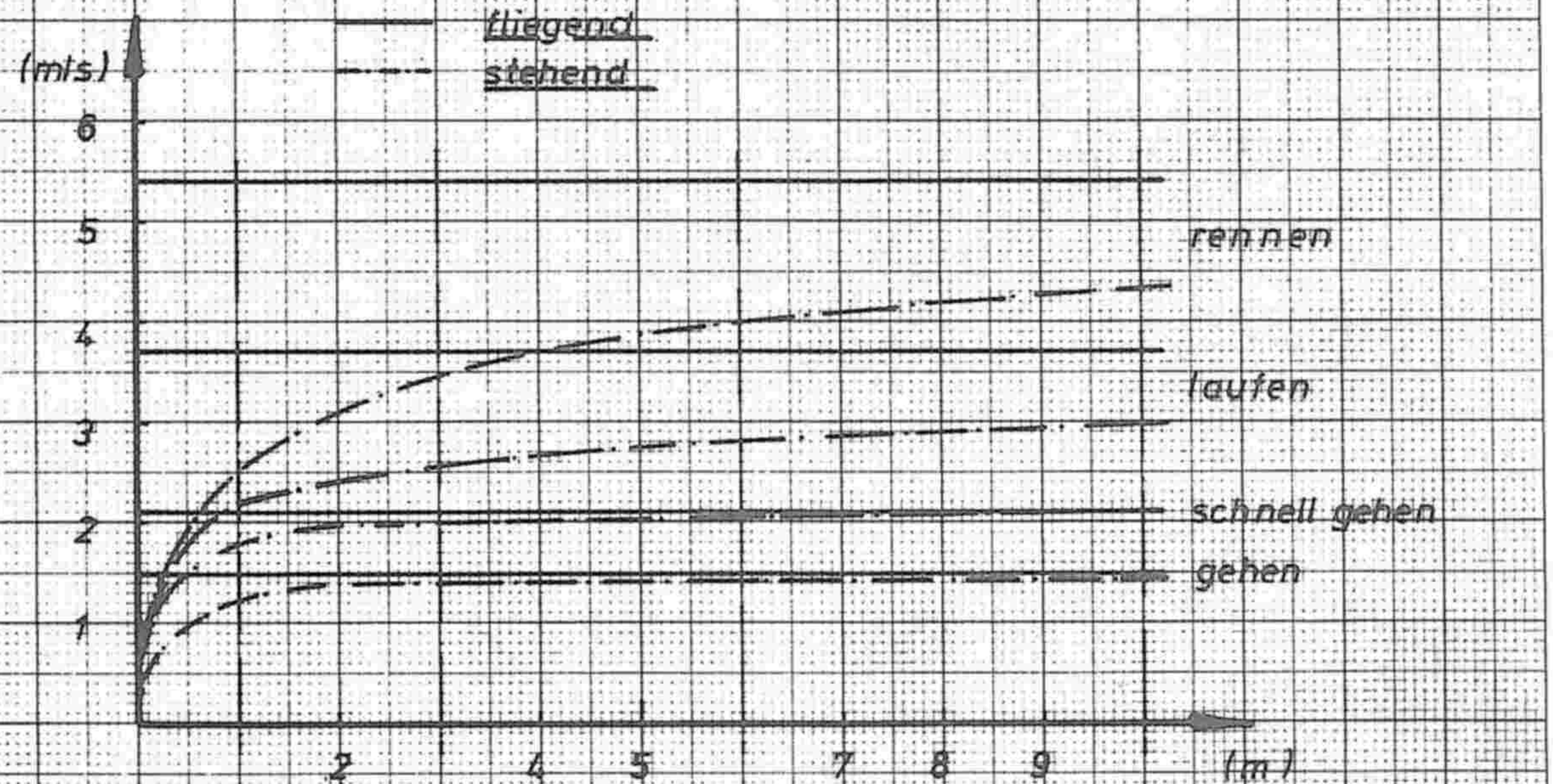


Weg-Geschwindigkeit (v)

Jungen: 13-14 Jahre (8. Klasse)

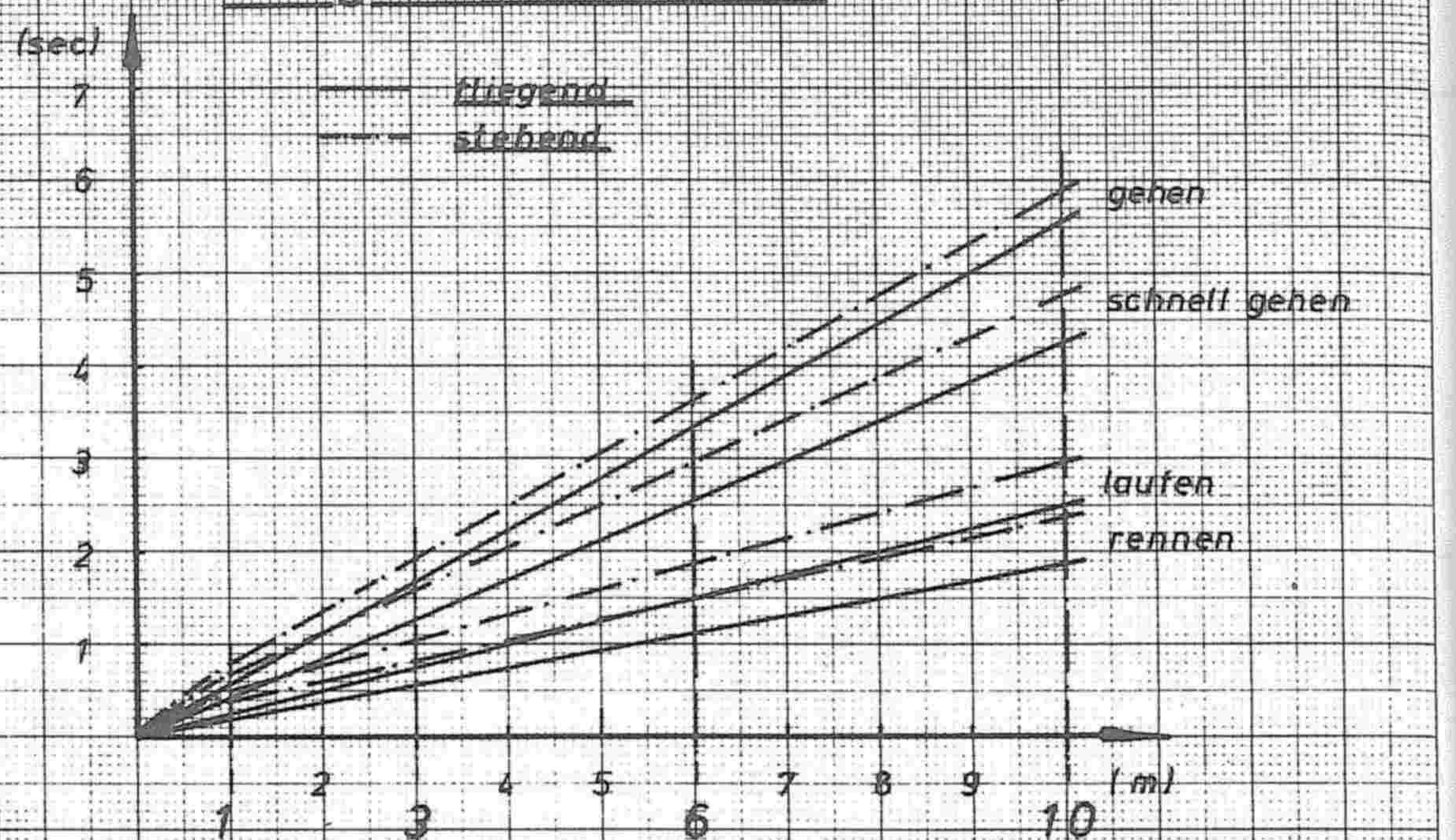


Weg- Zeit- Diagramm

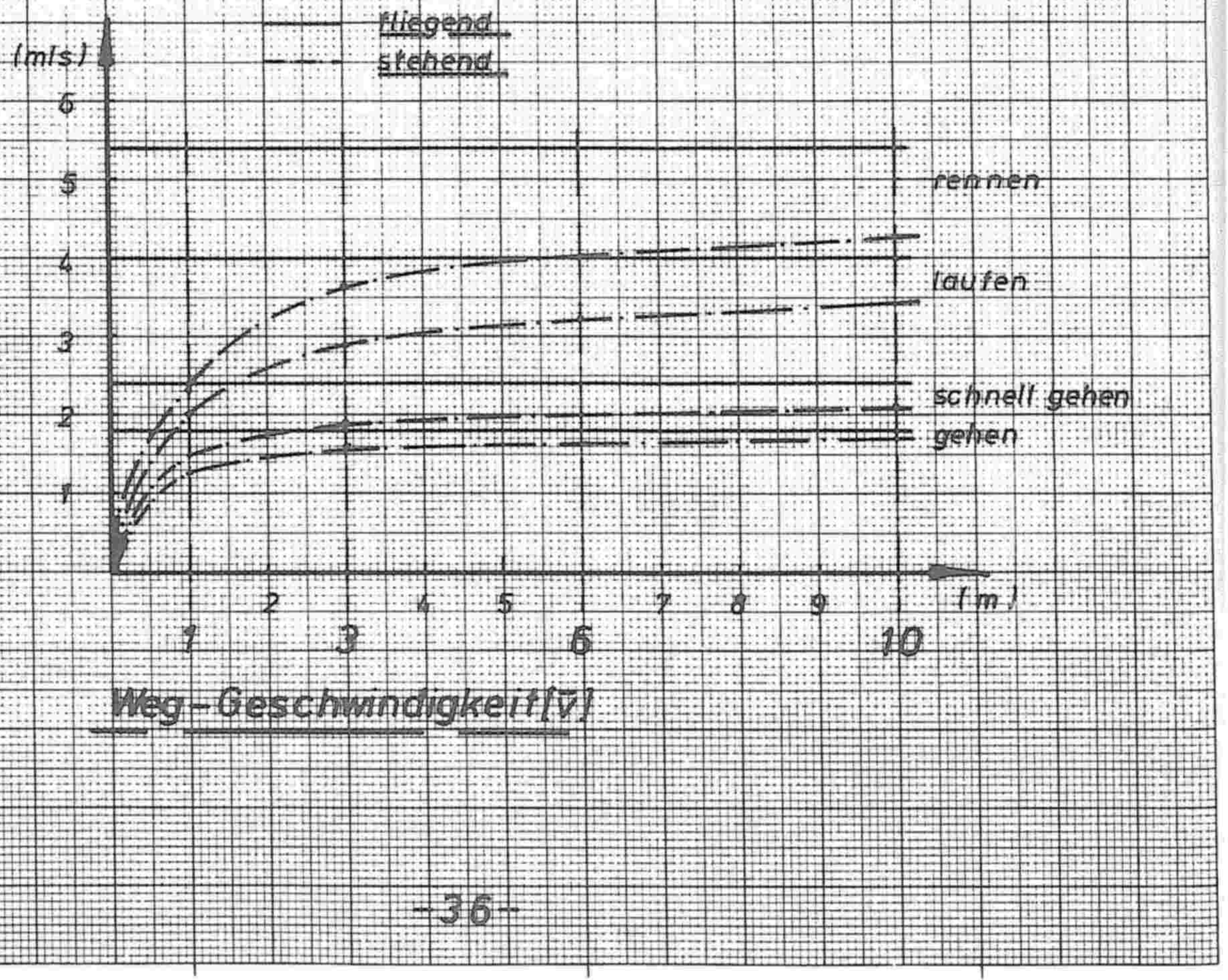


Weg- Geschwindigkeit (v)

Jungen: 14-15 Jahre (9. Klasse)

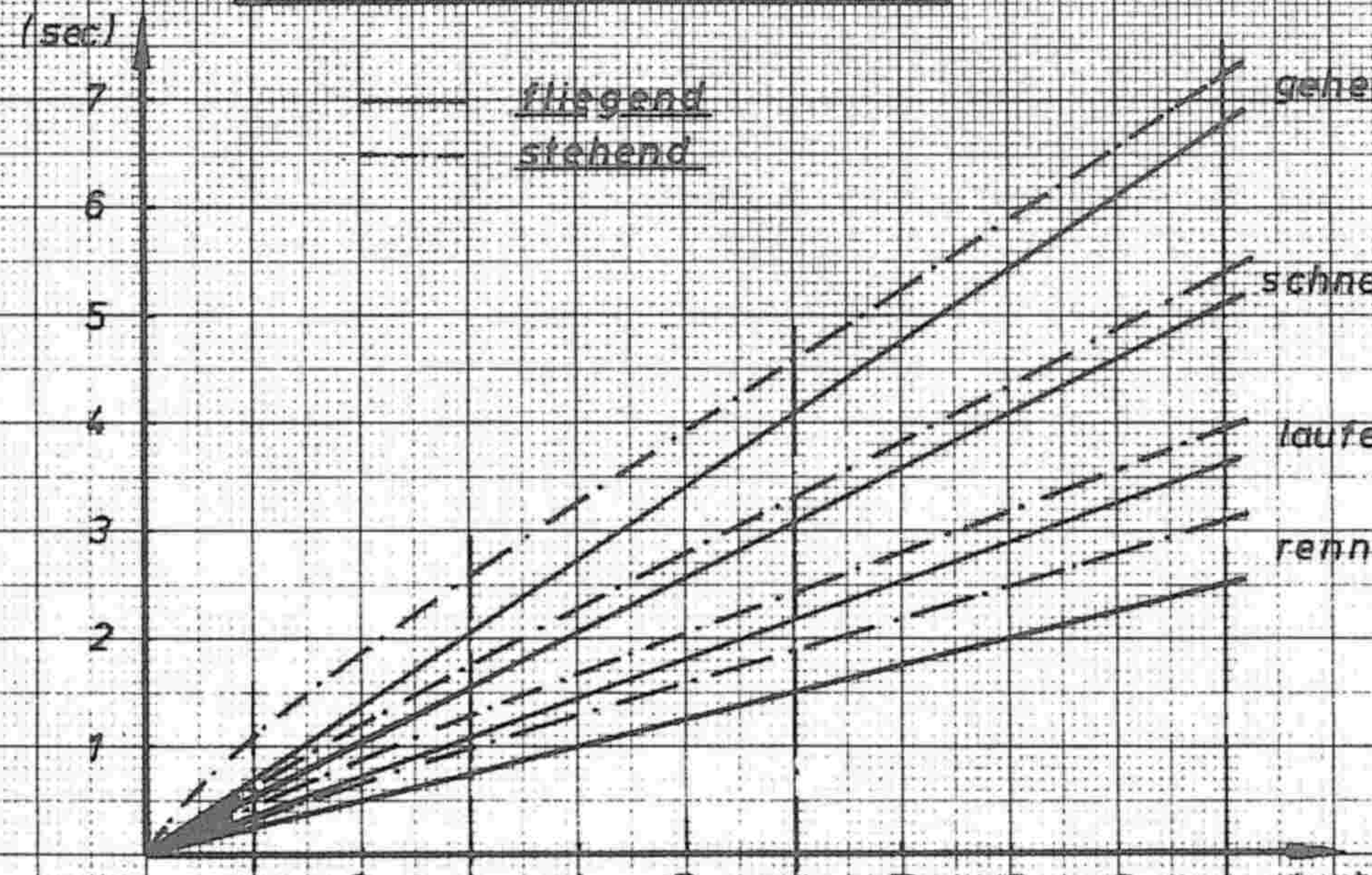


Weg-Zeit-Diagramm

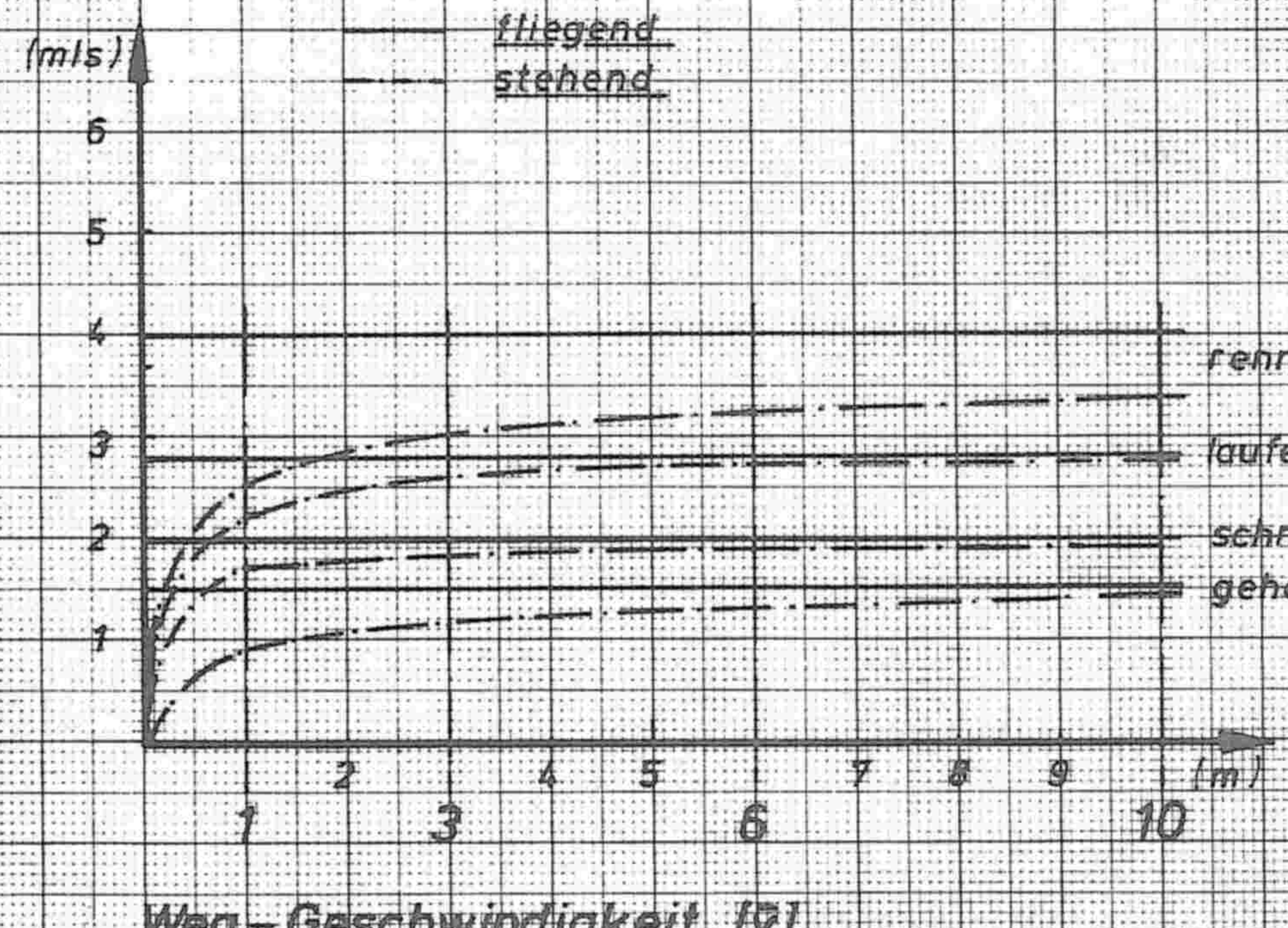


Weg-Geschwindigkeit [v]

Mädchen; 6-7 Jahre (1. Klasse)

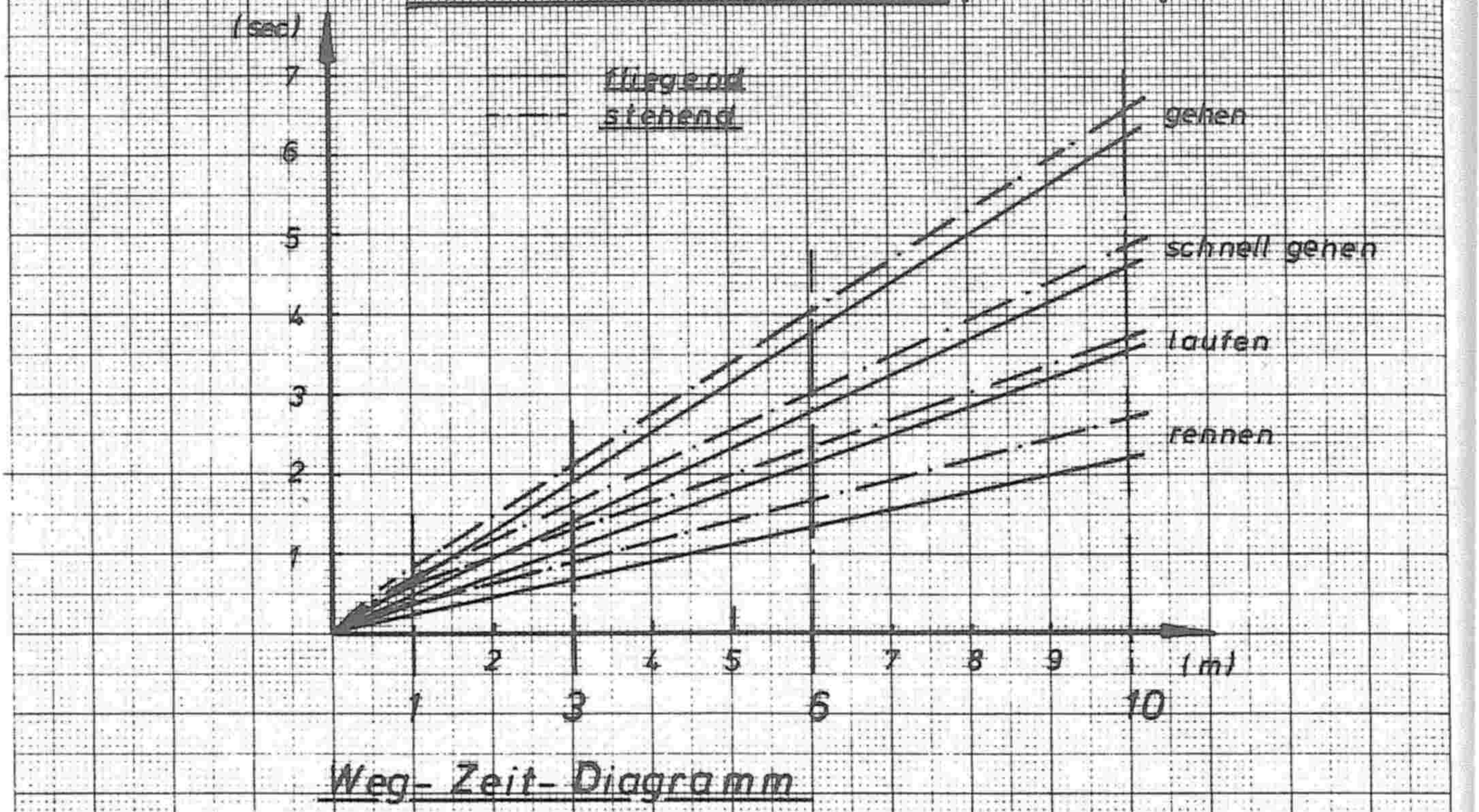


Weg – Zeit - Diagramm

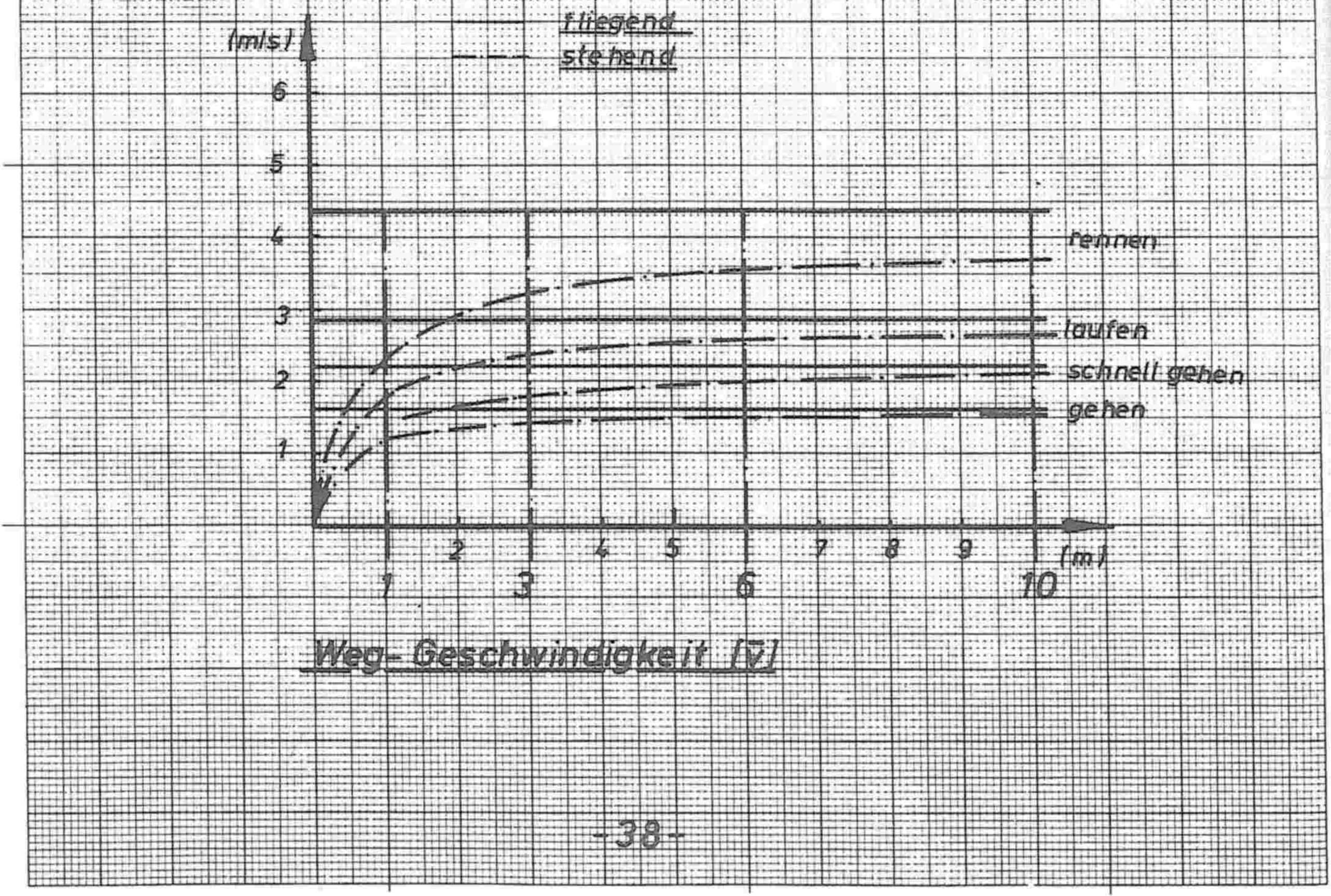


Weg – Geschwindigkeit [v]

Mädchen: 7 - 8 Jahre (2 Klasse)

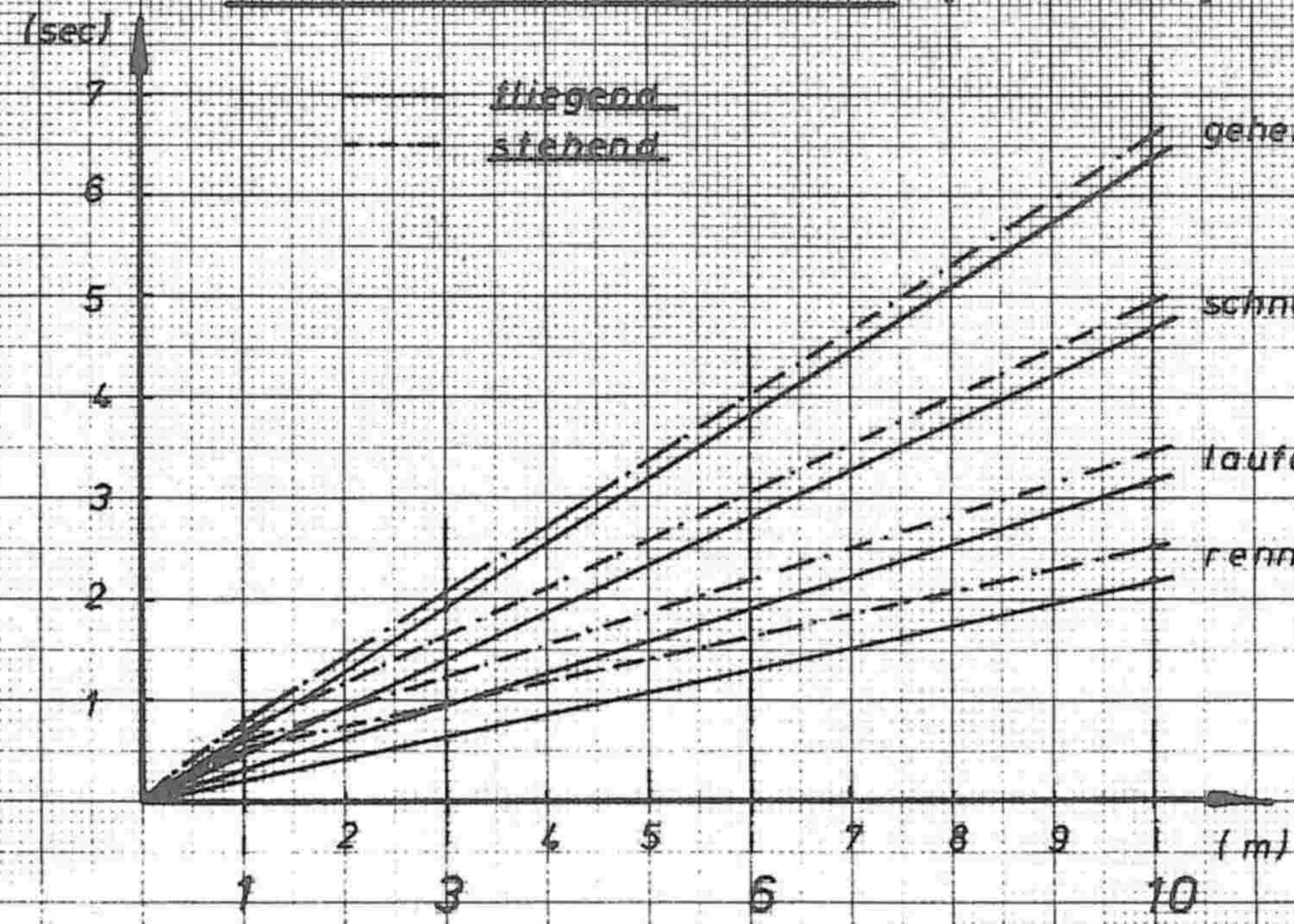


Weg- Zeit- Diagramm

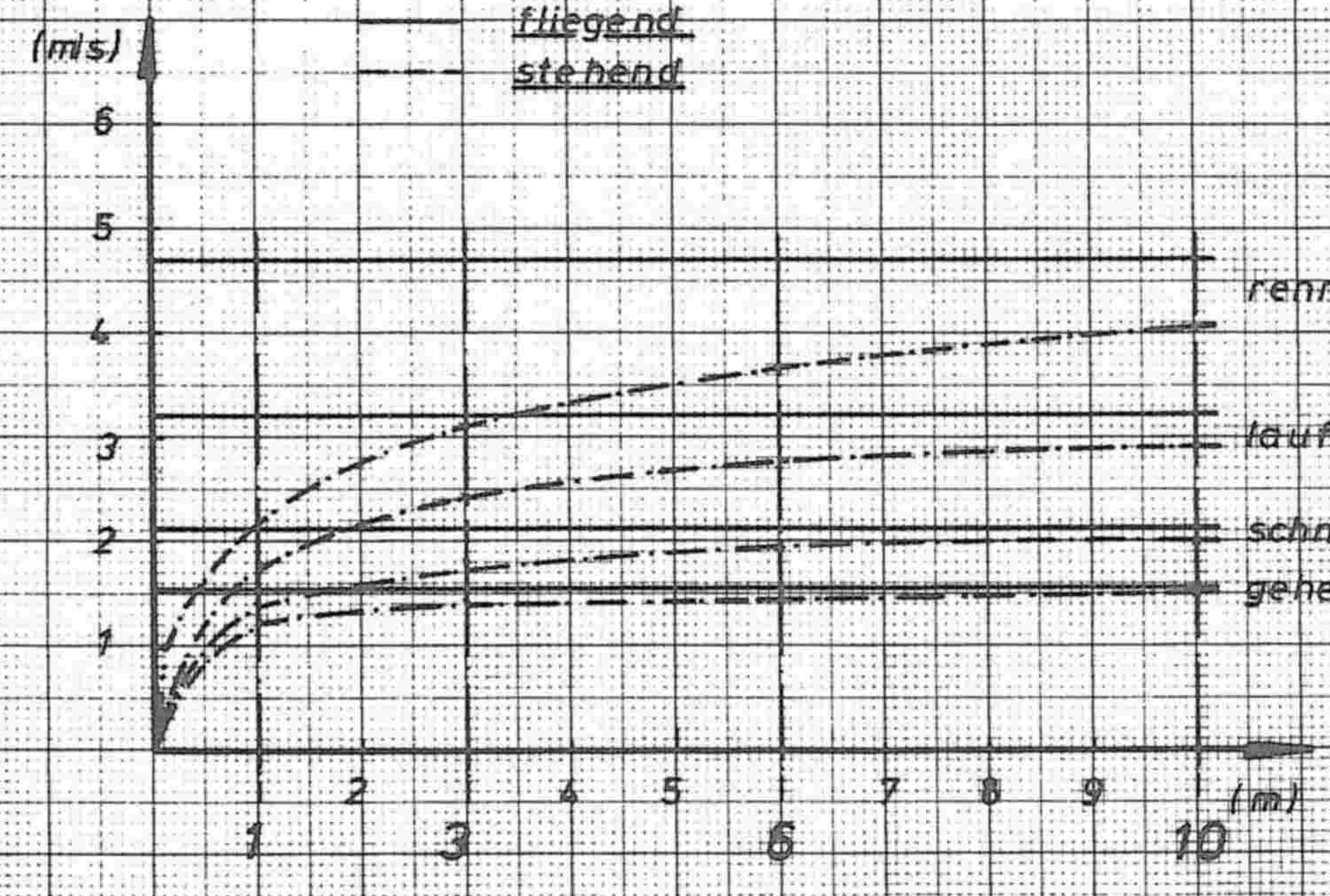


Weg- Geschwindigkeit [v]

Mädchen: 8-9 Jahre (3.Klasse)

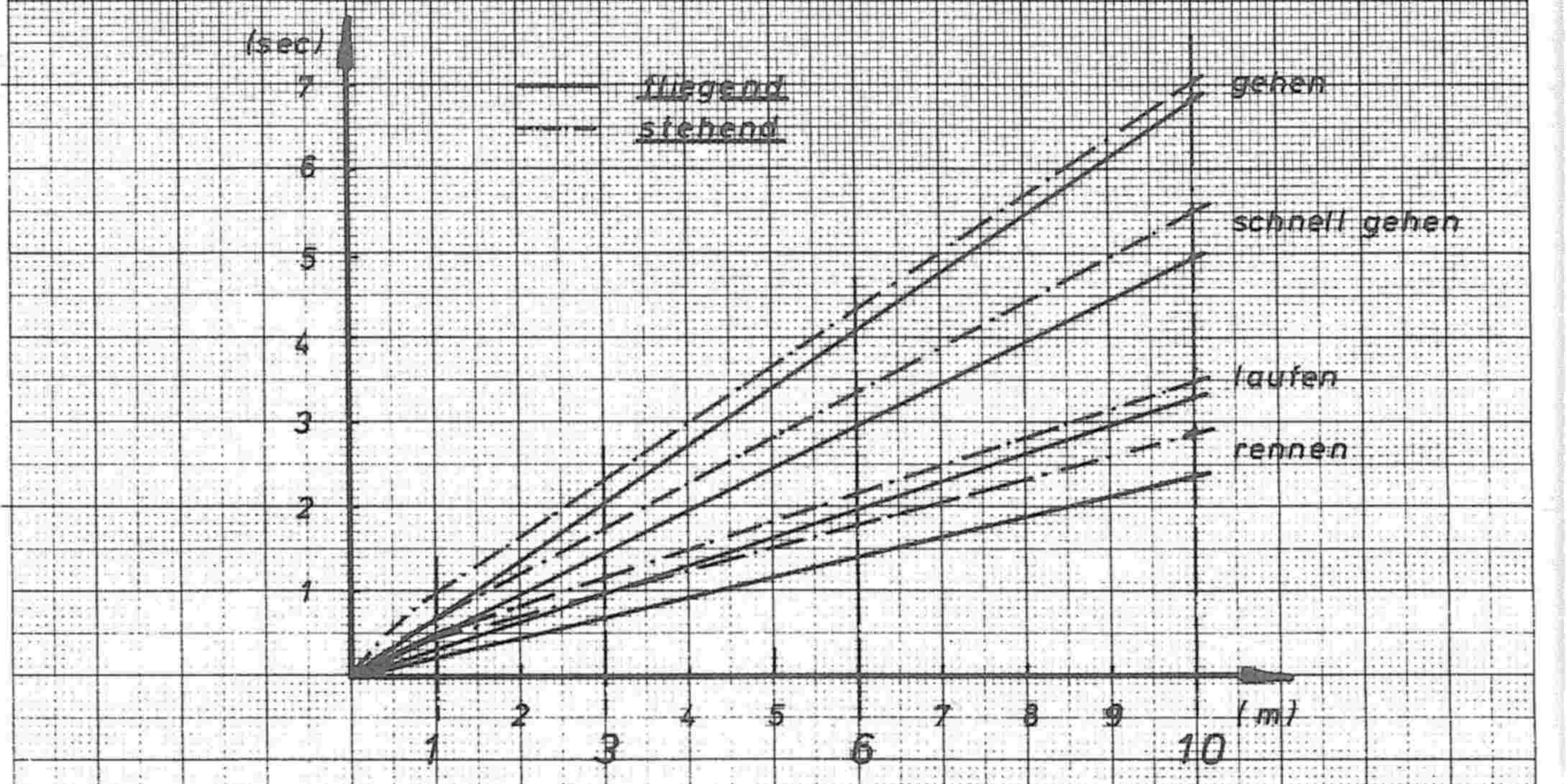


Weg- Zeit- Diagramm

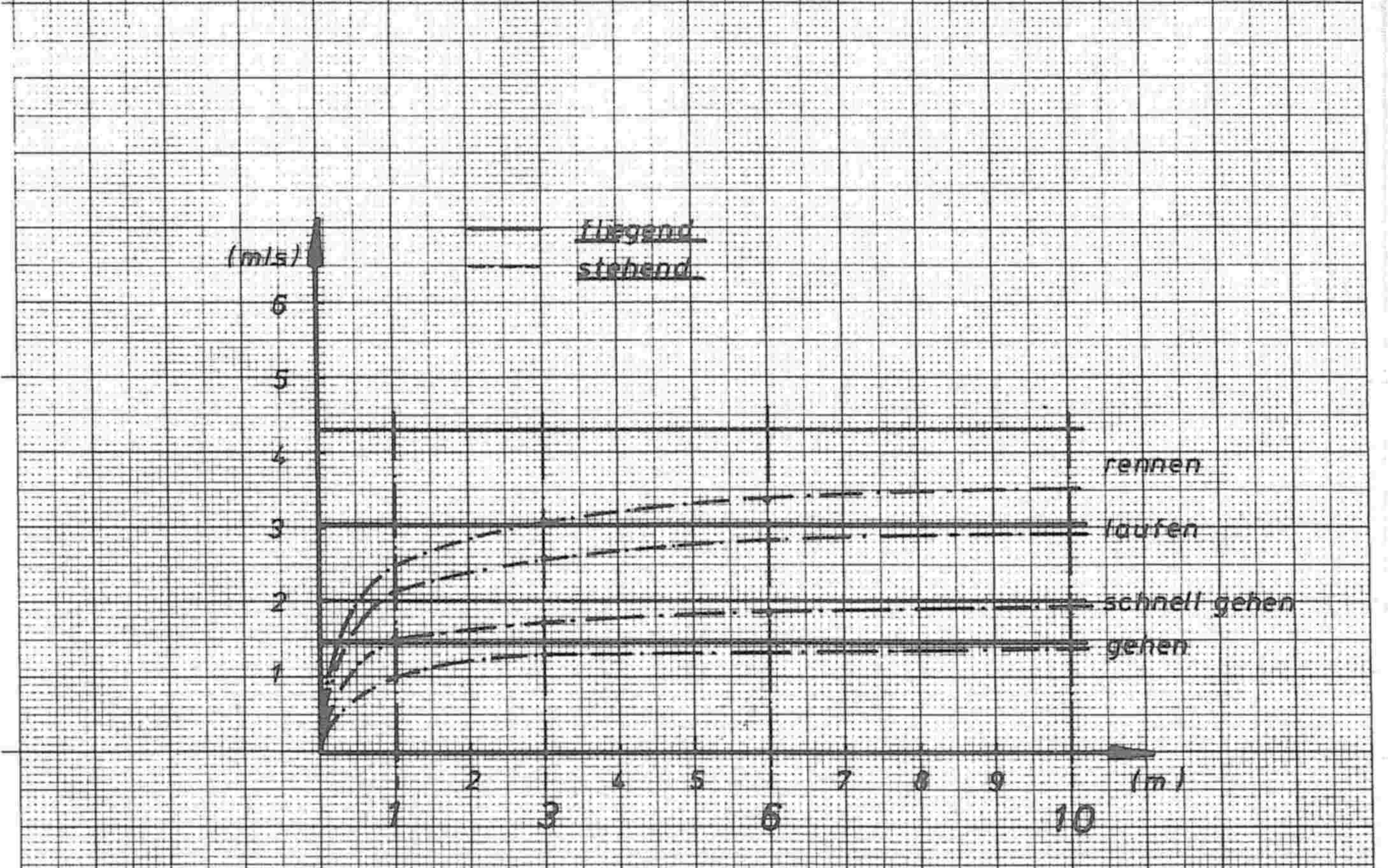


Weg - Geschwindigkeit [v]

Mädchen: 9-10 Jahre (4. Klasse)

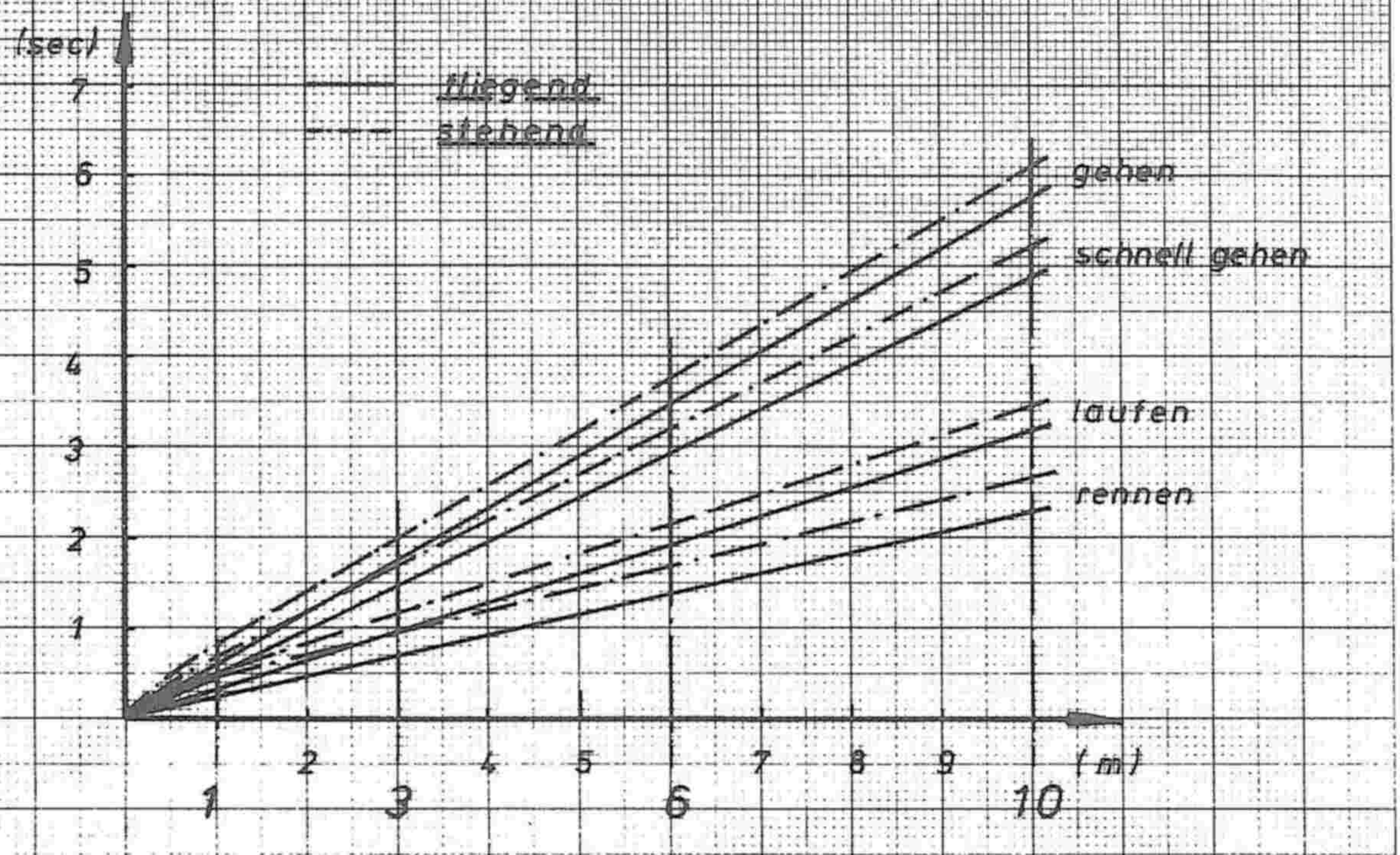


Weg-Zeit-Diagramm

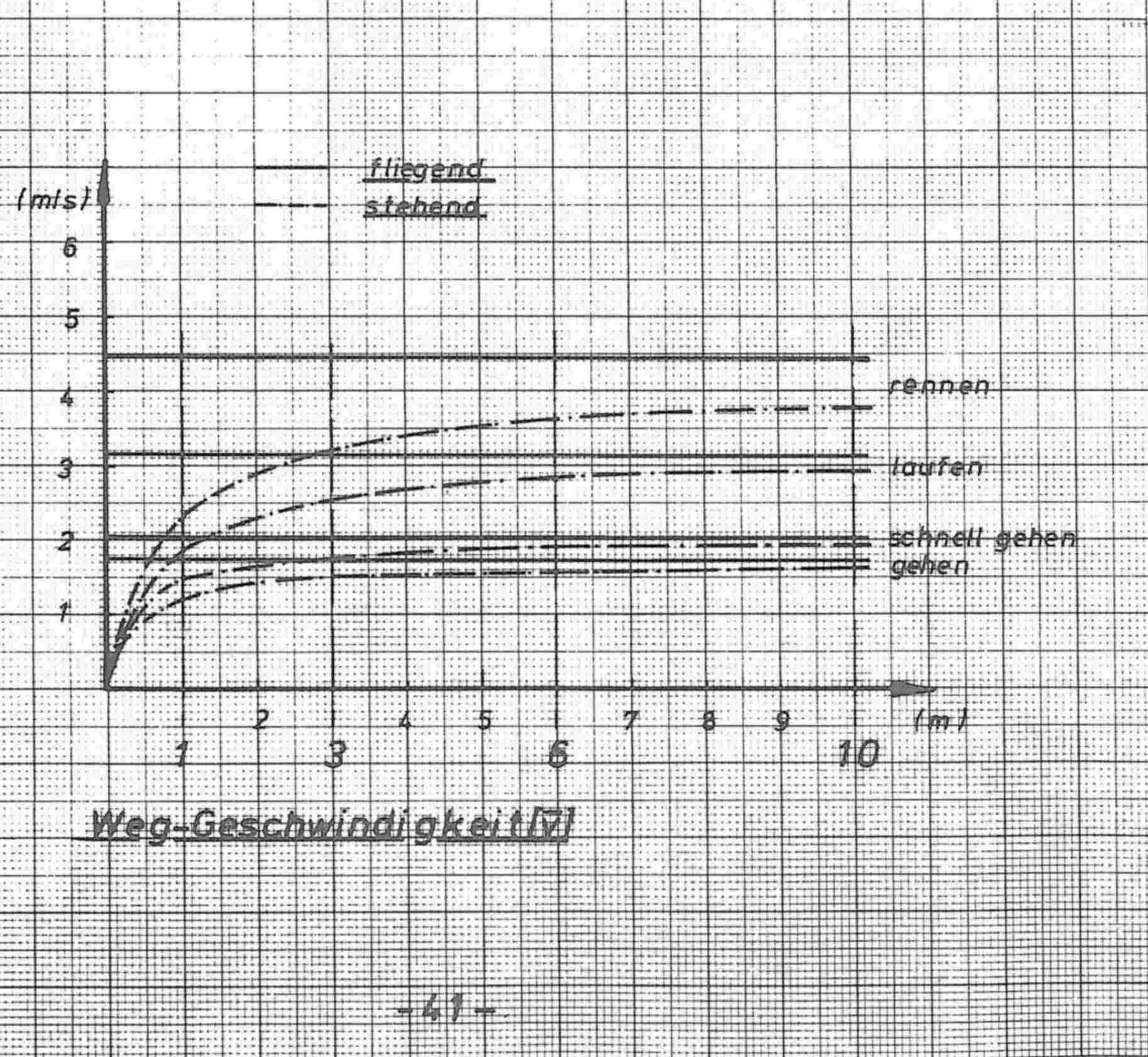


Weg-Geschwindigkeit[v]

Mädchen: 10-11 Jahre (5. Klasse)

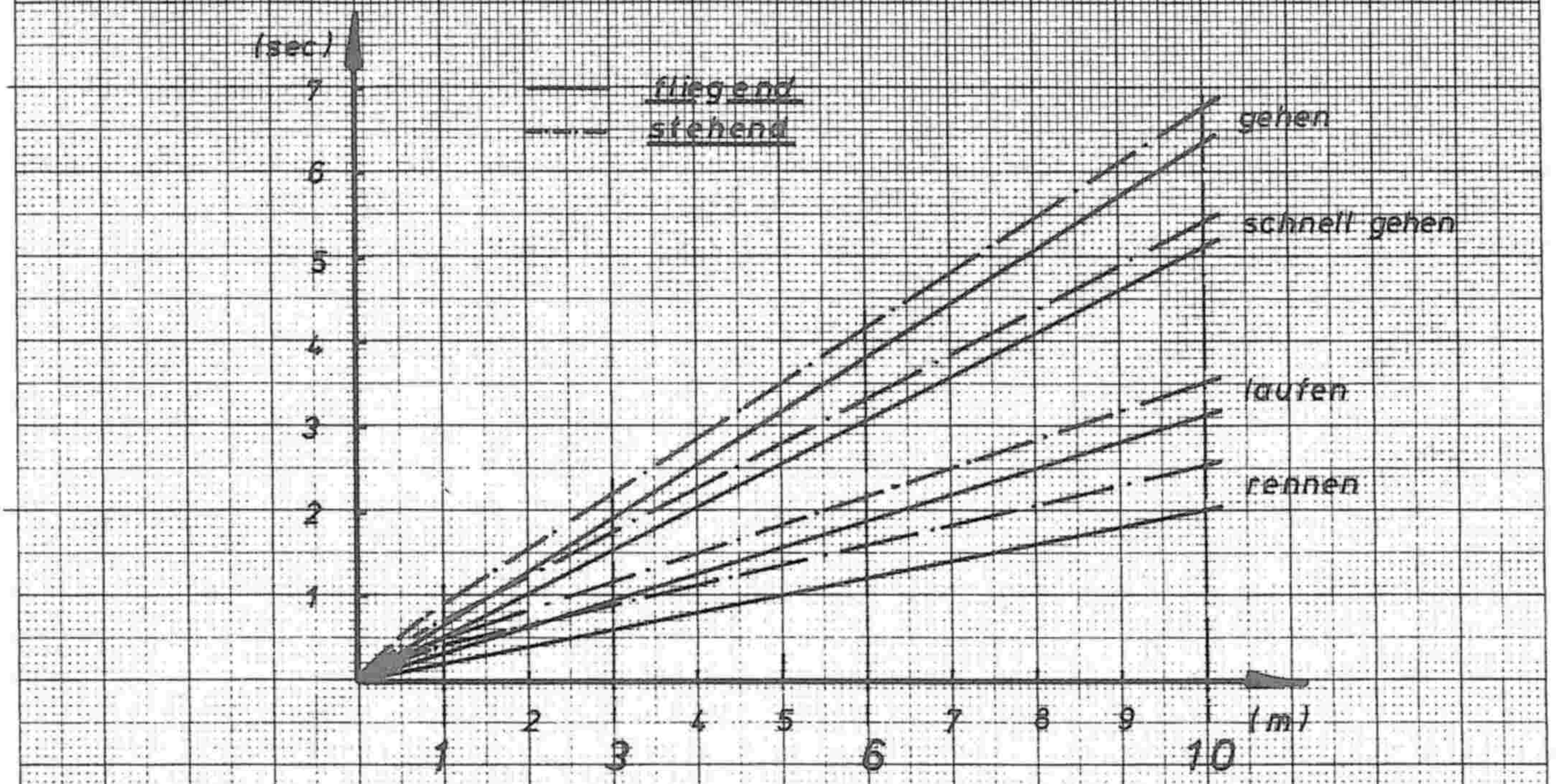


Weg-Zeit-Diagramm



Weg-Geschwindigkeit[V]

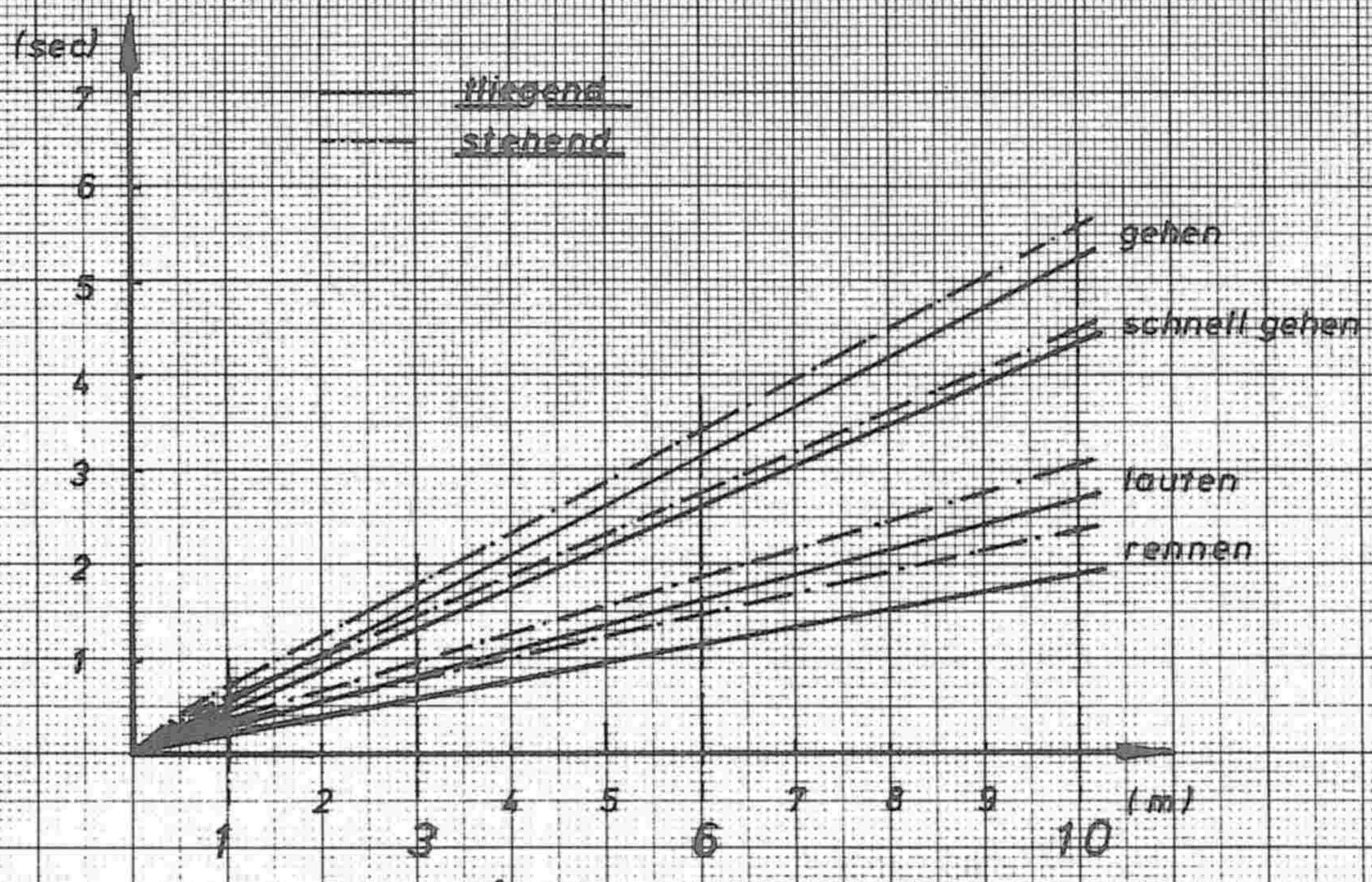
Mädchen: 11-12 Jahre (6. Klasse)



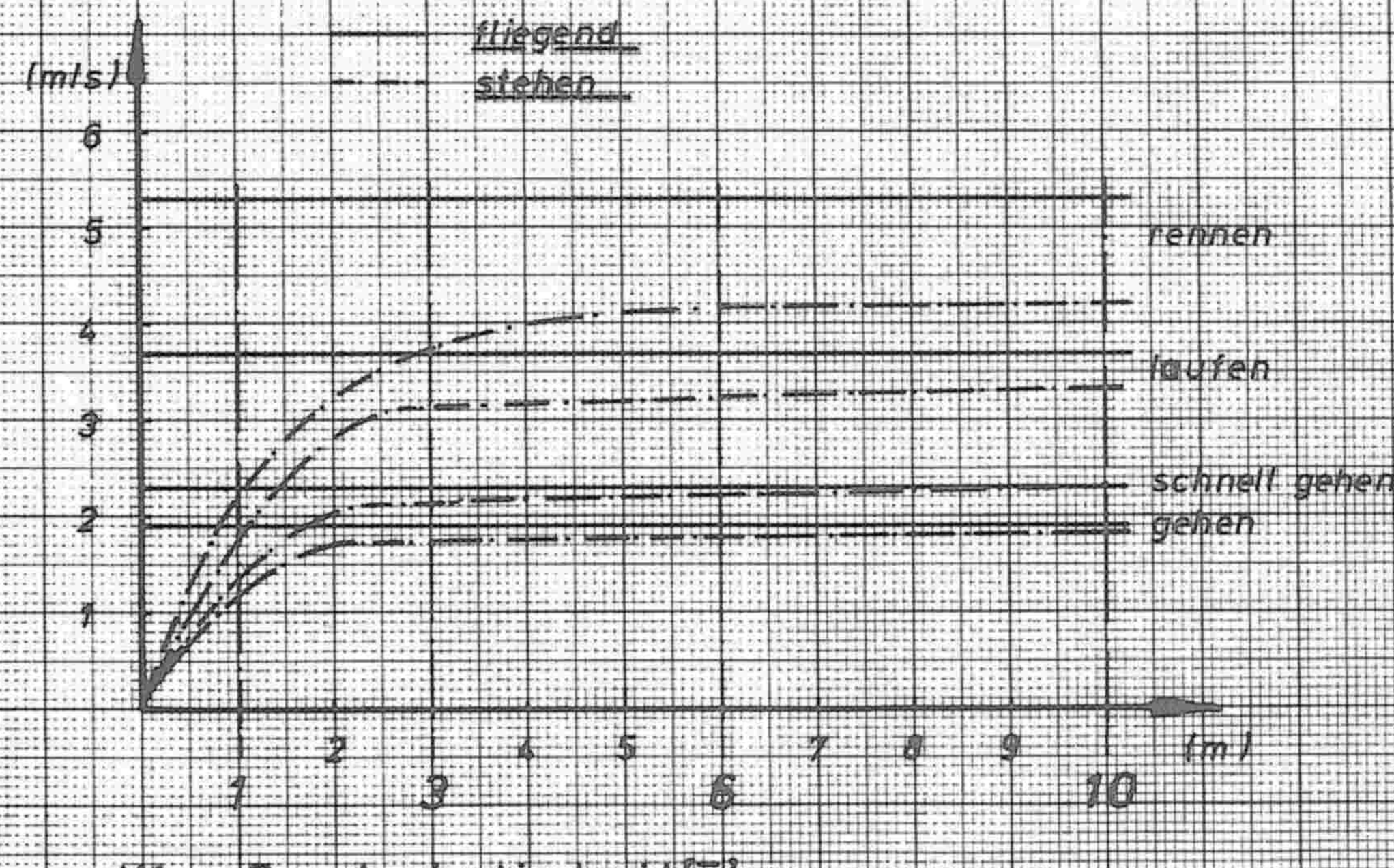
Weg-Zeit-Diagramm

Weg-Geschwindigkeit [v]

Mädchen: 12-13 Jahre (7. Klasse)

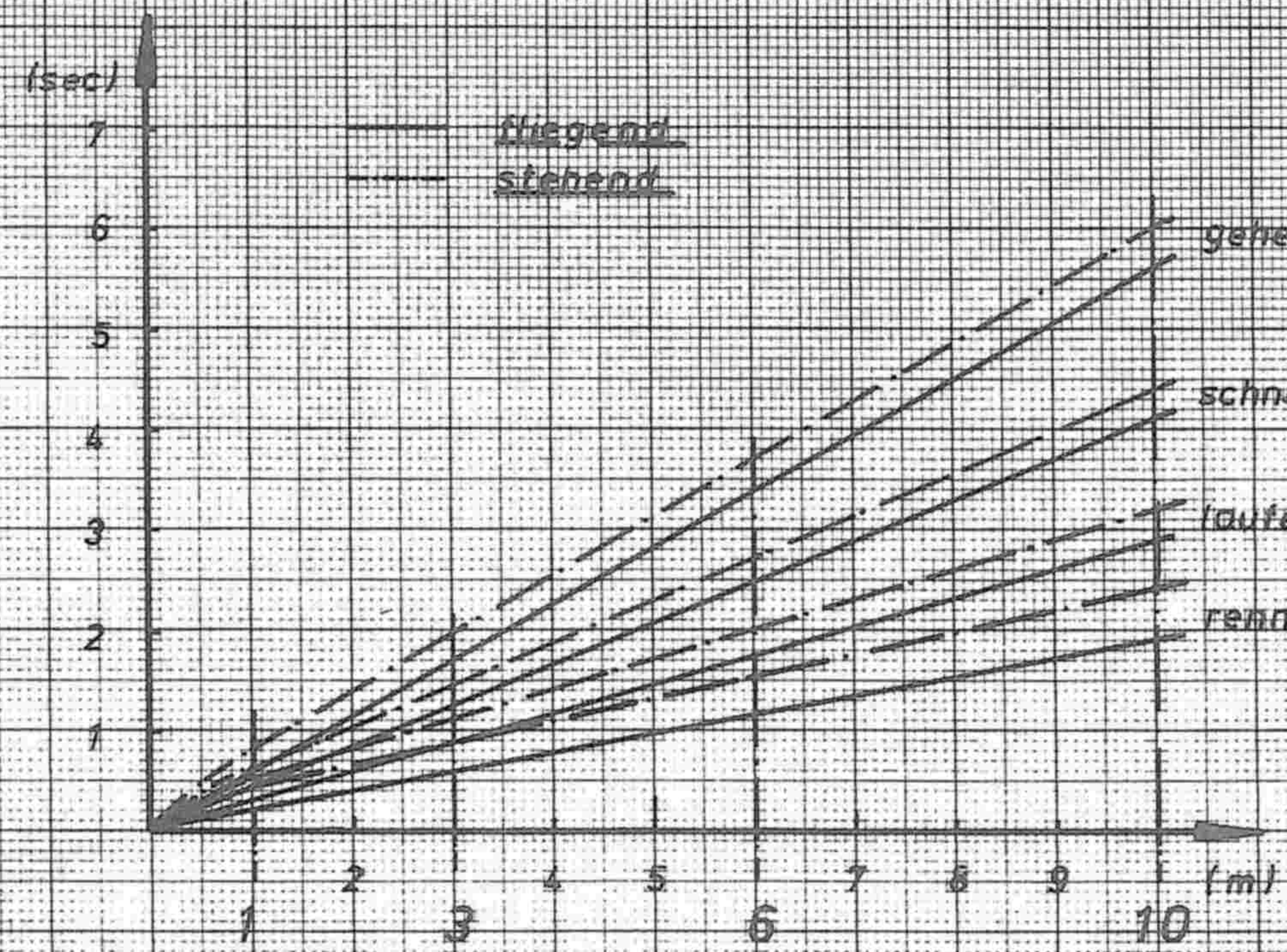


Weg-Zeit-Diagramm

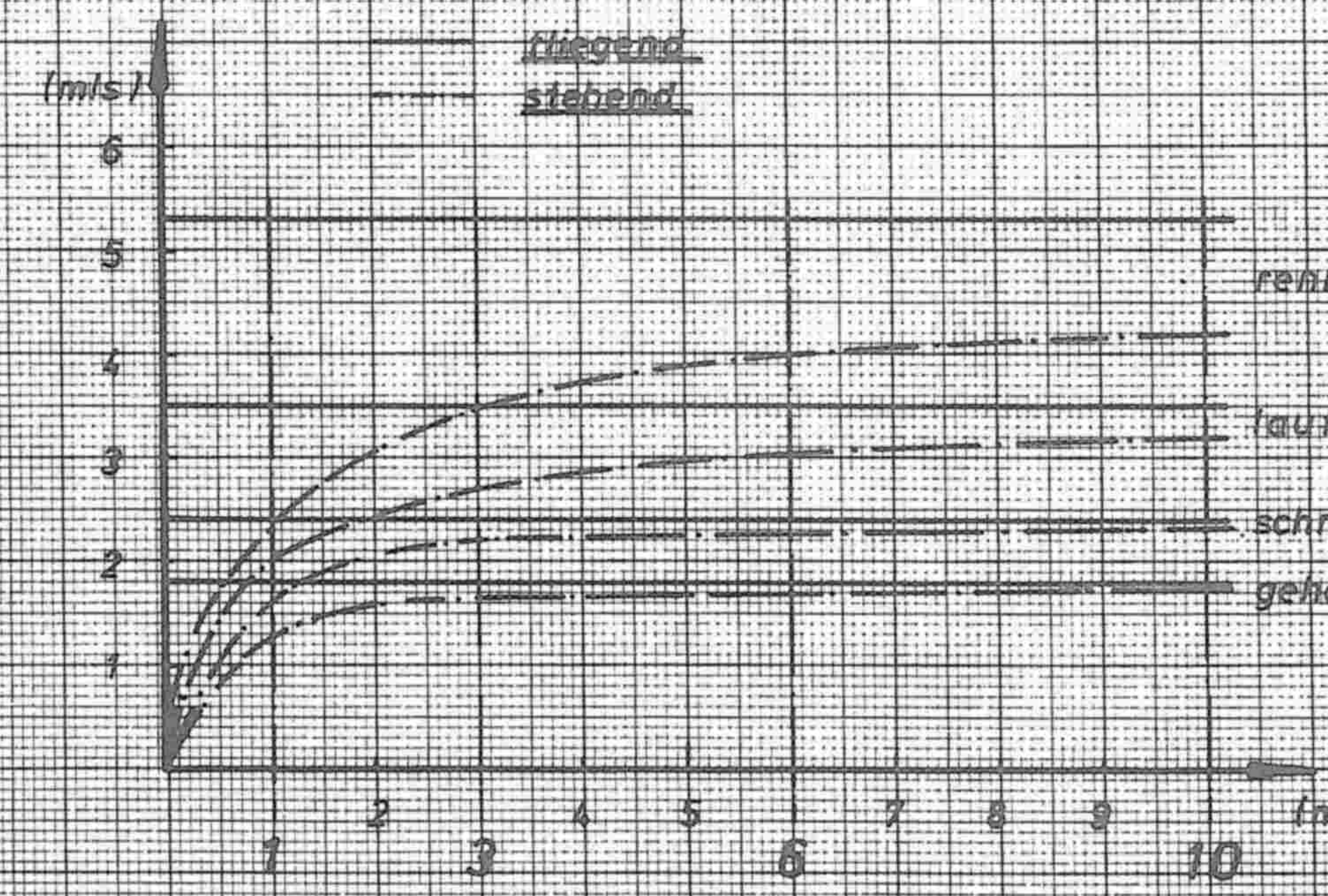


Weg-Geschwindigkeit[v]

Mädchen: 13-14 Jahre (8.Klasse)

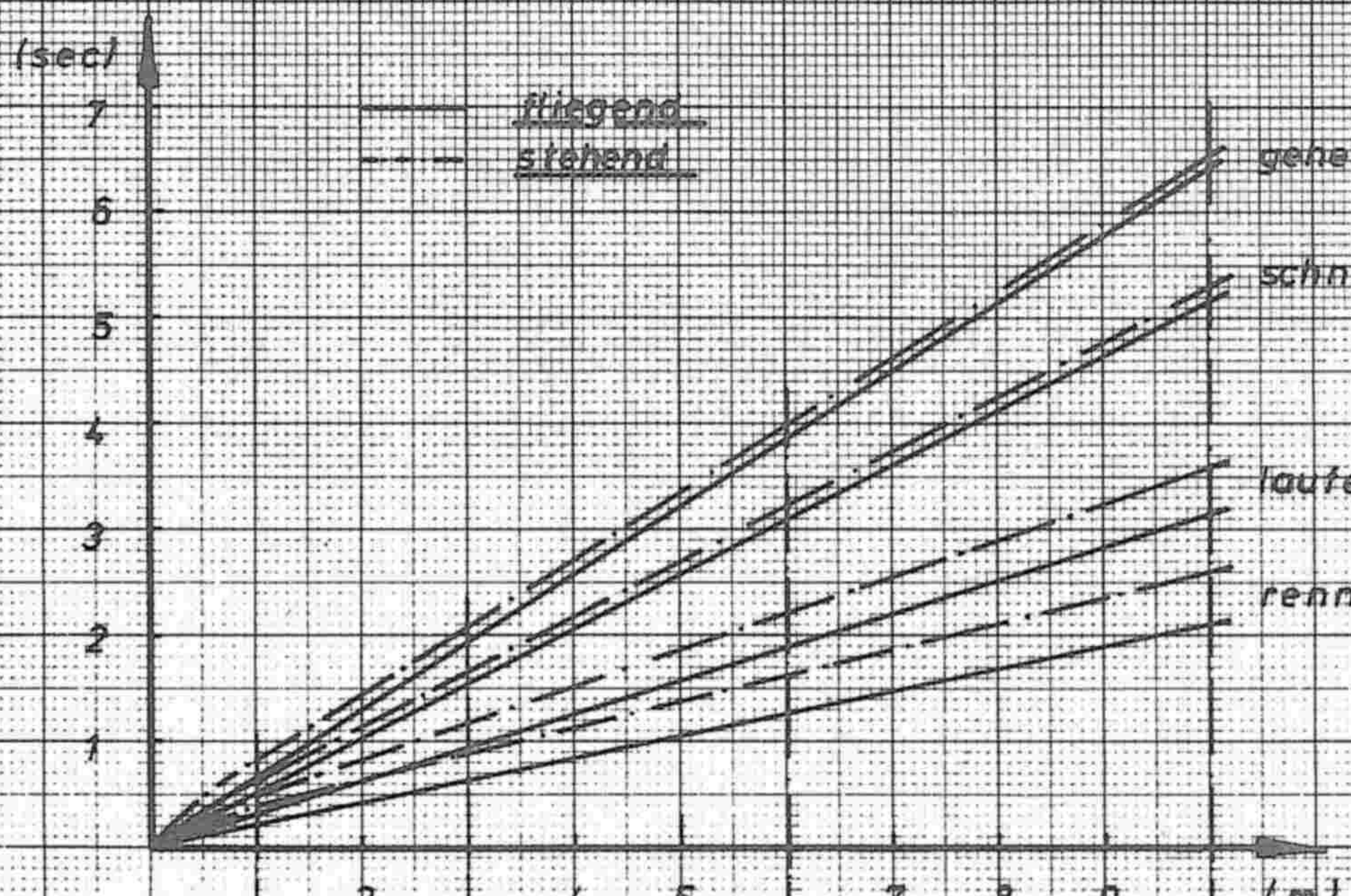


Weg-Zeit-Diagramm

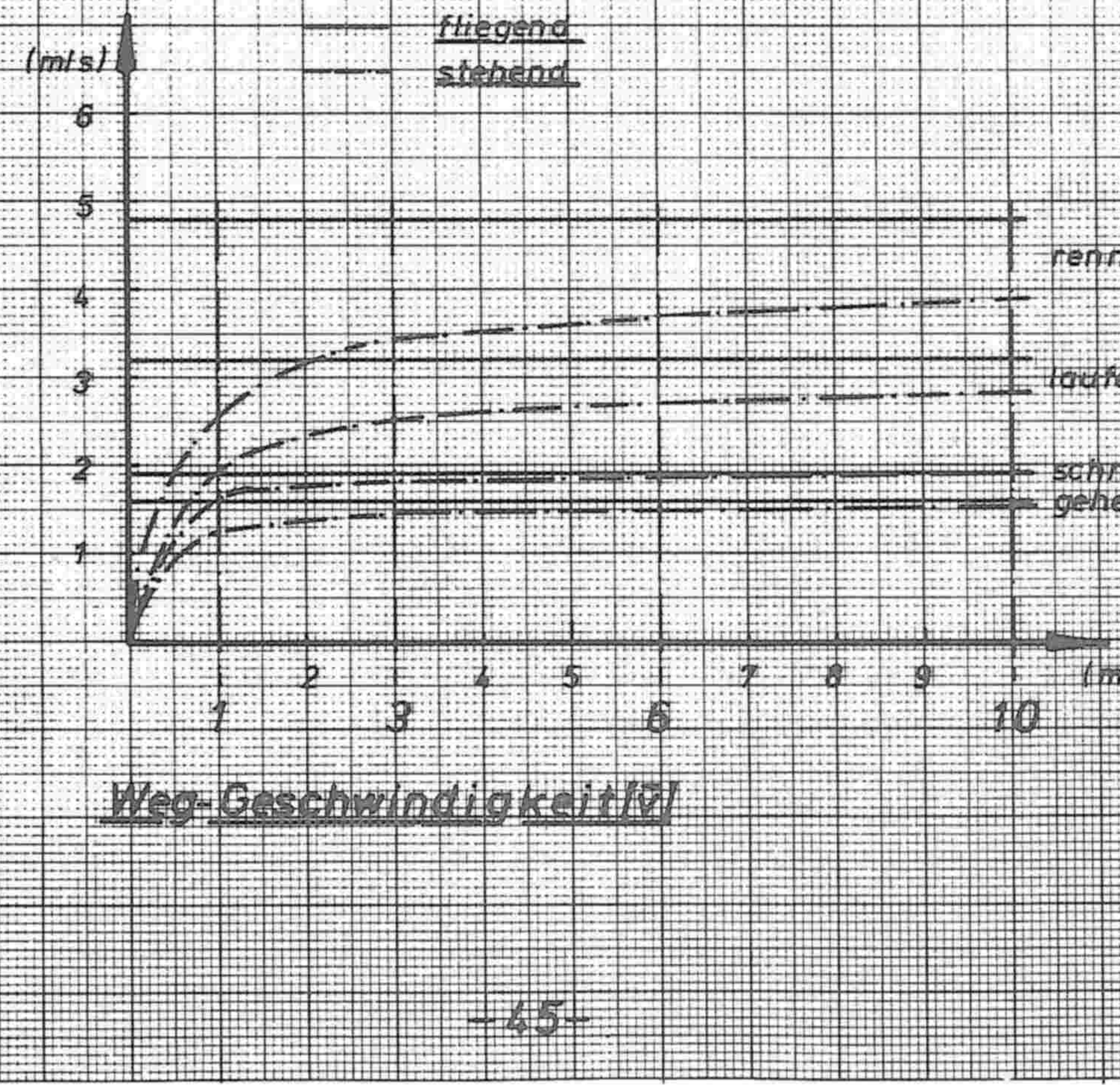


Weg-Geschwindigkeit [v]

Mädchen. 14-15 Jahre (9. Klasse)



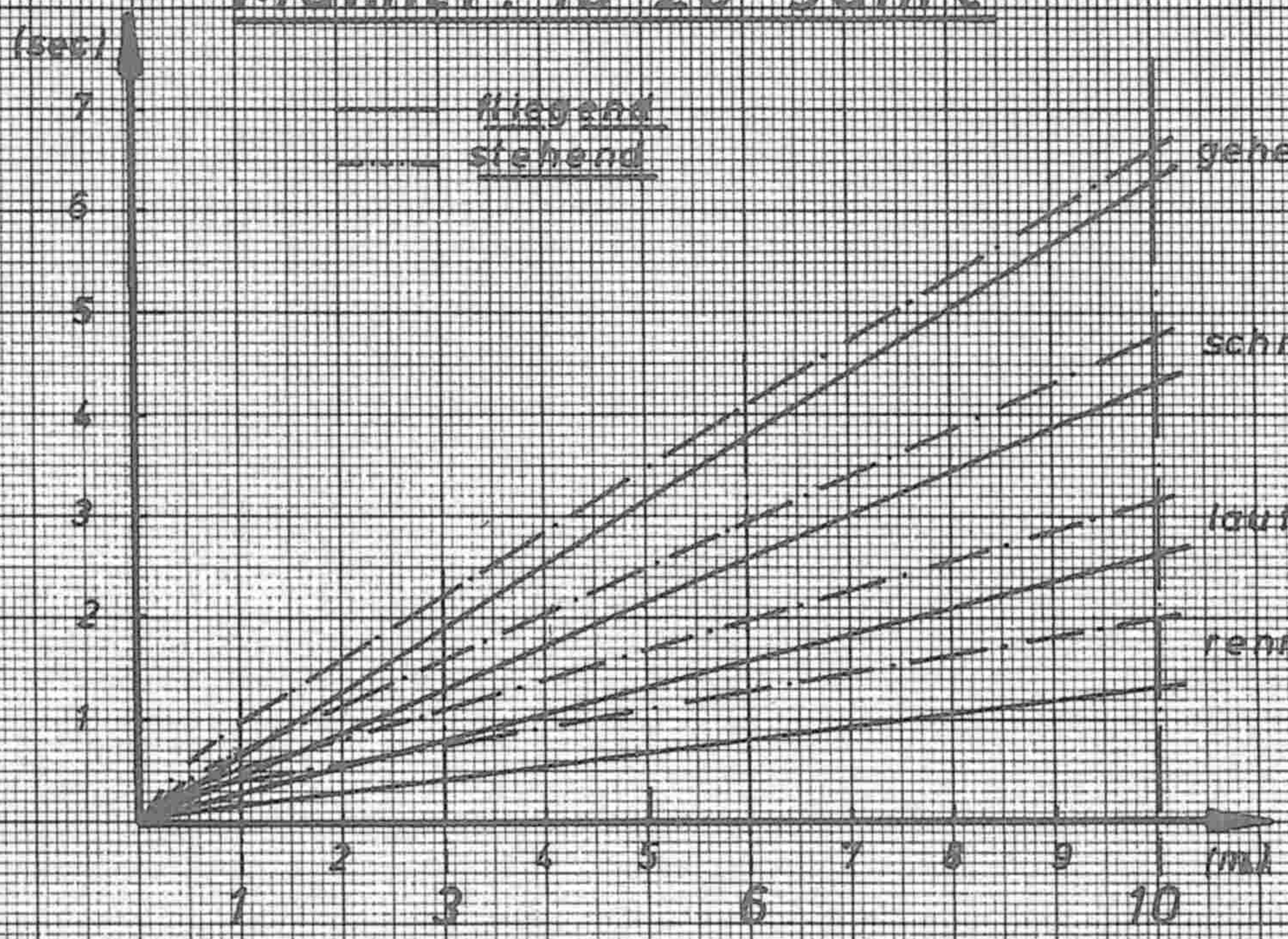
Weg-Zeit-Diagramm



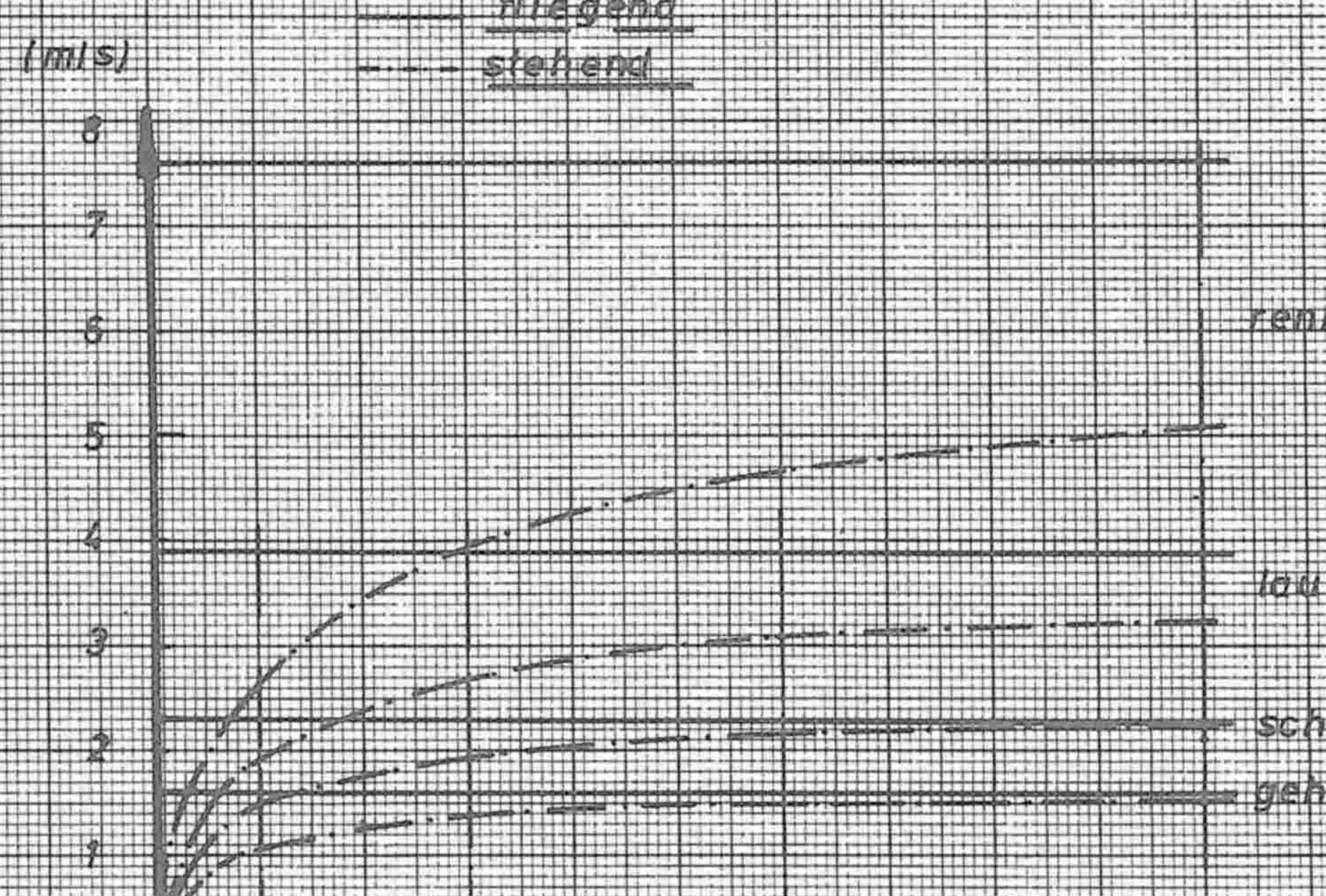
Weg-Geschwindigkeit (v)

4.3 Jugendliche und Erwachsene

Männer: 15-20 Jahre

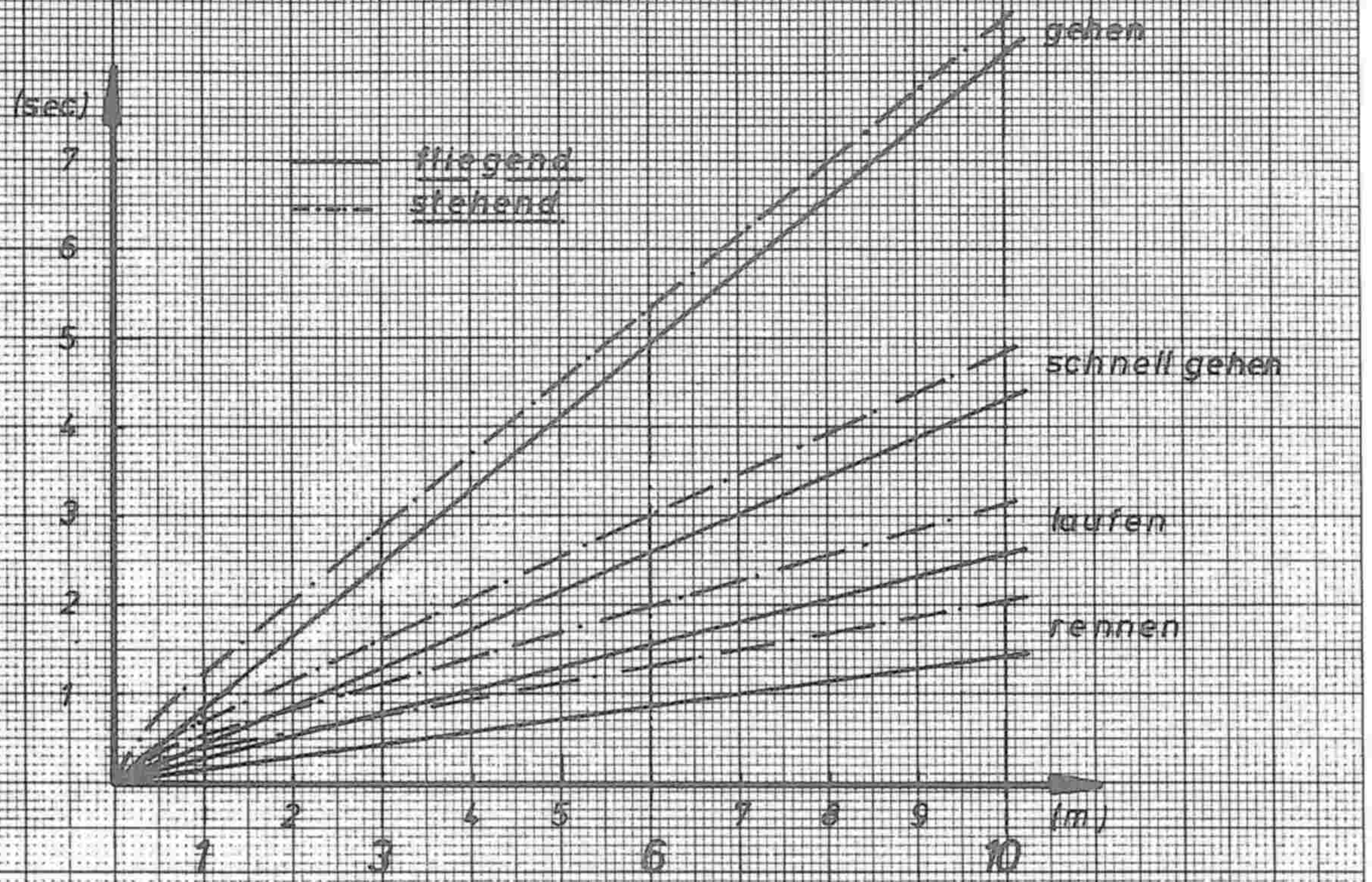


Weg-Zeit-Diagramm

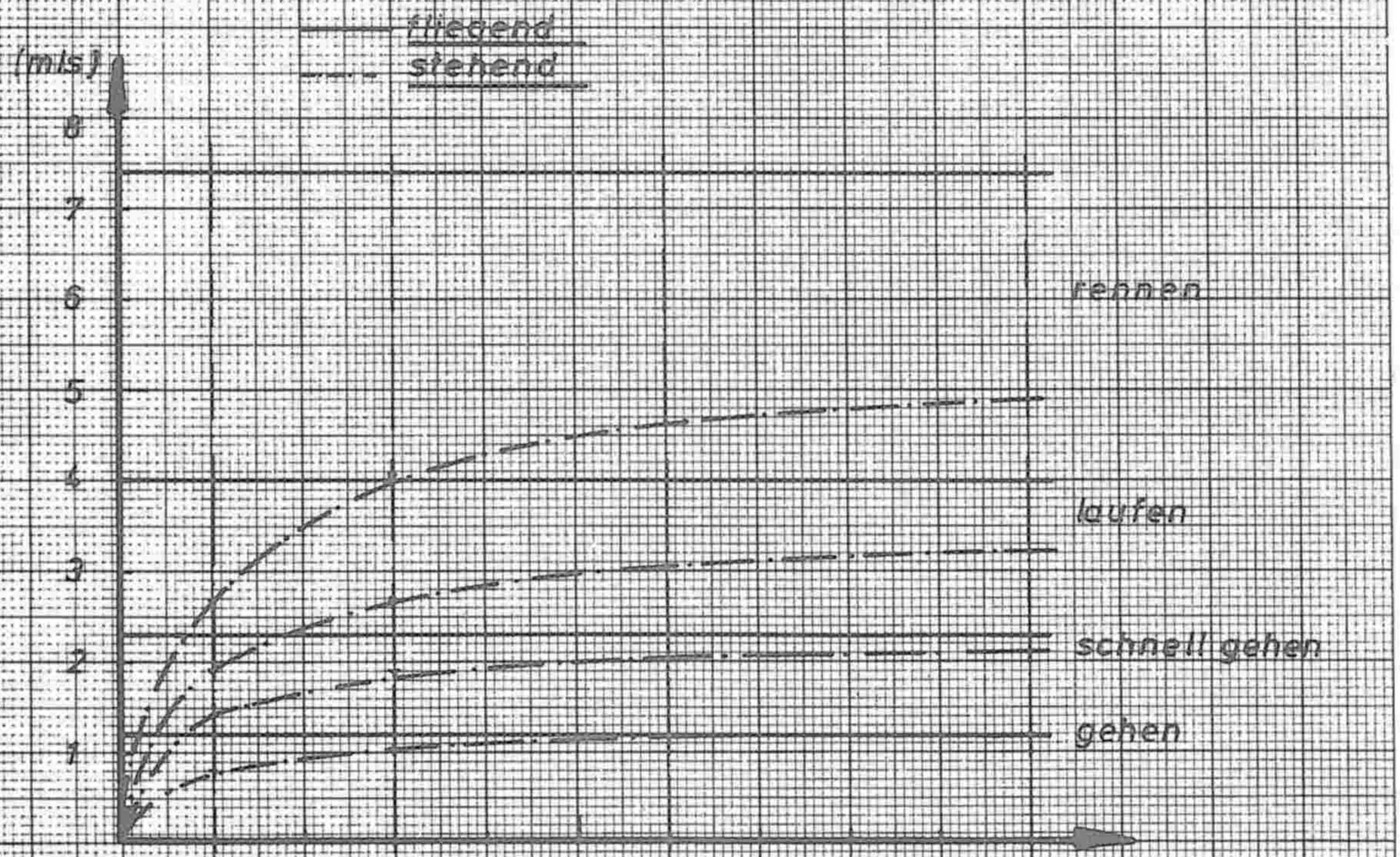


Weg-Geschwindigkeit (v)

Männer: 20–30 Jahre

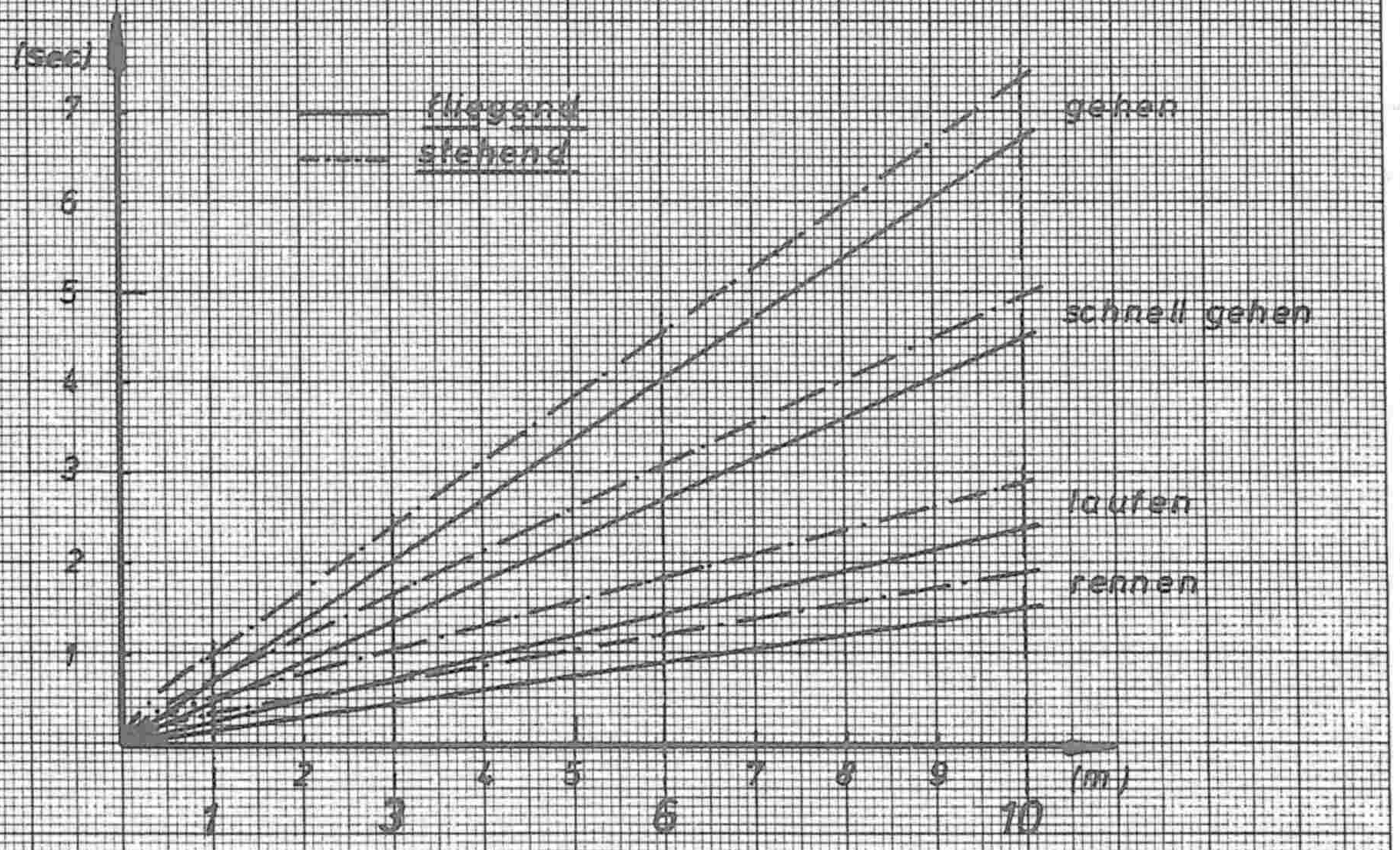


Weg-Zeit-Diagramm

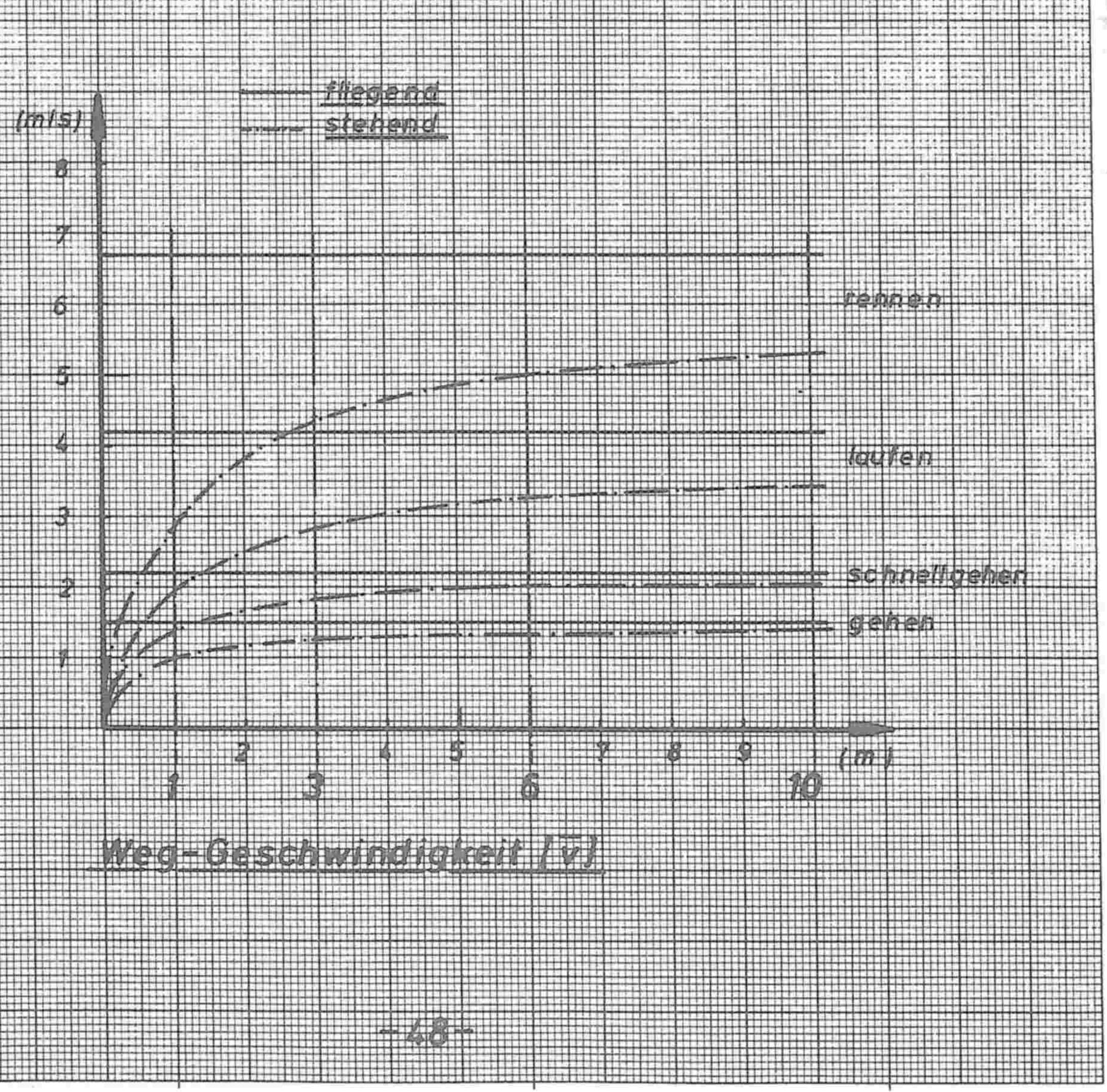


Weg-Geschwindigkeit (v)

Männer: 30-40 Jahre

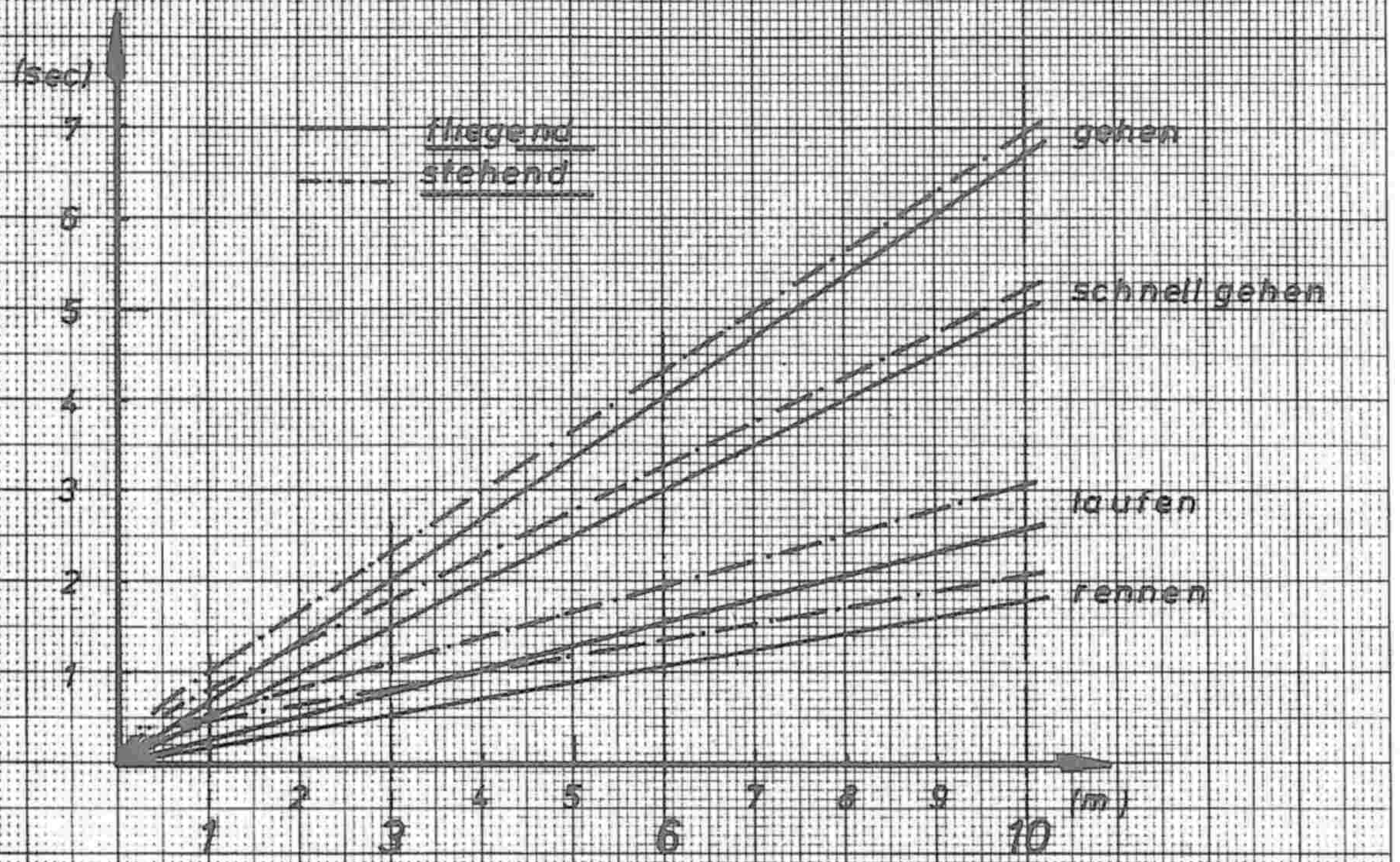


Weg-Zeit-Diagramm

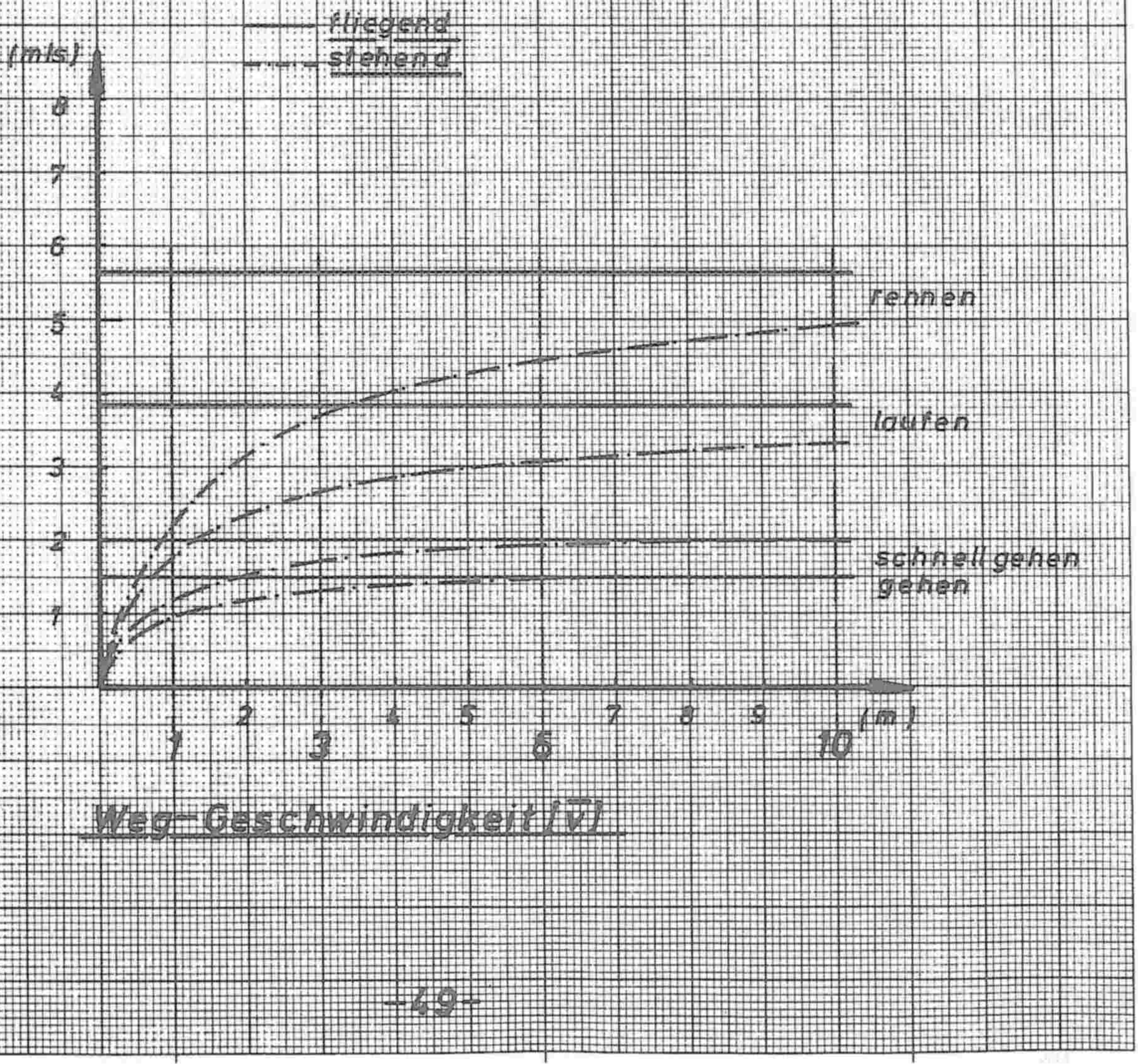


Weg-Geschwindigkeit [$\bar{v}$]

Männer: 40-50 Jahre

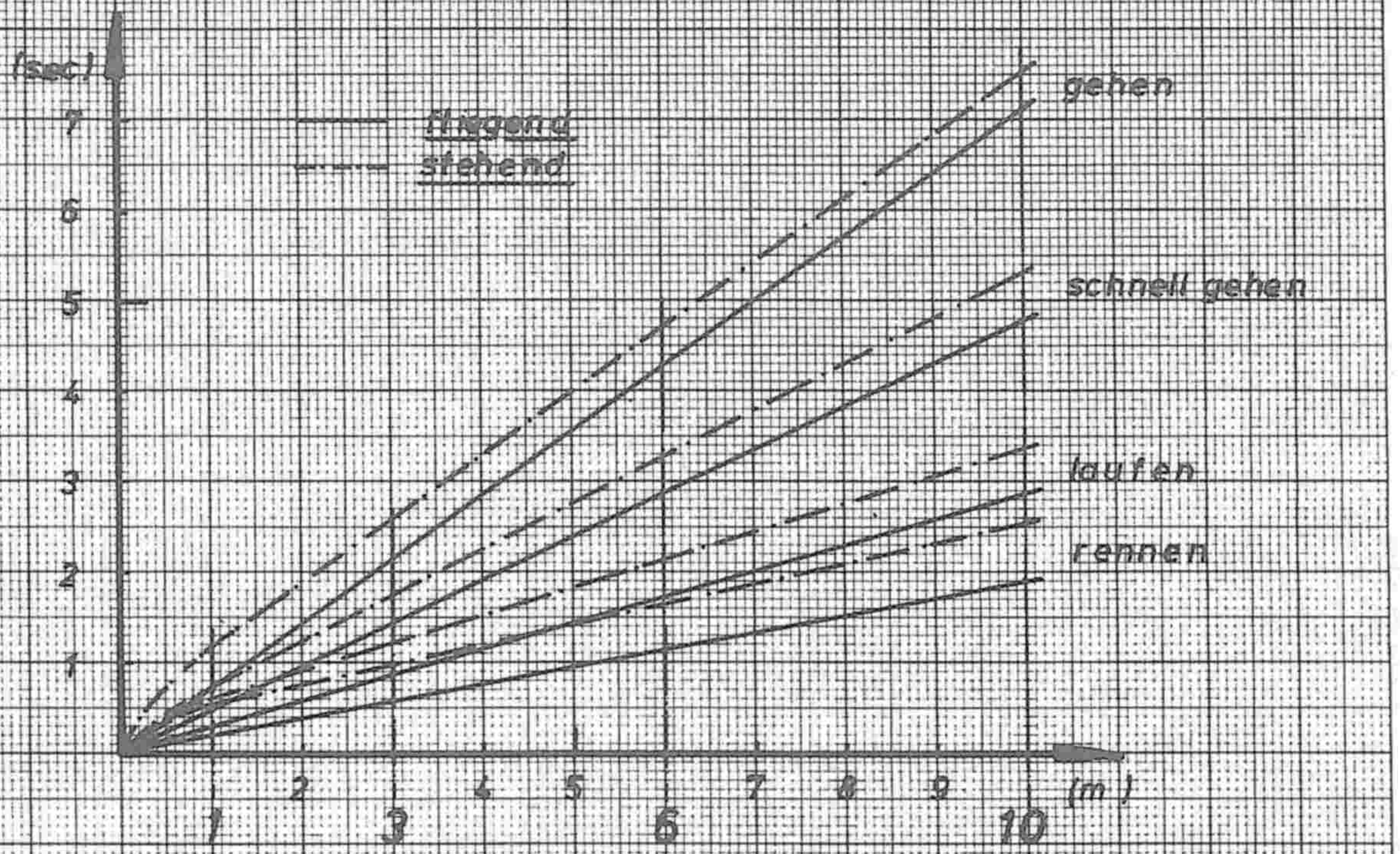


Weg-Zeit-Diagramm

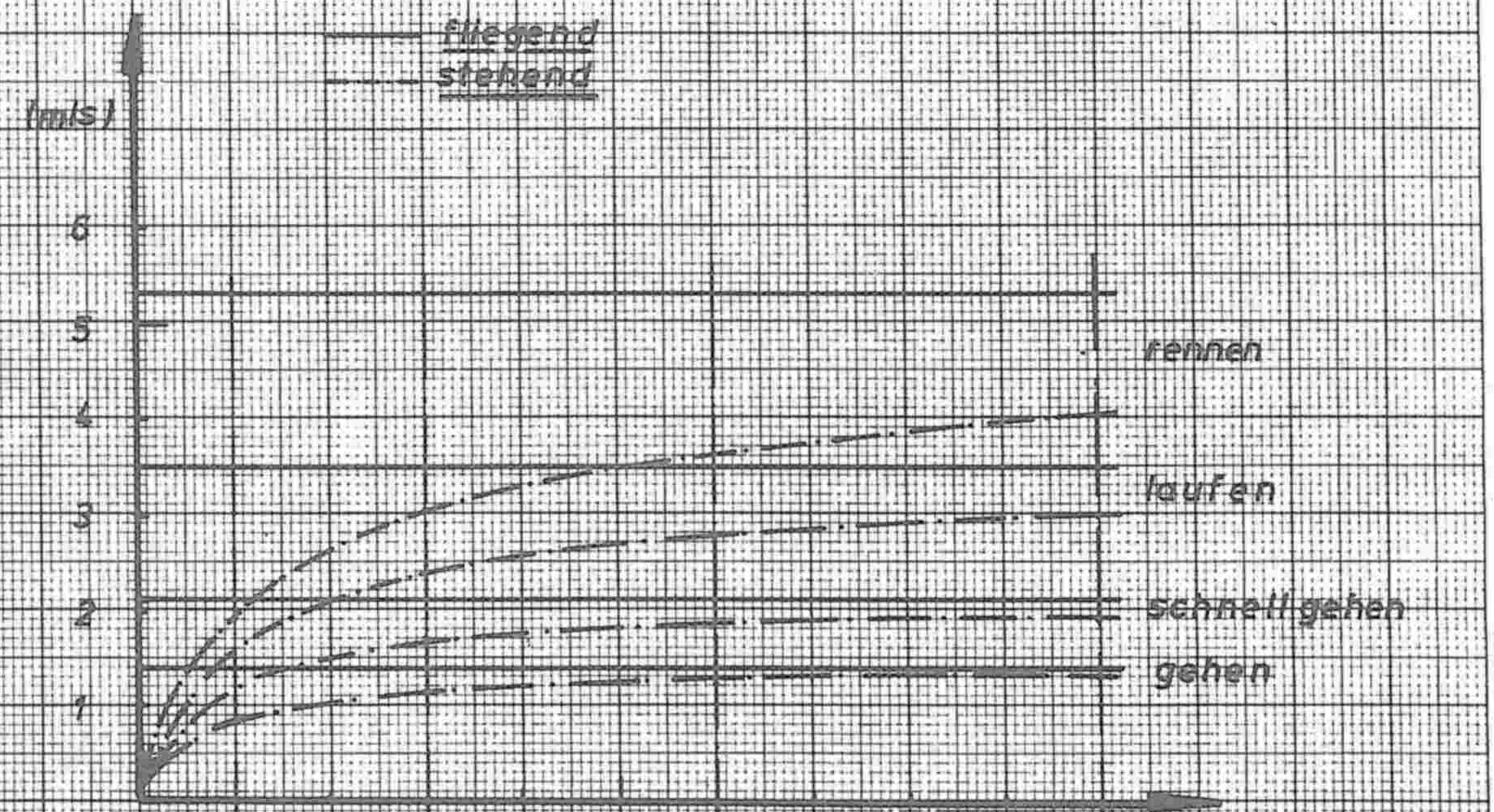


Weg-Geschwindigkeit [v]

Männer: 50–60 Jahre

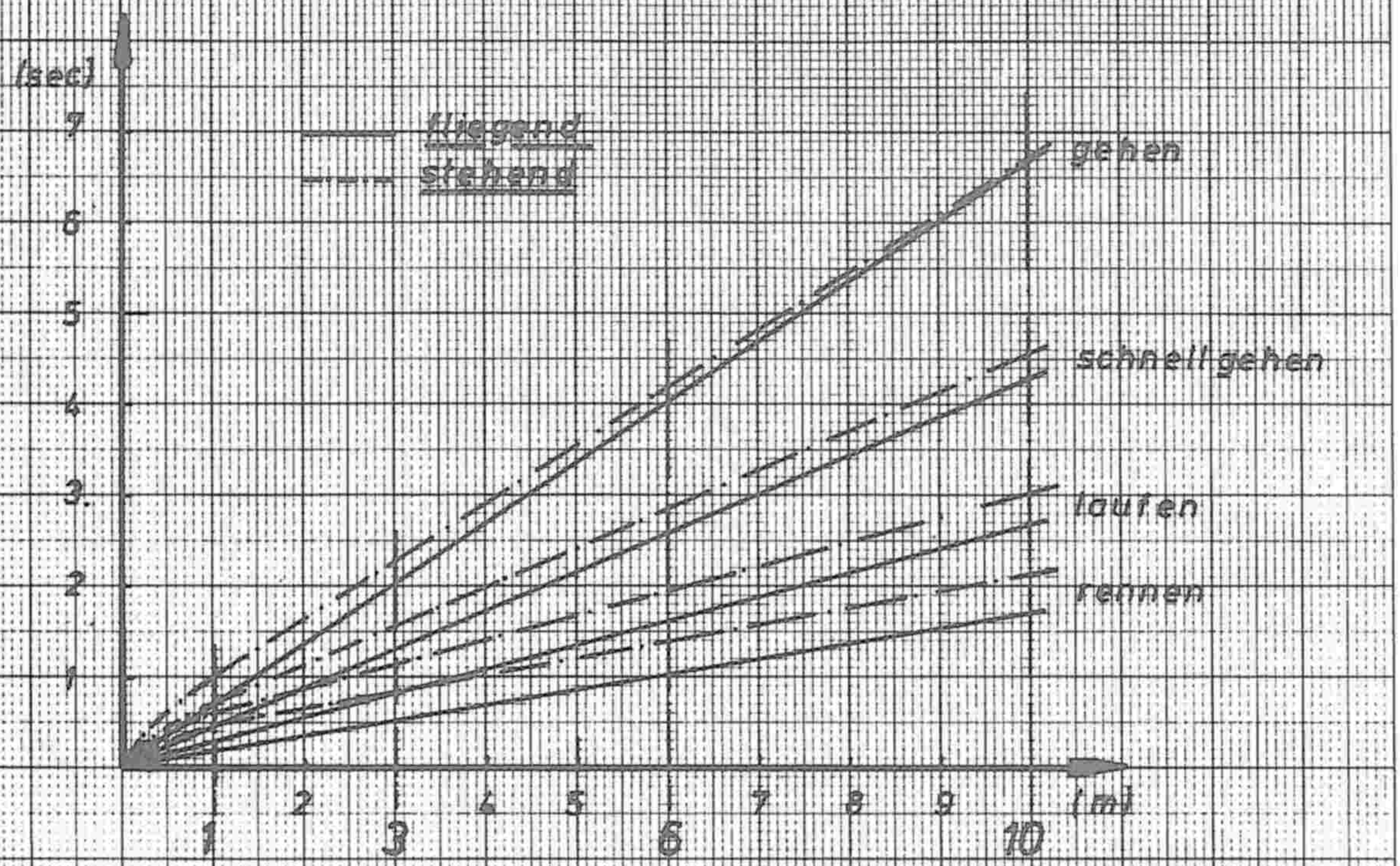


Weg-Zeit-Diagramm

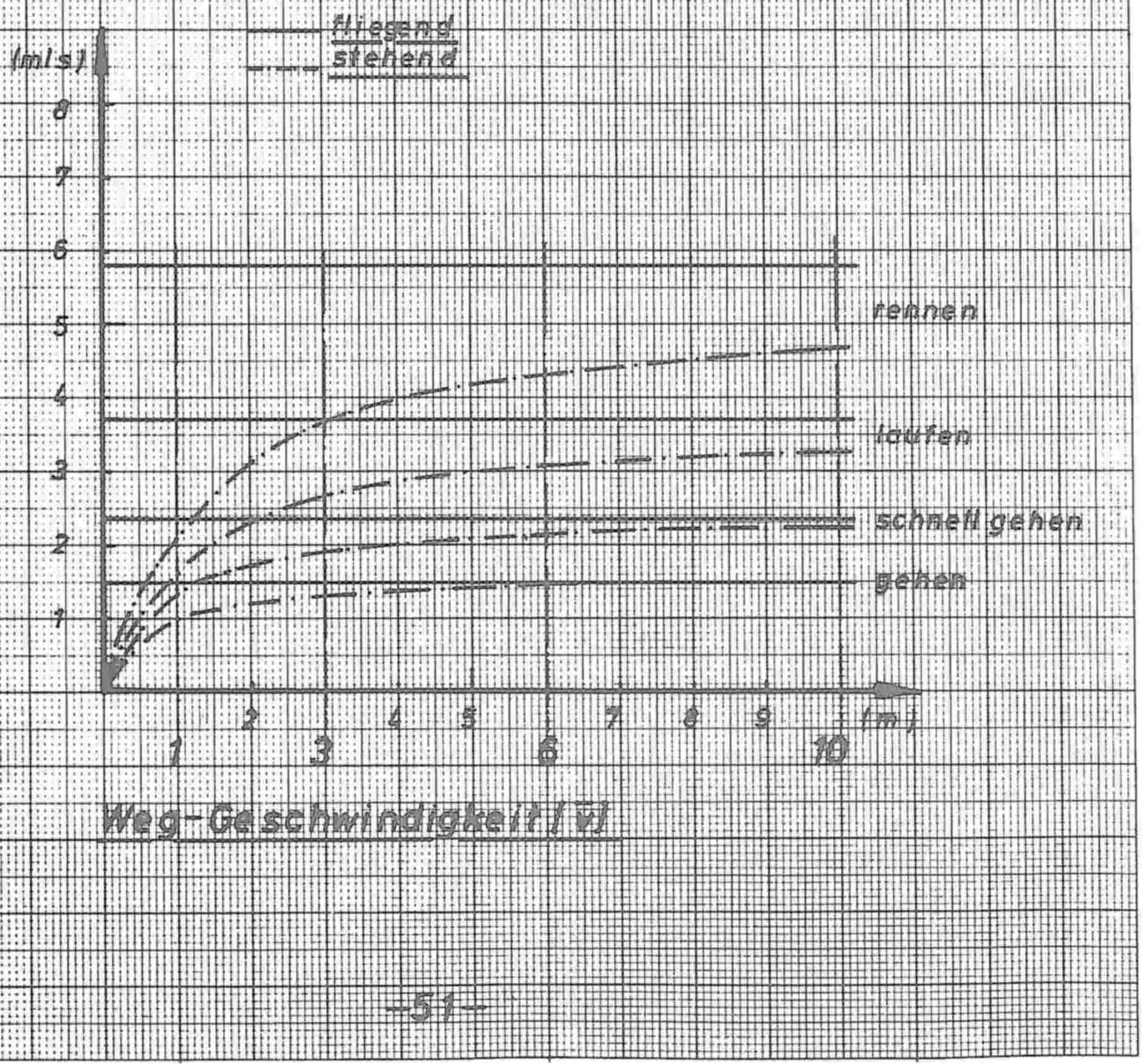


Weg-Geschwindigkeit (v)

Frauen: 15–20 Jahre

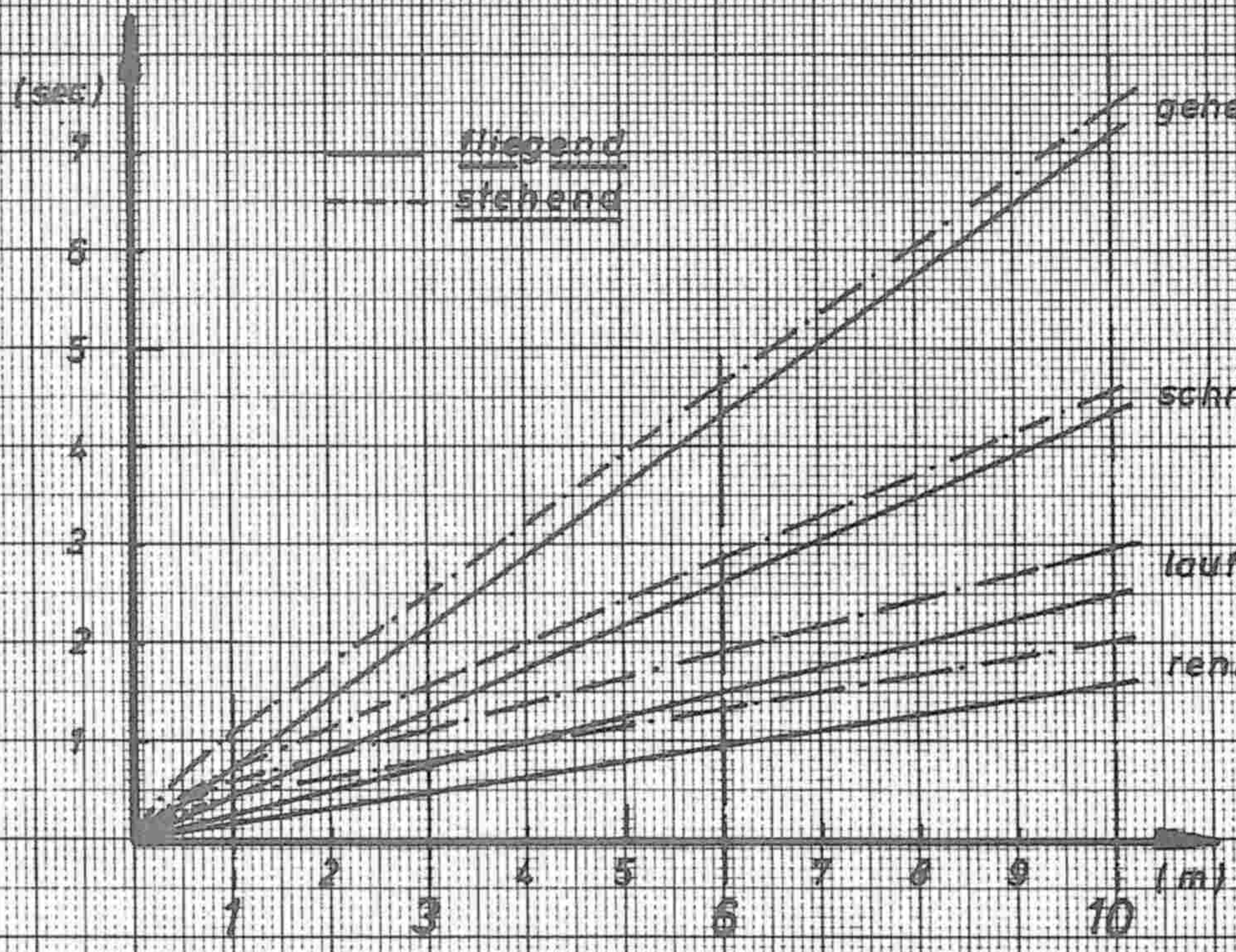


Weg-Zeit-Diagramm

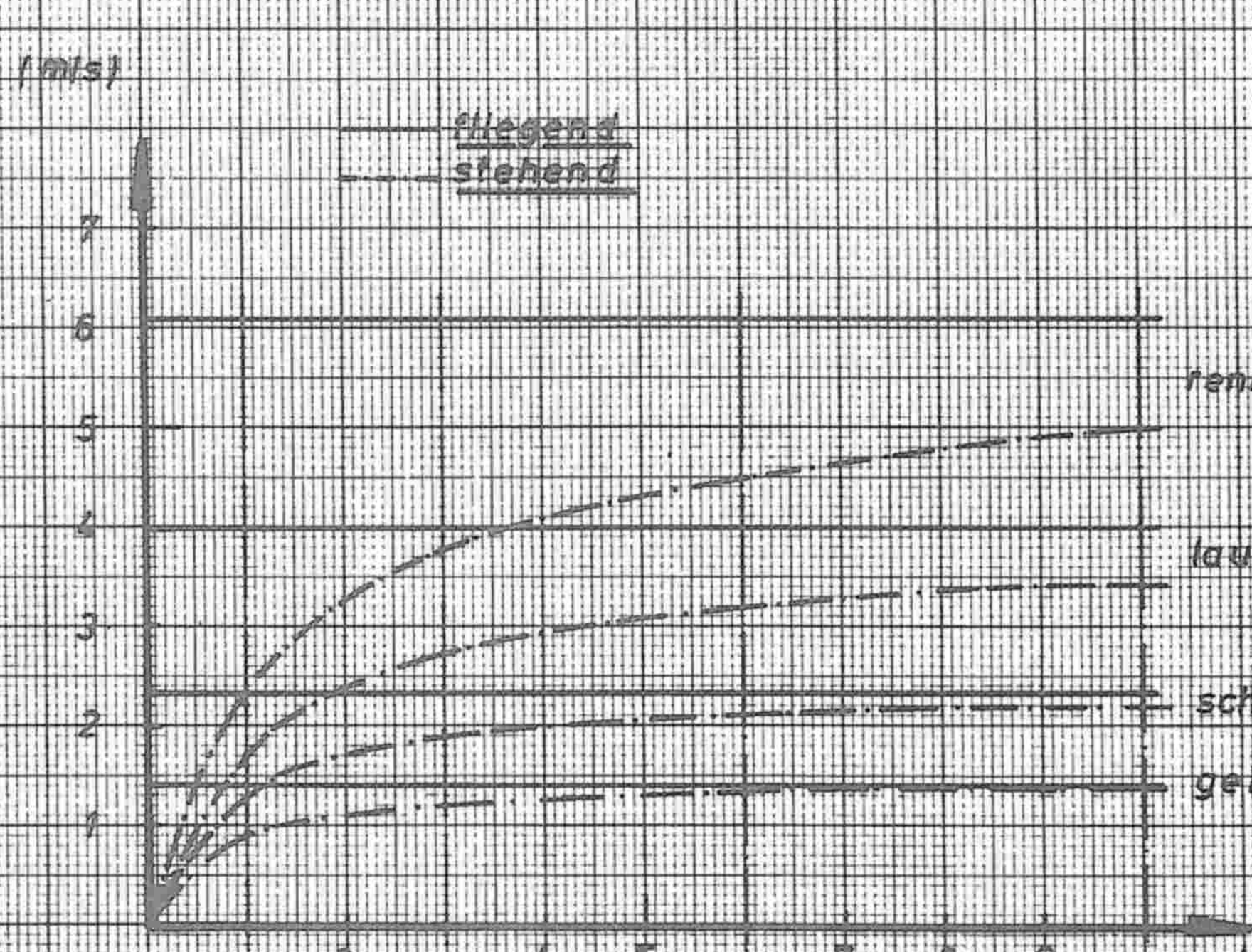


Weg-Geschwindigkeit (W)

Frauen: 20–30 Jahre

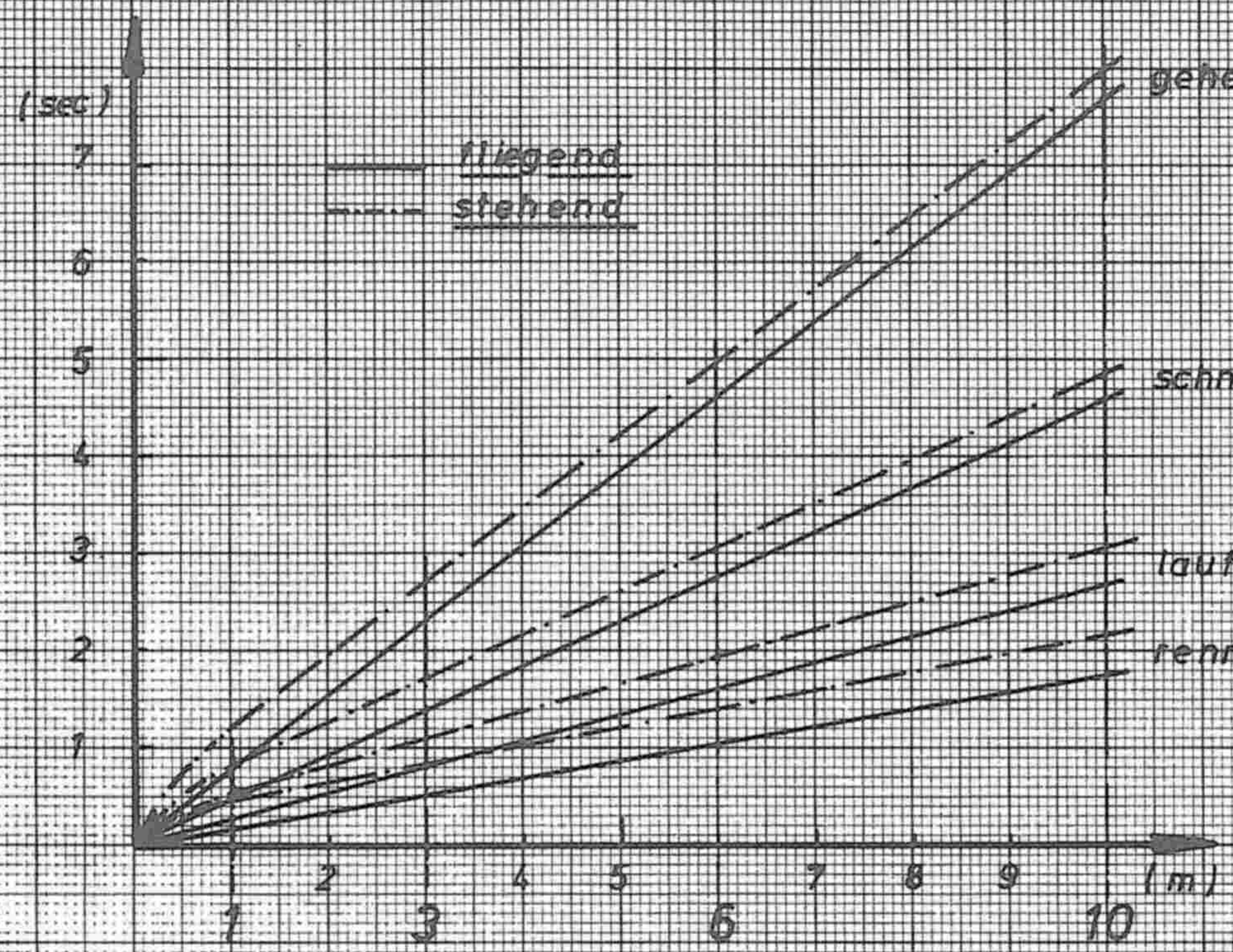


Weg-Zeit-Diagramm

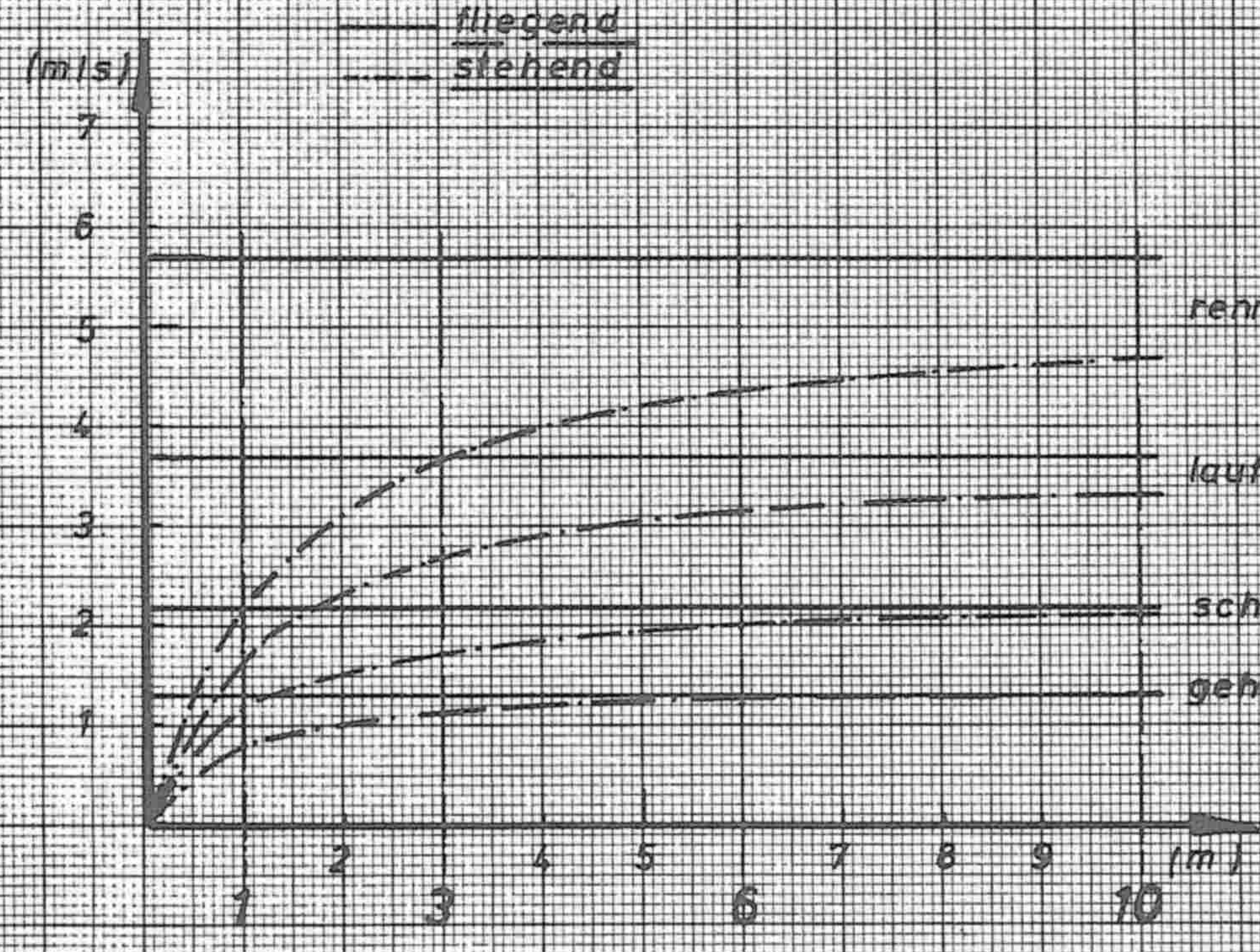


Weg-Geschwindigkeit [v]

Frauen: 30–40 Jahre

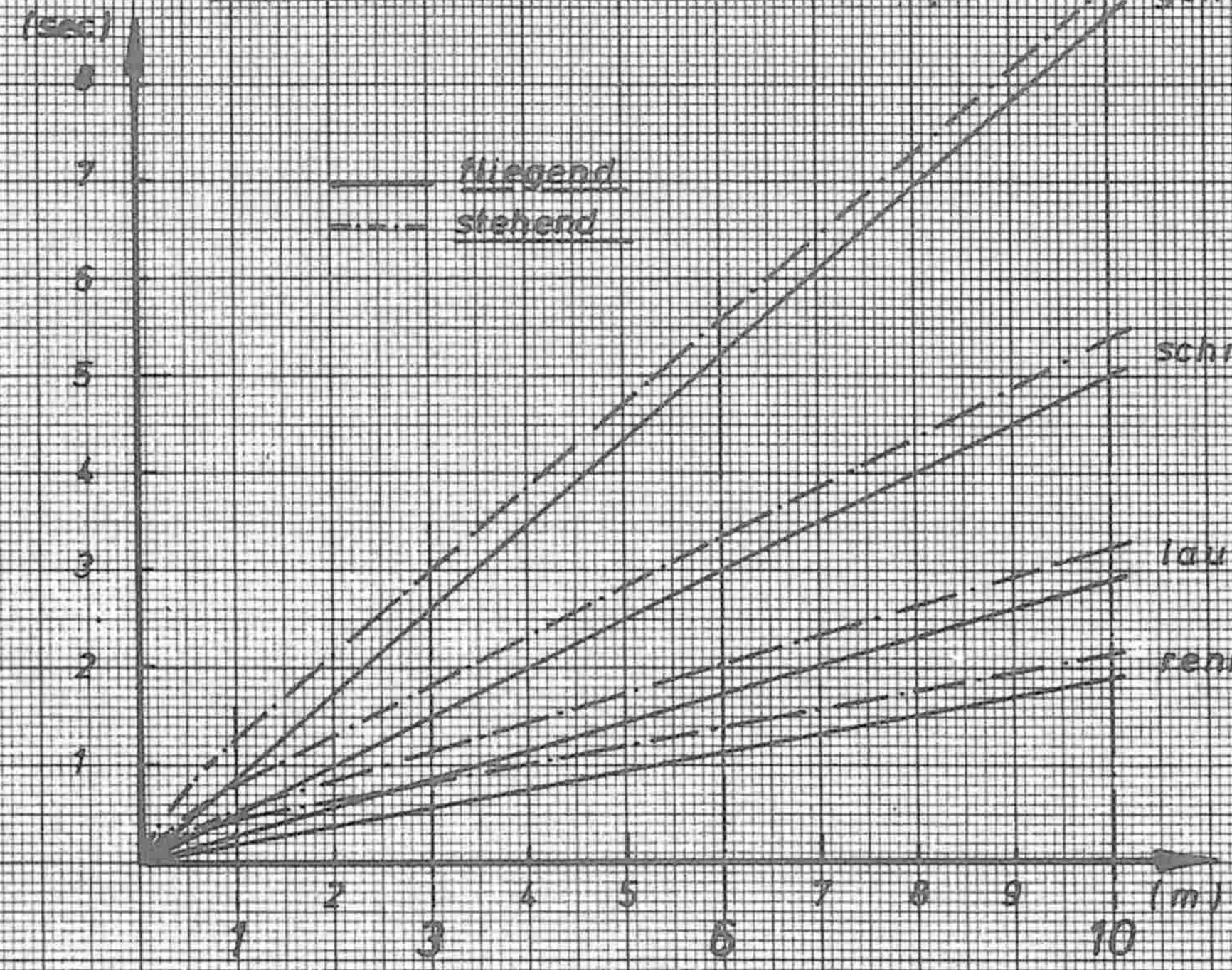


Weg-Zeit-Diagramm

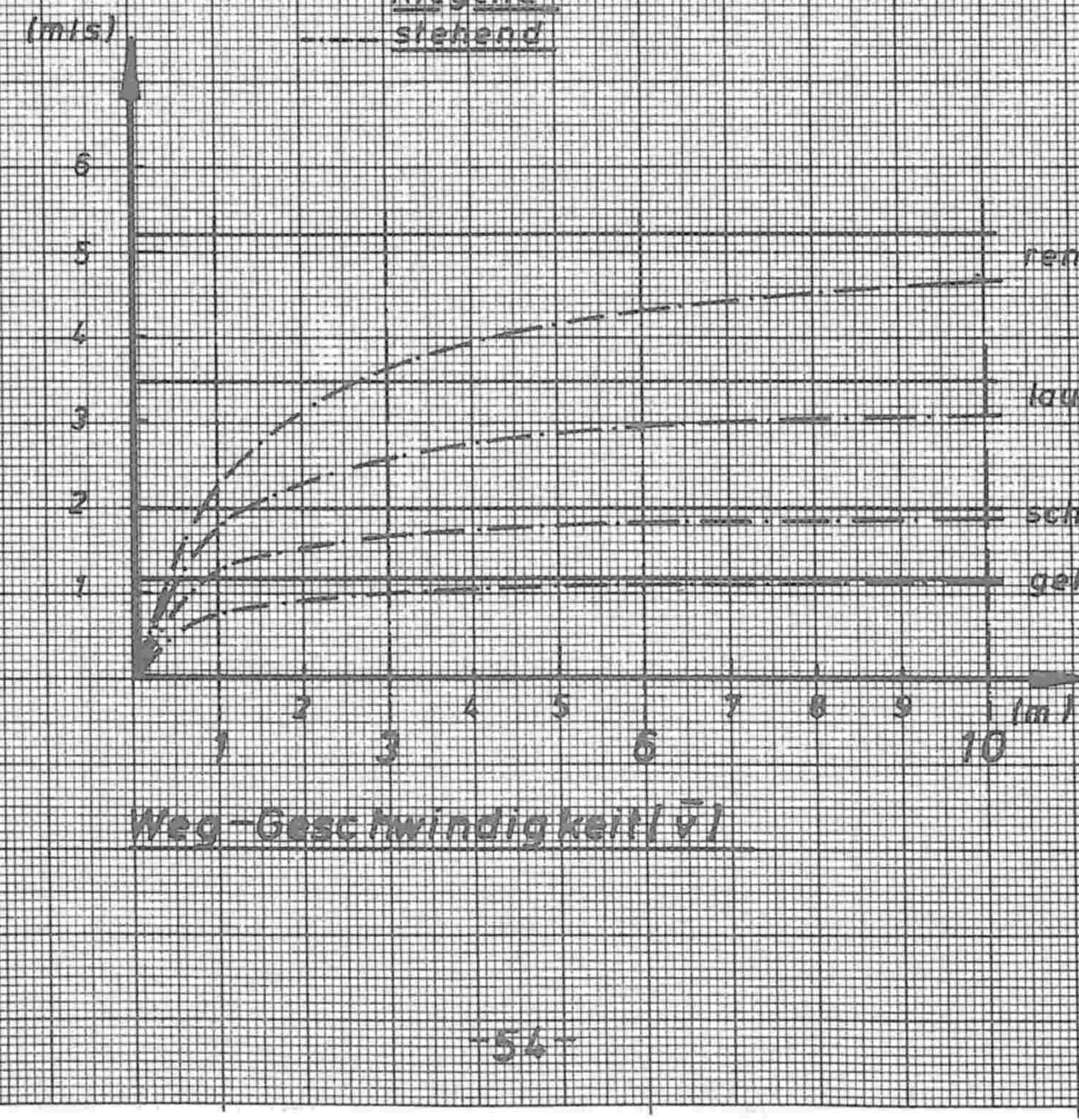


Weg-Geschwindigkeit [v]

Frauen: 40–50 Jahre

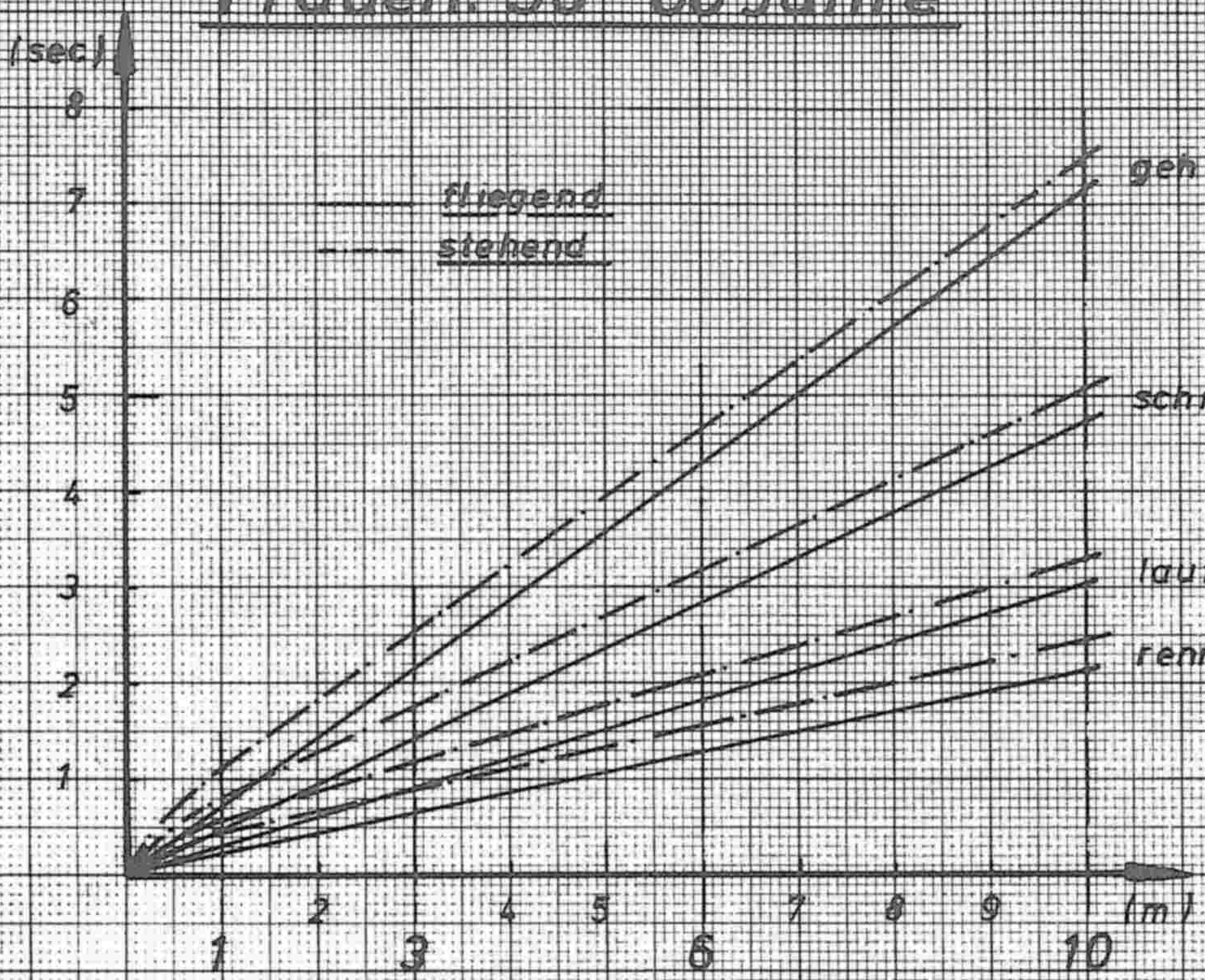


Weg-Zeit-Diagramm

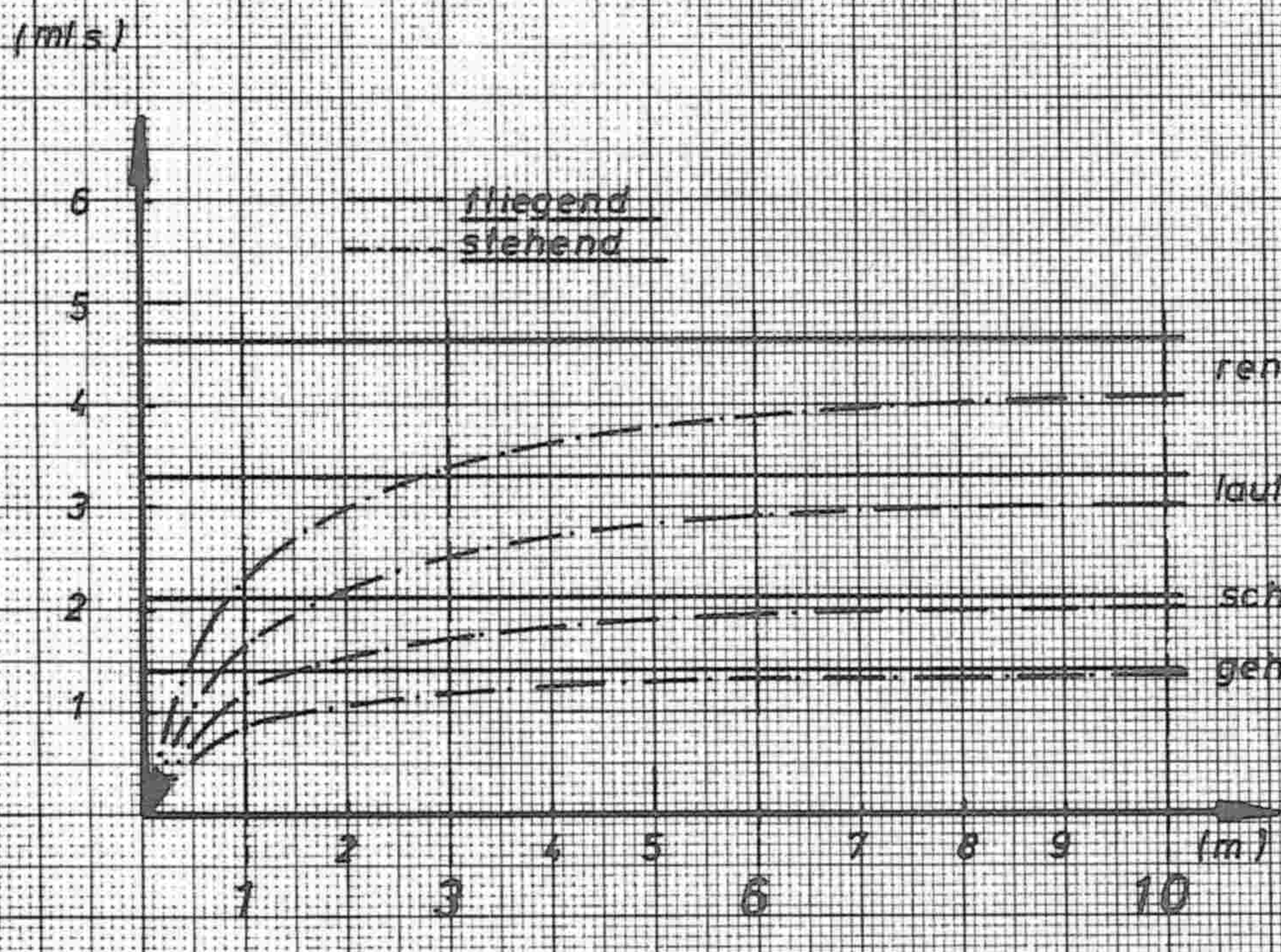


Weg-Geschwindigkeit ($\bar{v}$)

Frauen: 50–60 Jahre



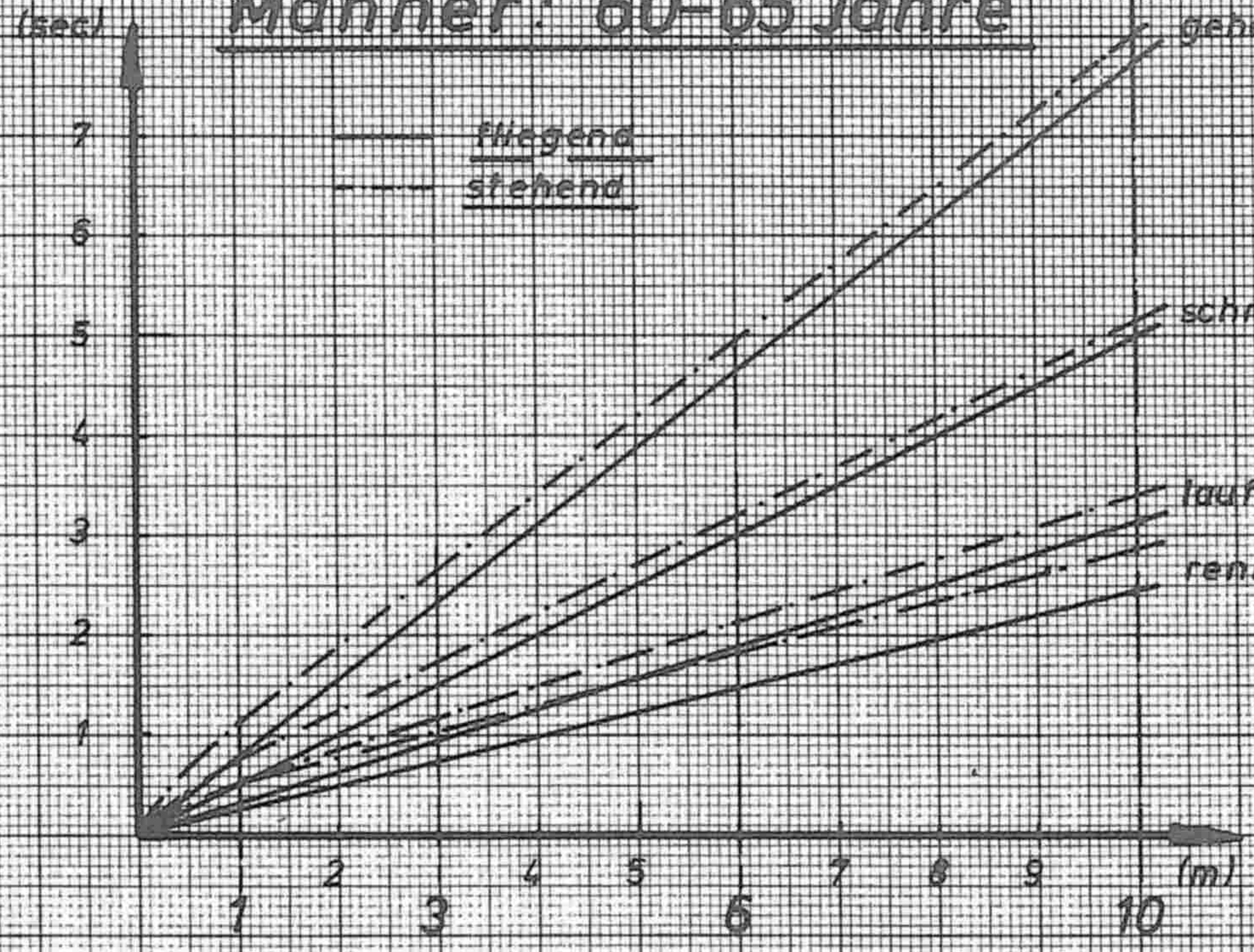
Weg–Zeit–Diagramm



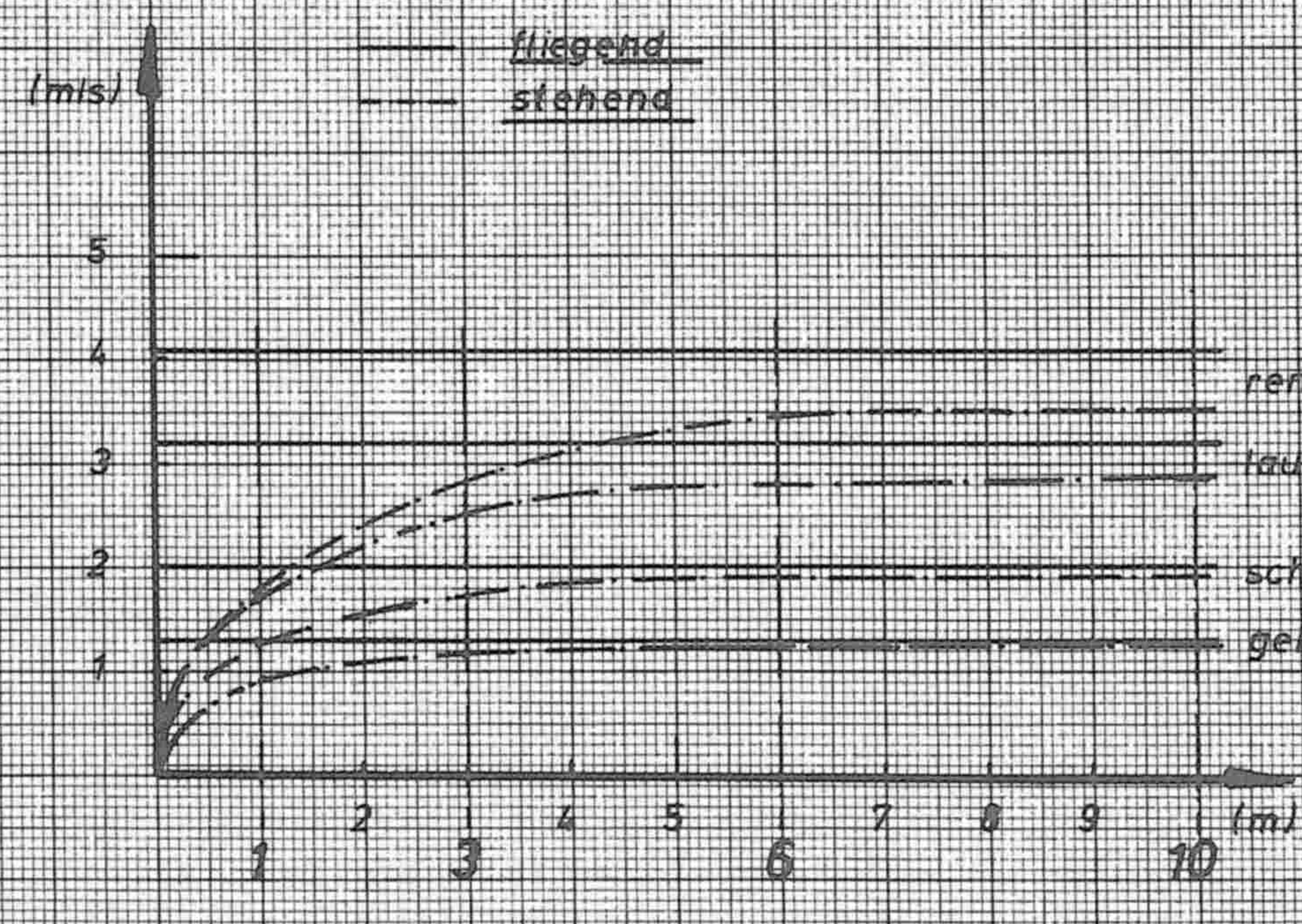
Weg–Geschwindigkeit (v)

4.4 Ältere Menschen

Männer: 60-65 Jahre

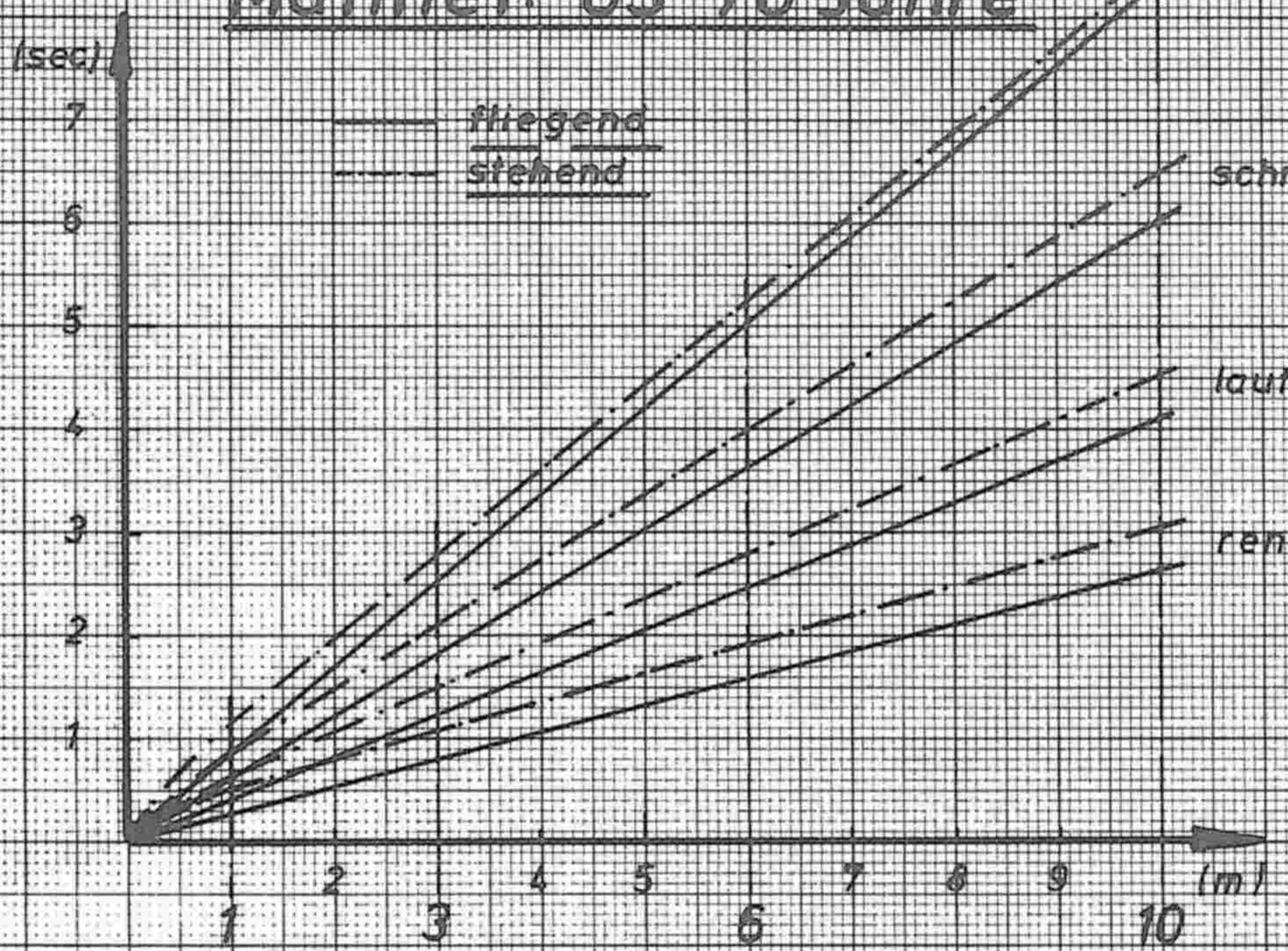


Weg - Zeit - Diagramm

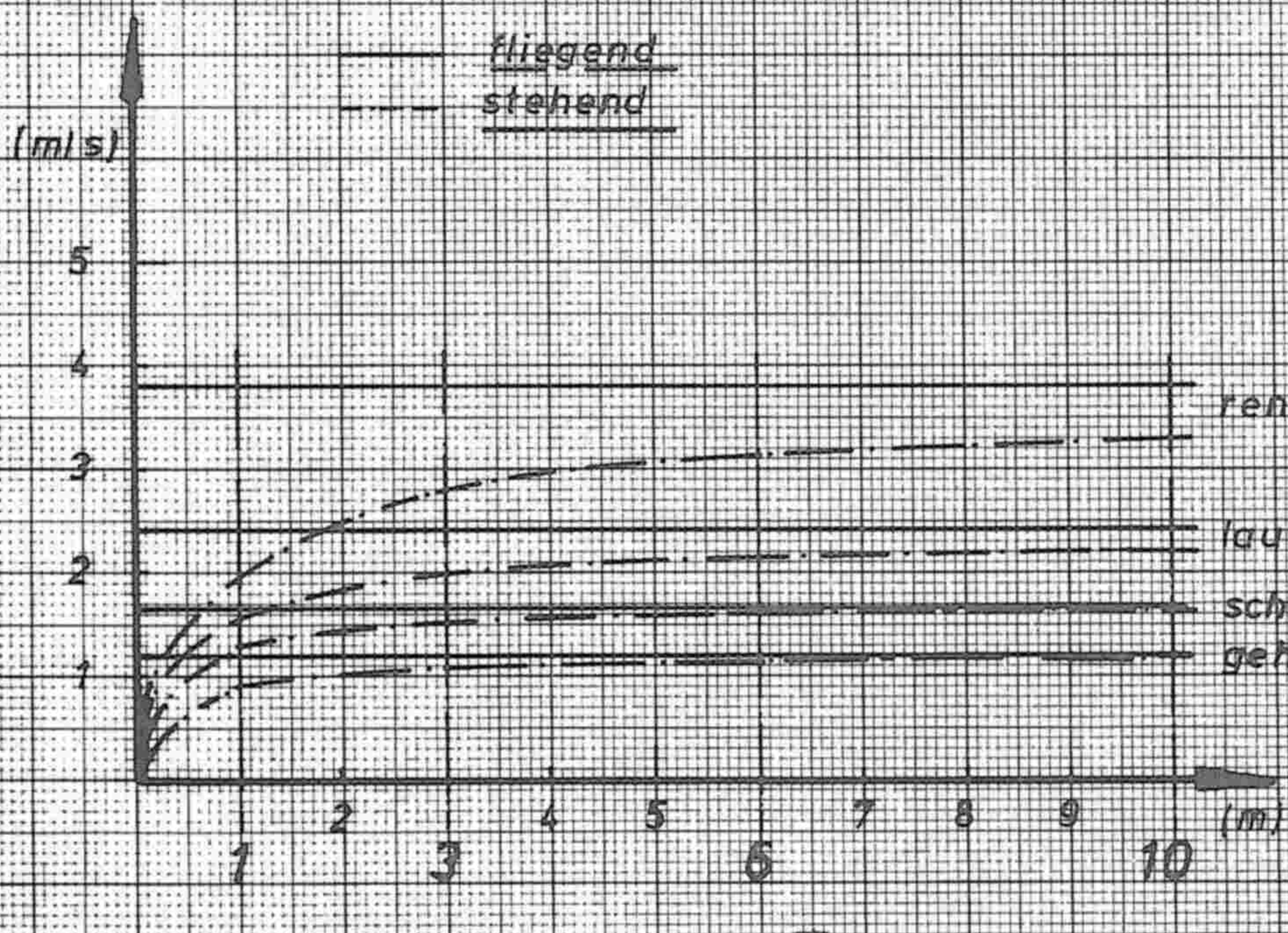


Weg-Geschwindigkeit (v)

Männer: 65-70 Jahre

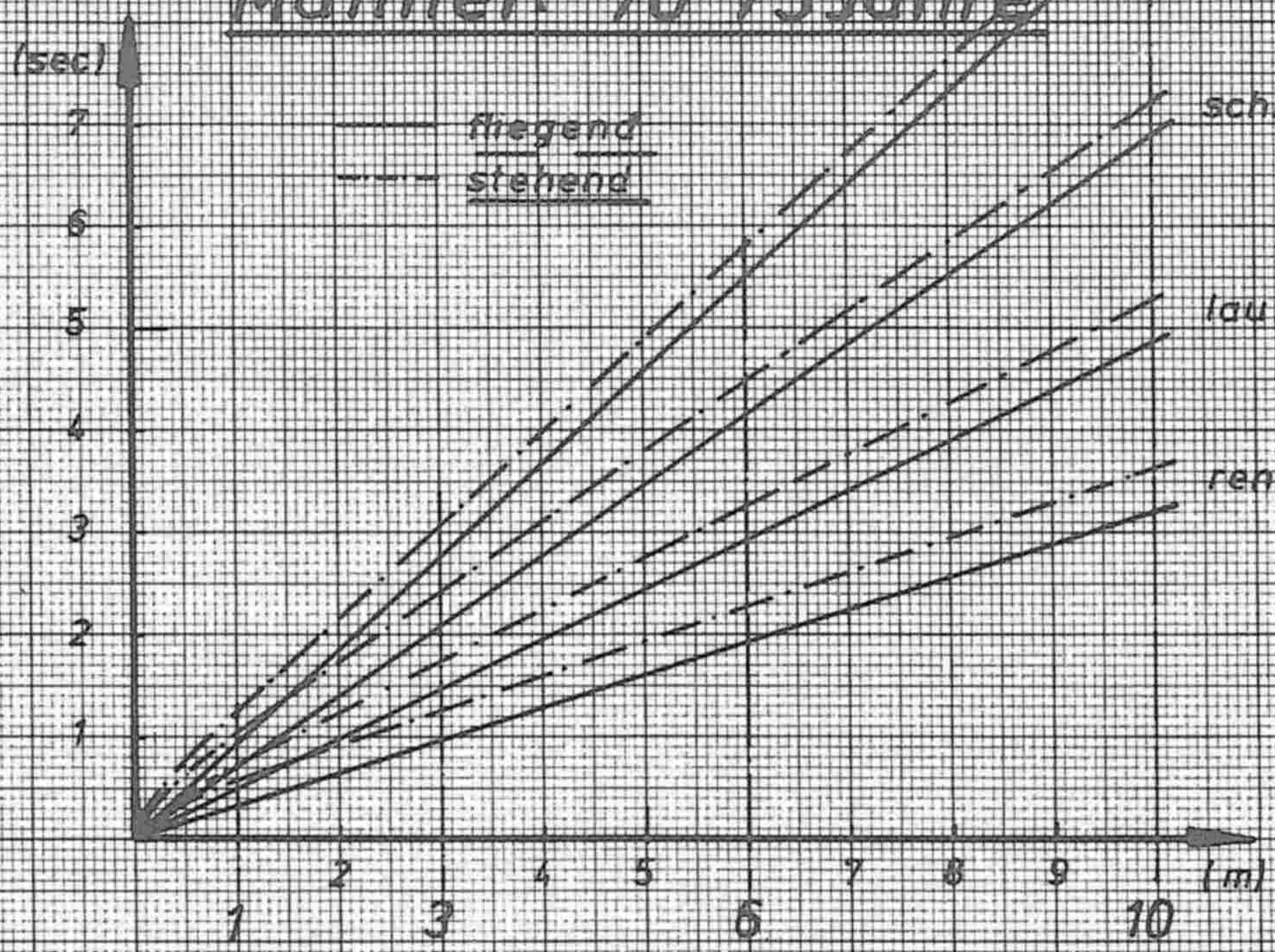


Weg-Zeit-Diagramm

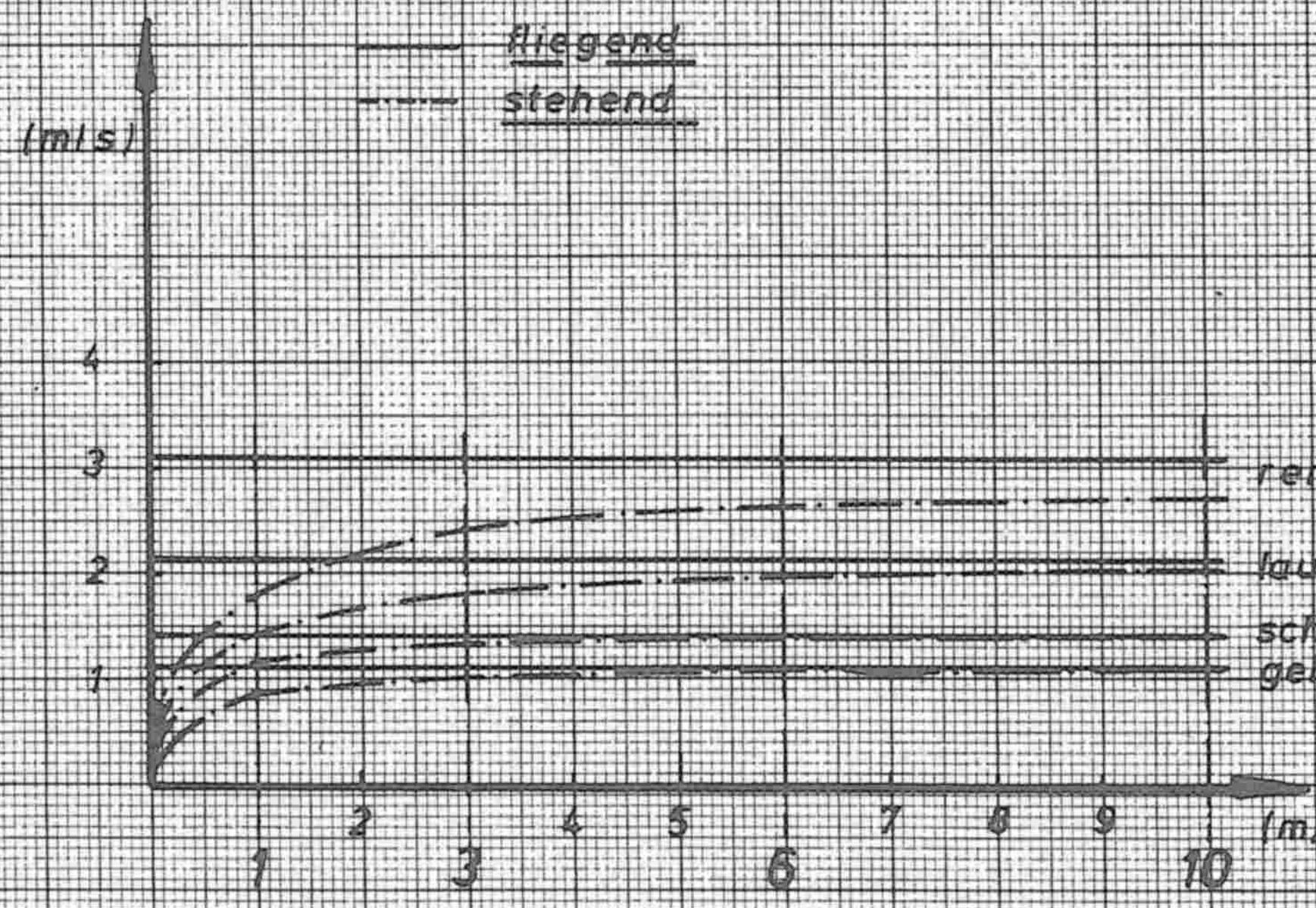


Weg-Geschwindigkeit [$\bar{v}$]

Männer: 70-75 Jahre

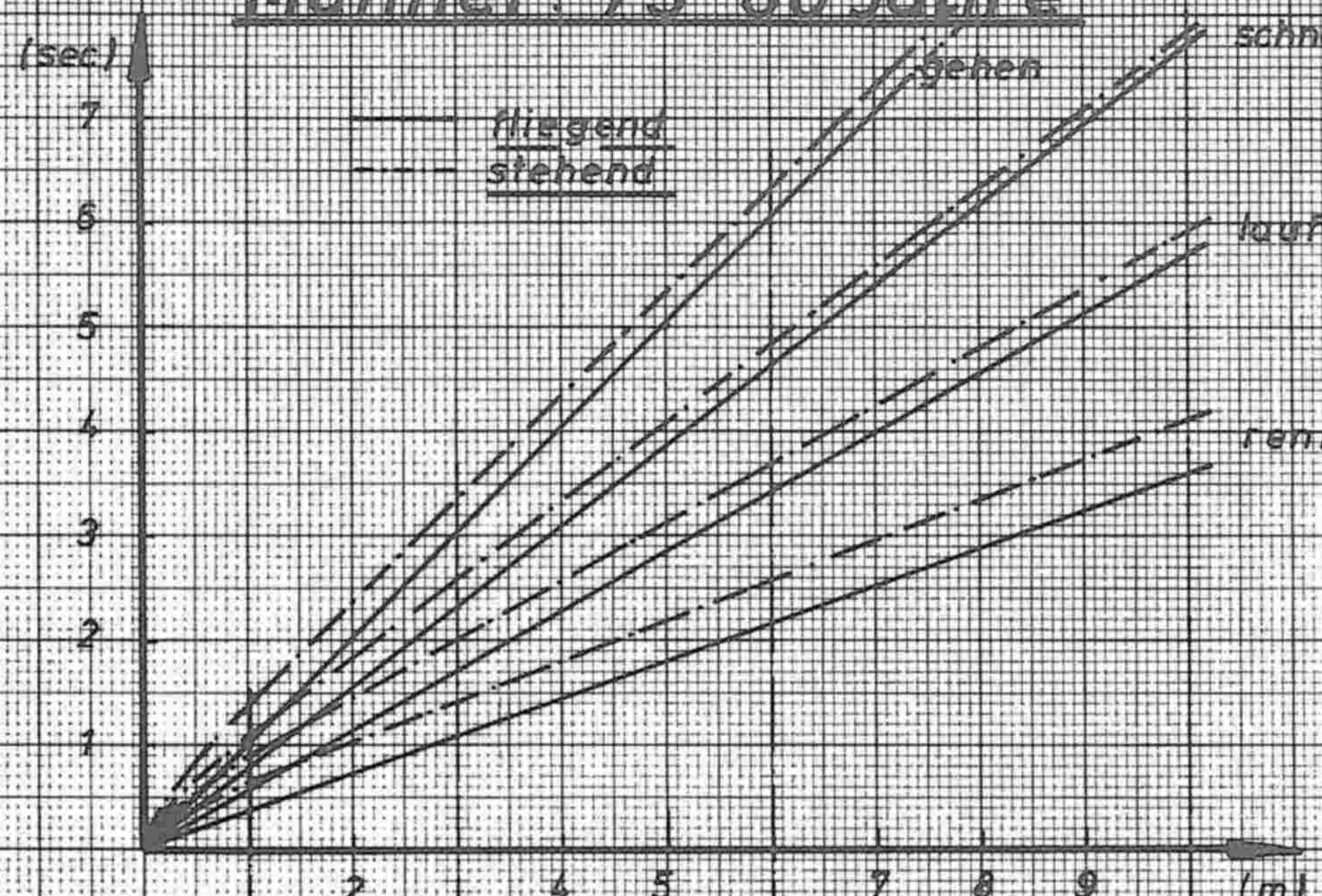


Weg-Zeit-Diagramm

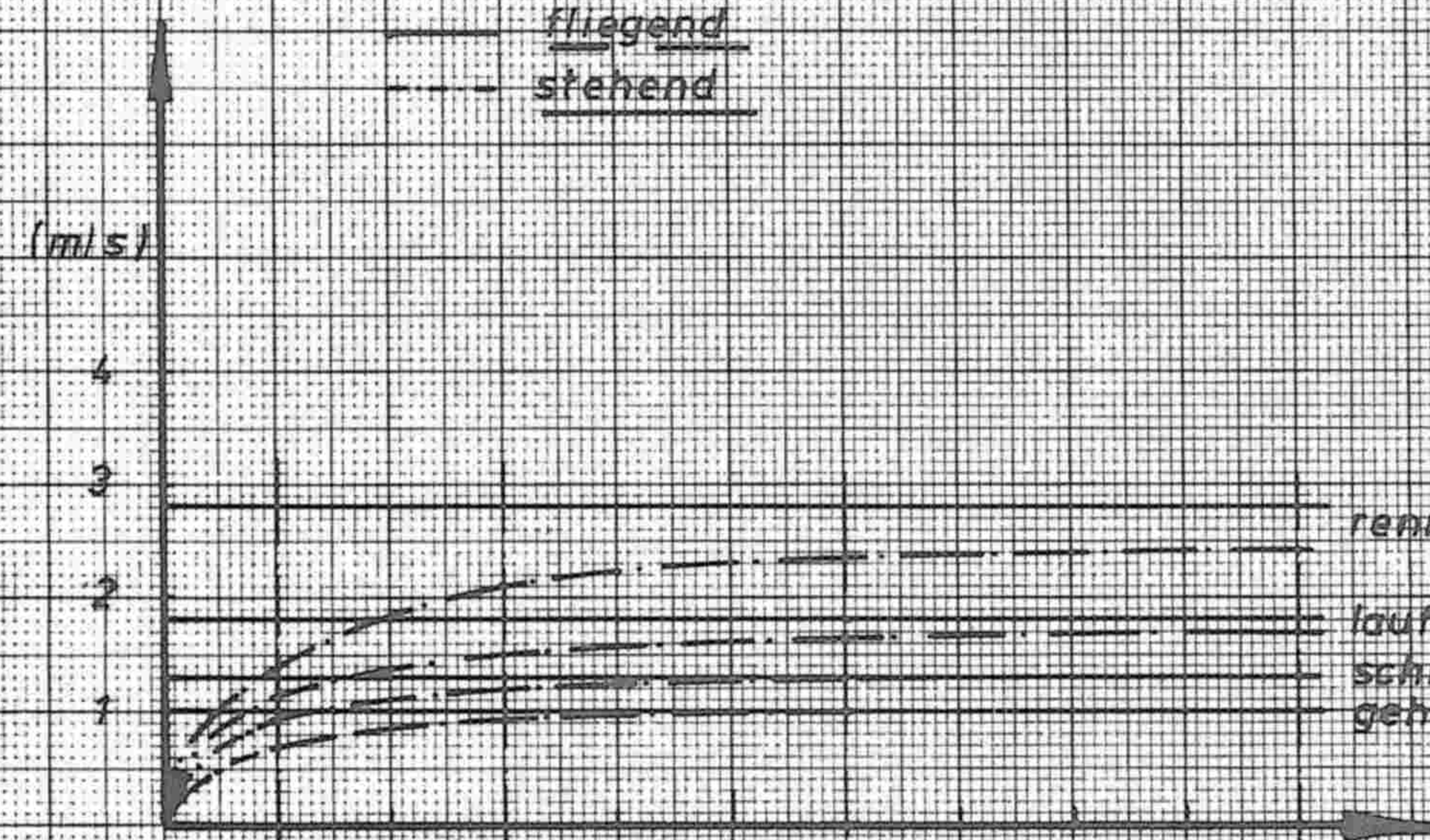


Weg-Geschwindigkeit [$\bar{v}$]

Männer: 75- 80 Jahre

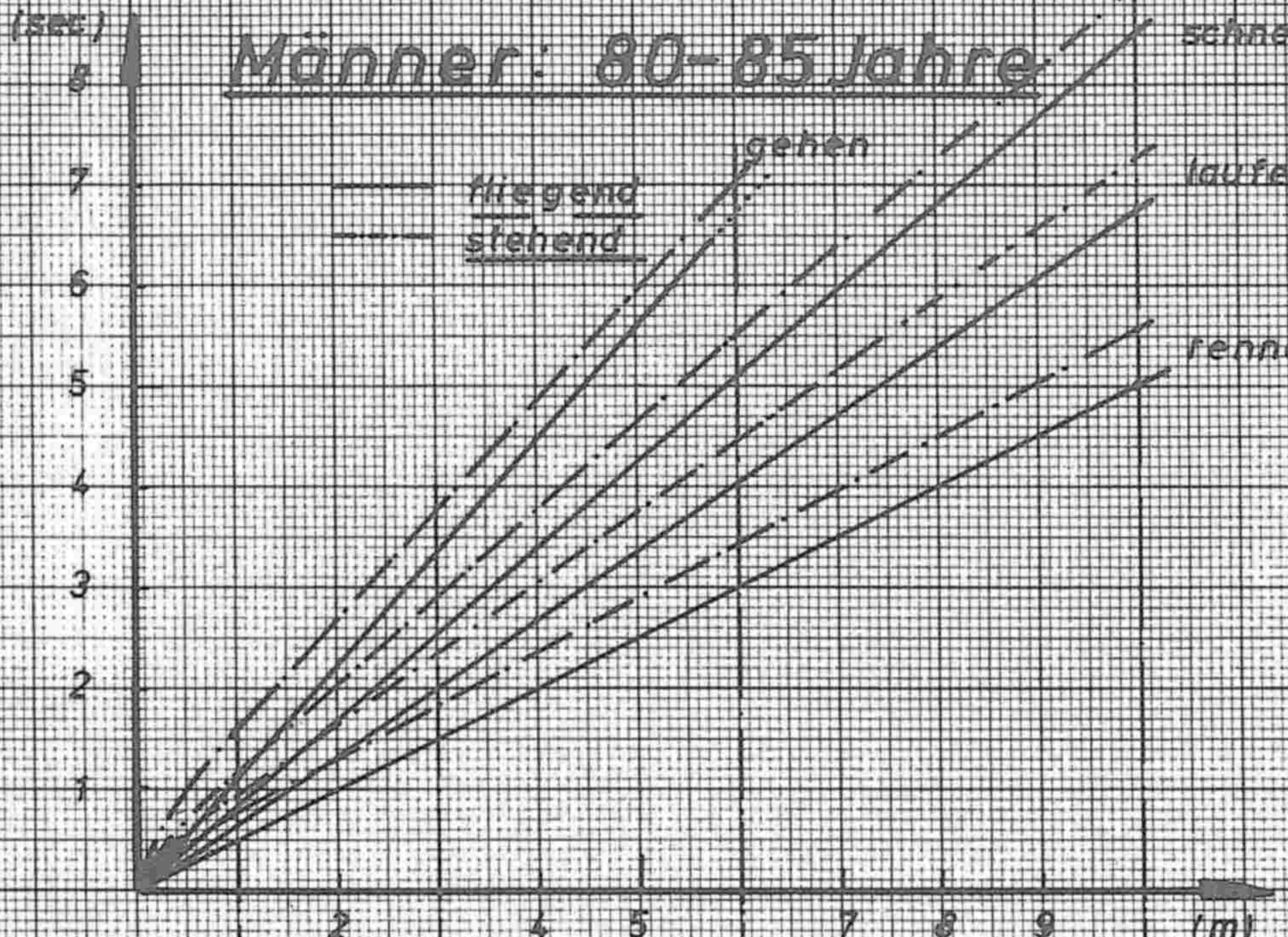


Weg- Zeit- Diagramm



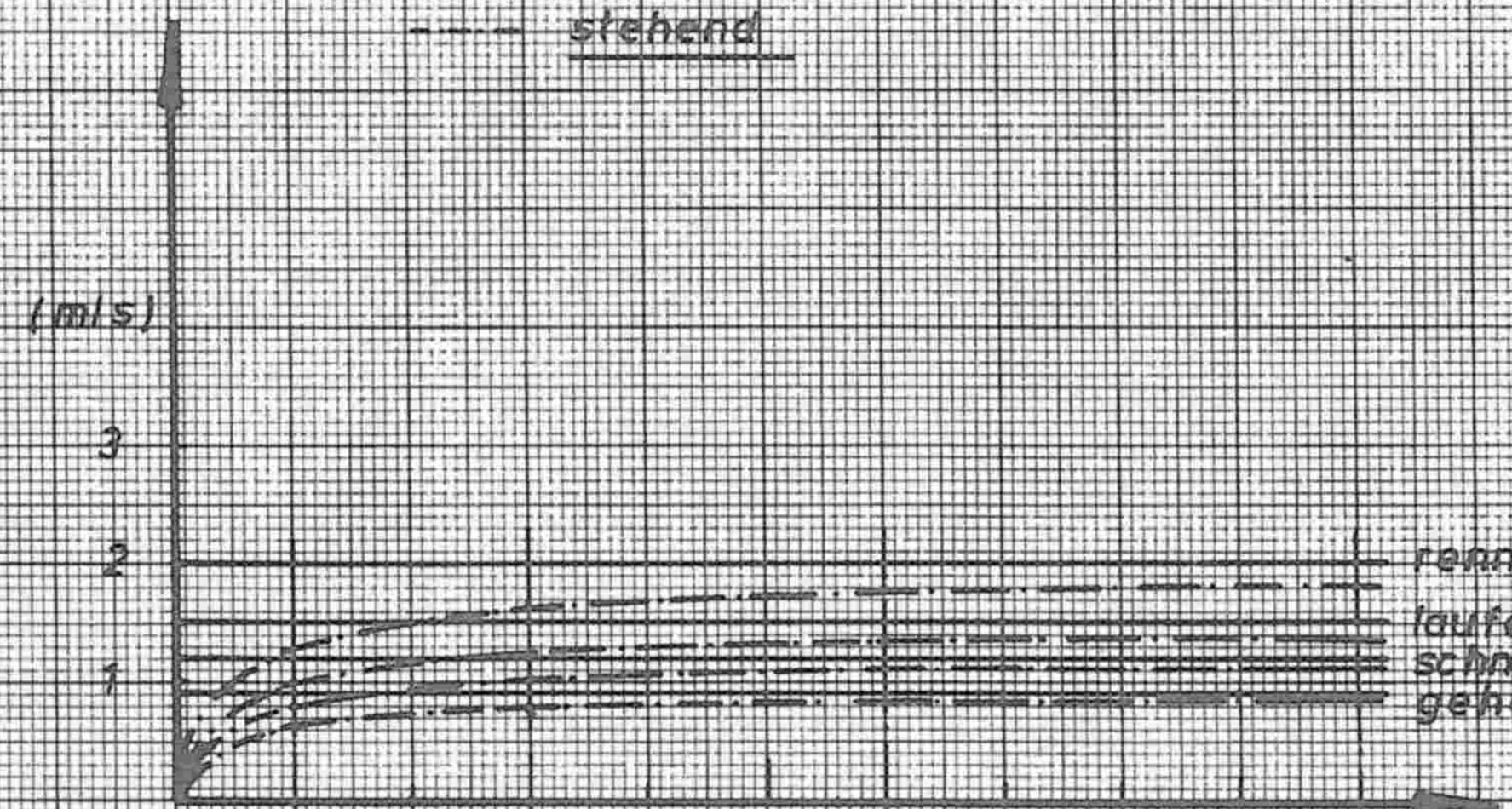
Weg- Geschwindigkeit [v]

Männer: 80–85 Jahre



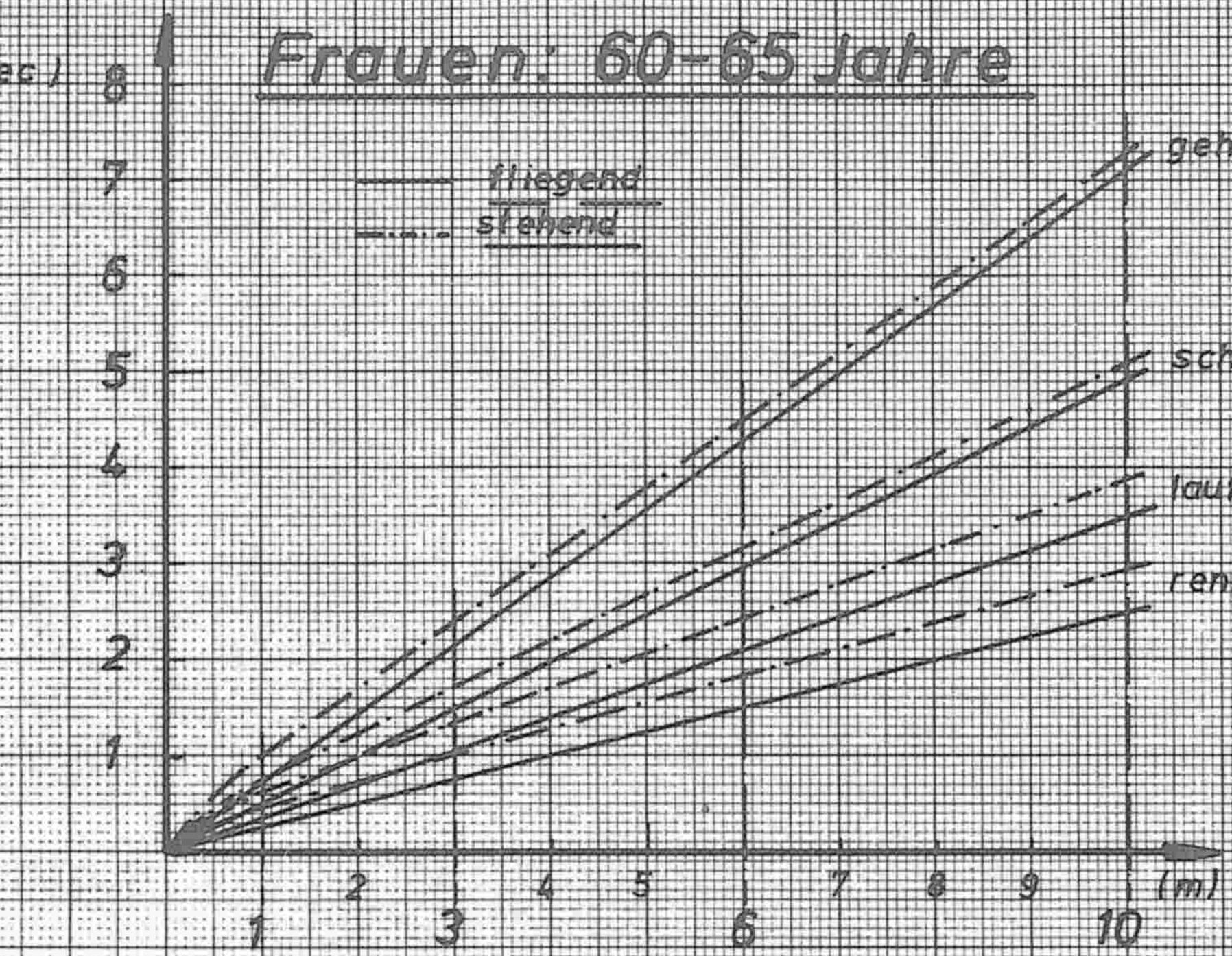
Weg – Zeit – Diagramm

fliegend
stehend

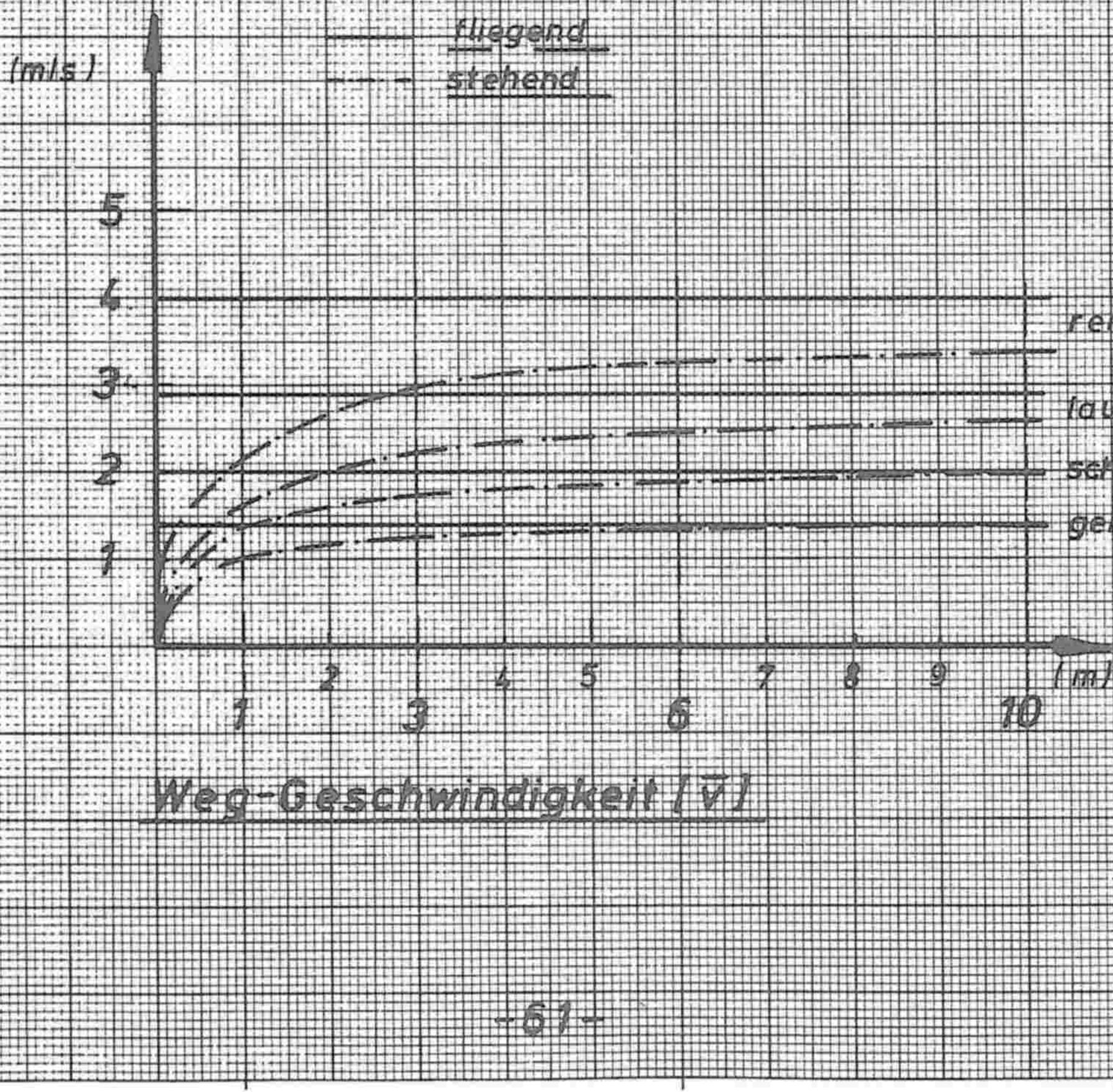


Weg – Geschwindigkeit [$\bar{v}$]

Frauen: 60–65 Jahre

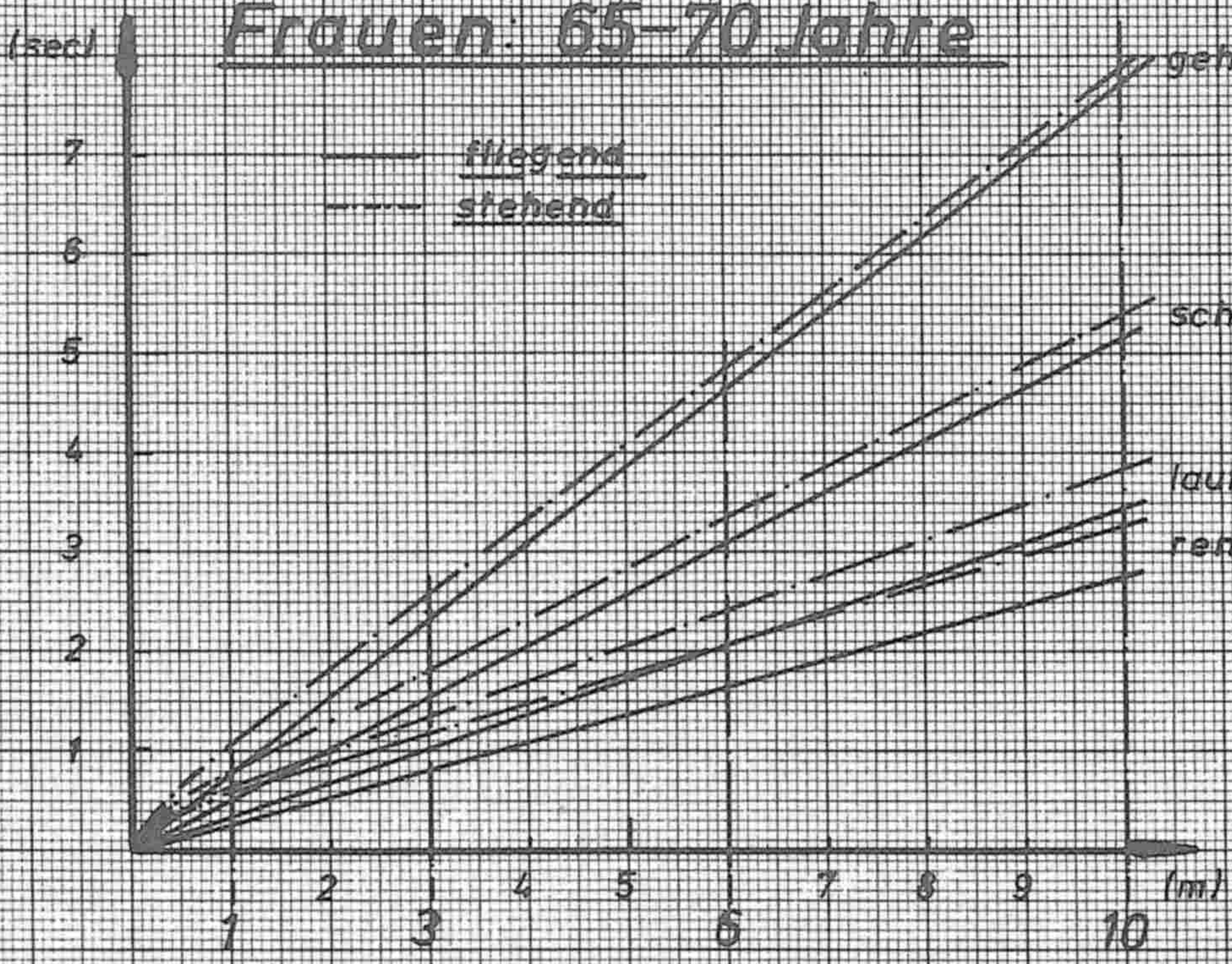


Weg-Zeit-Diagramm

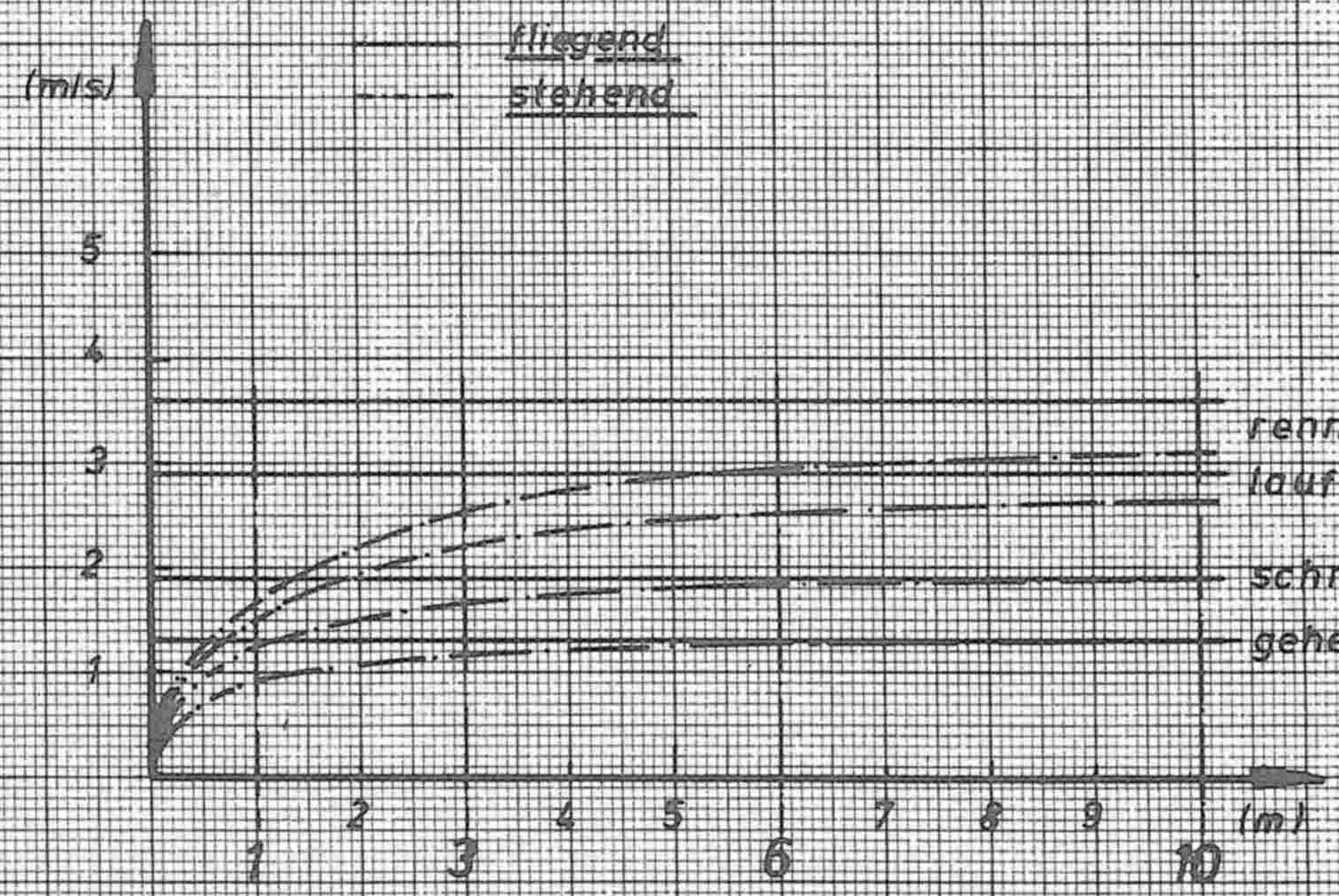


Weg-Geschwindigkeit [v]

Frauen: 65–70 Jahre



Weg-Zeit-Diagramm

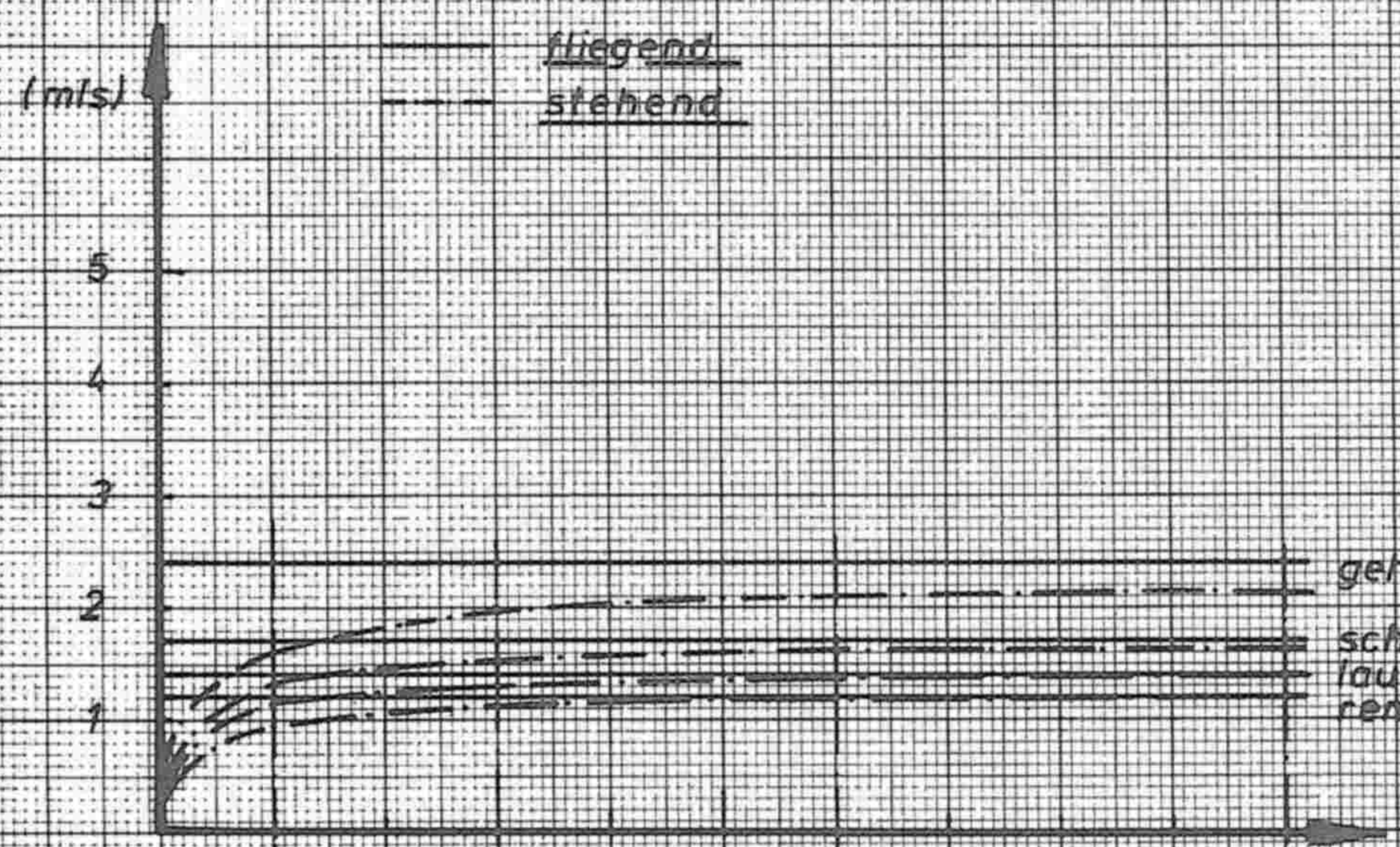


Weg-Geschwindigkeit (v)

Frauen: 70-75 Jahre

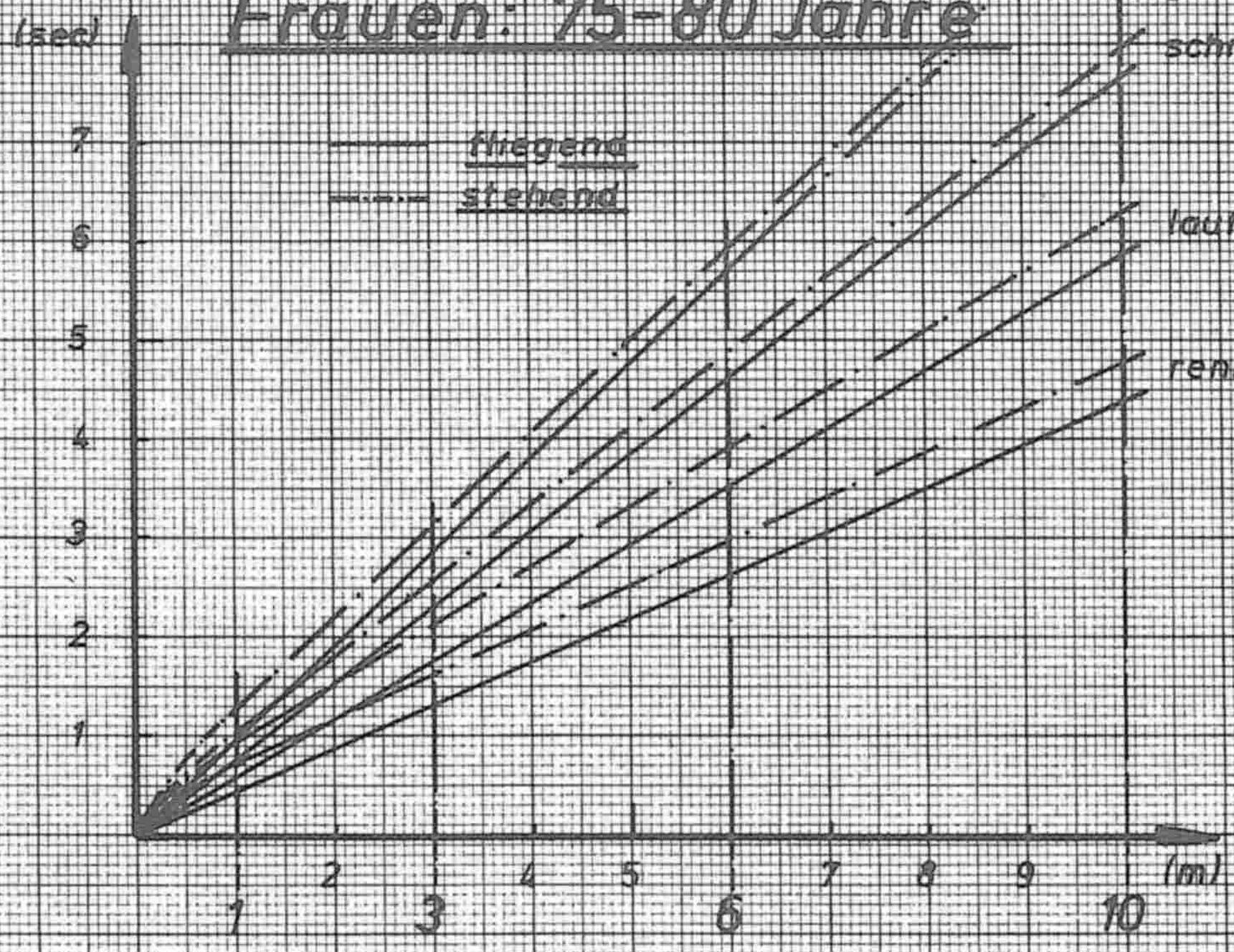


Weg-Zeit-Diagramm

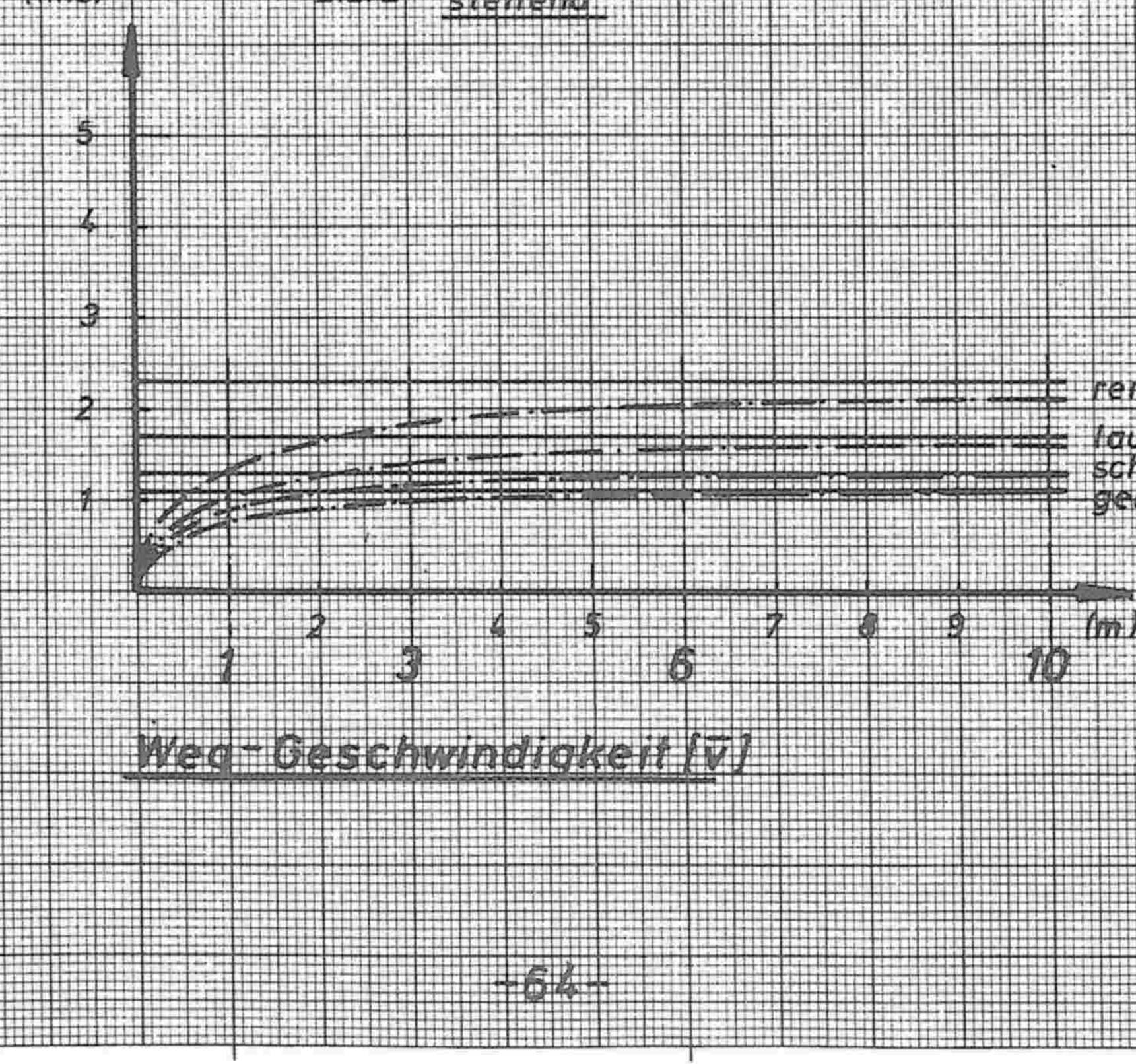


Weg-Geschwindigkeit [v]

Frauen: 75-80 Jahre

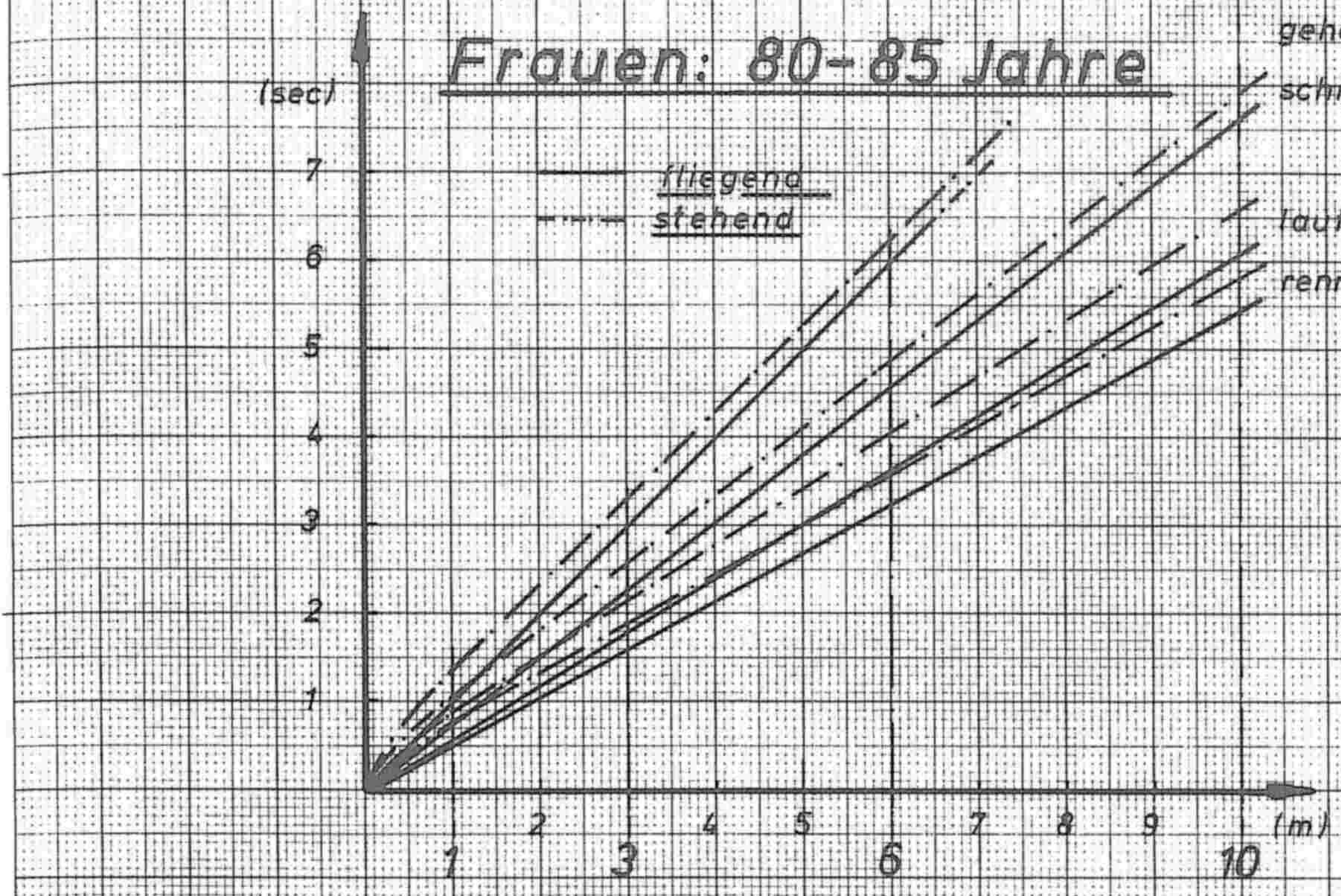


Weg - Zeit - Diagramm

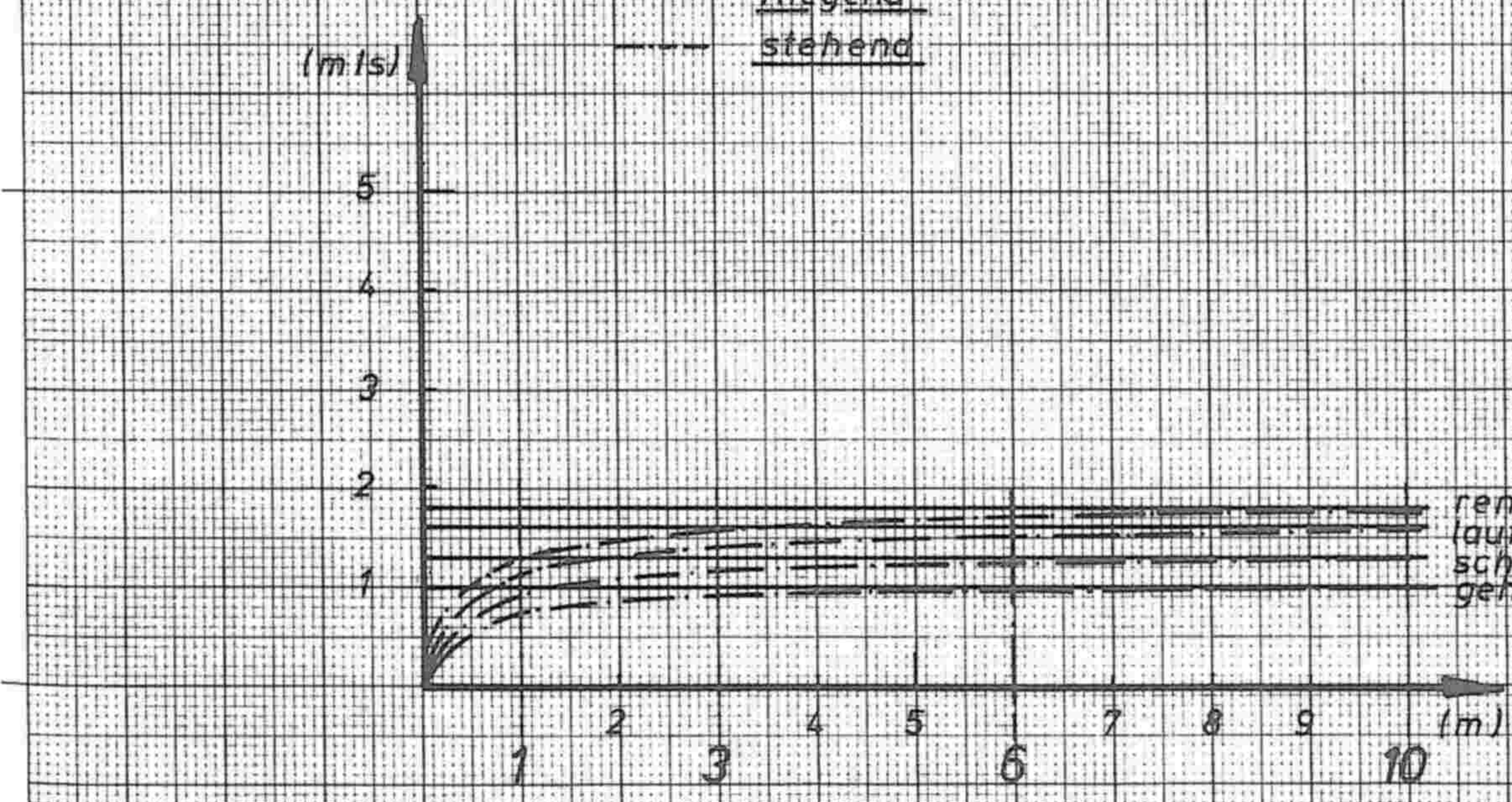


Weg - Geschwindigkeit (v)

Frauen: 80-85 Jahre

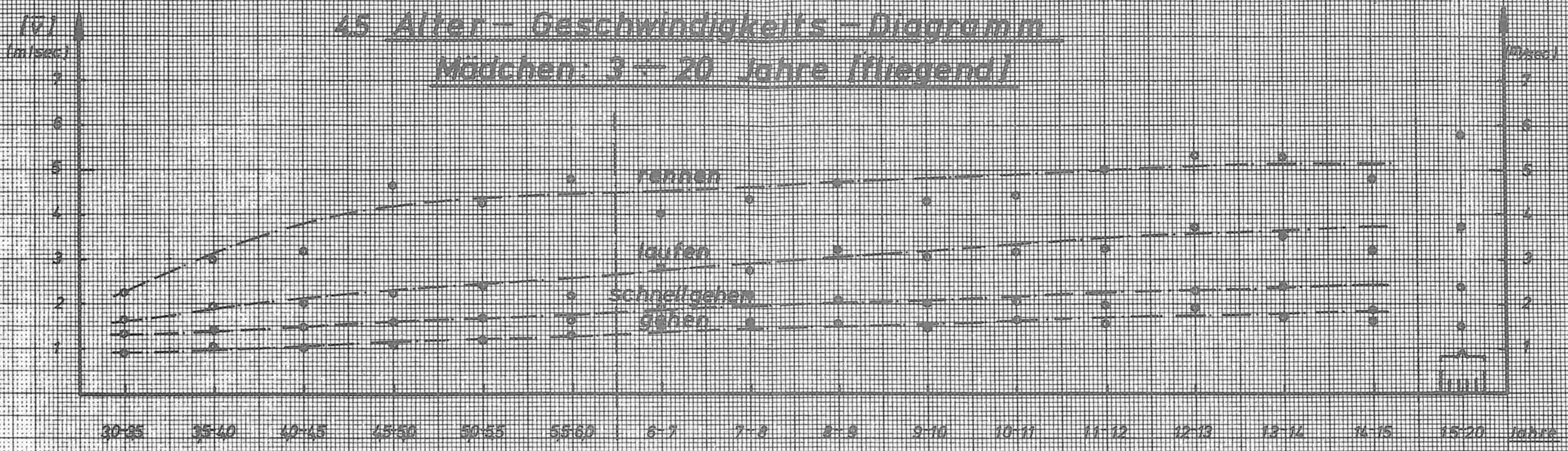


Weg- Zeit- Diagramm

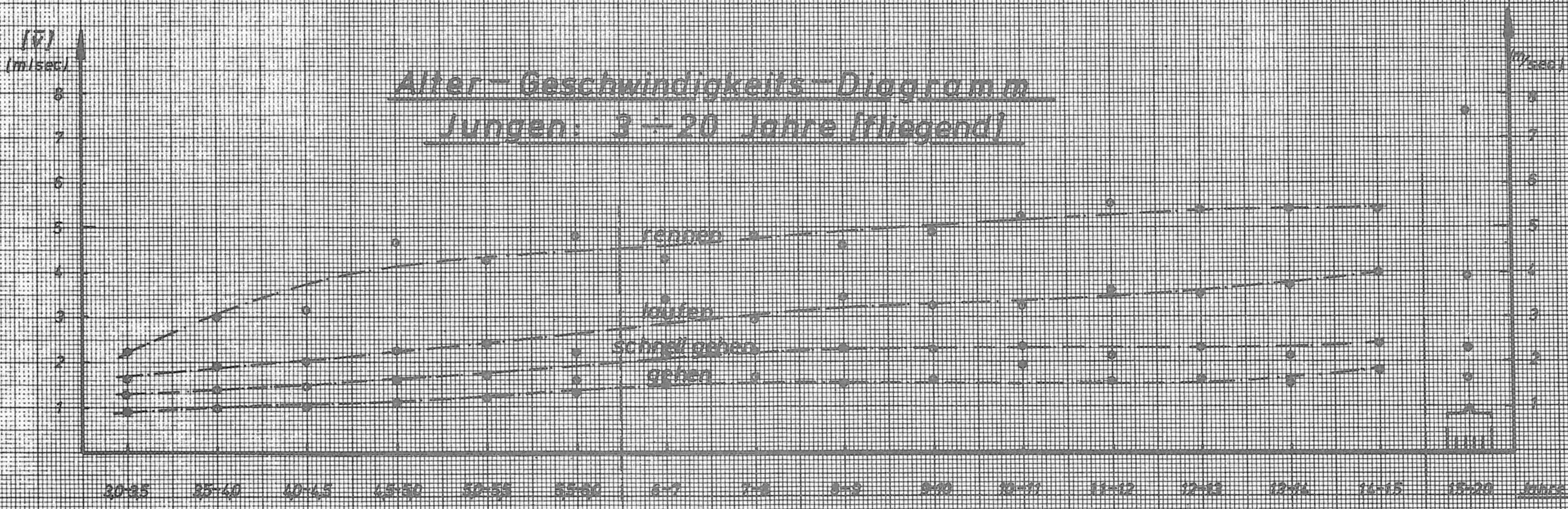


Weg - Geschwindigkeit [$\bar{v}$]

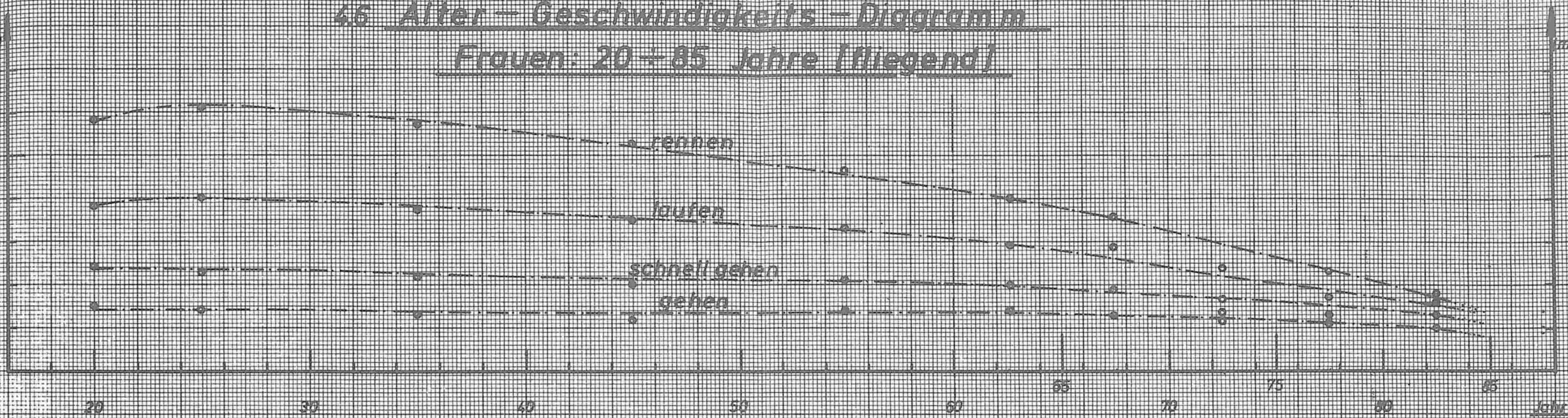
45 Alter – Geschwindigkeits – Diagramm
Mädchen: 3 – 20 Jahre (fliegend)



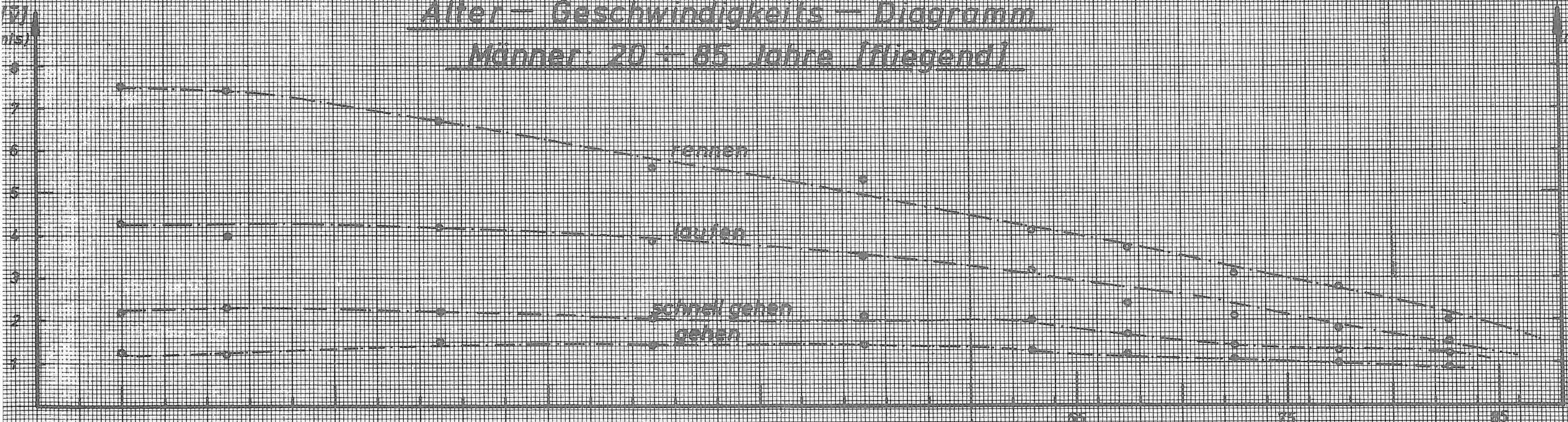
Alter – Geschwindigkeits – Diagramm
Jungen: 3 – 20 Jahre (fliegend)



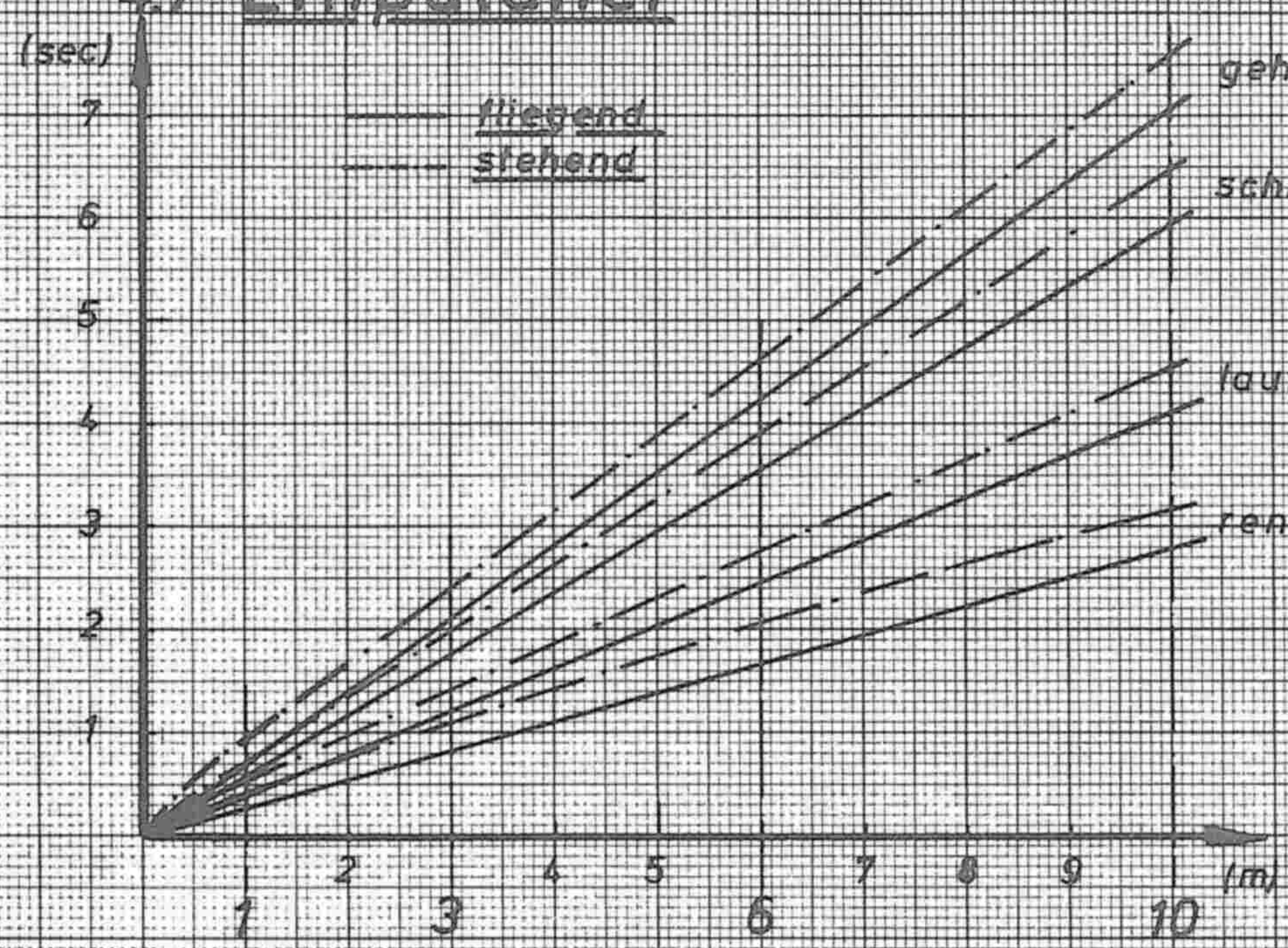
4.6 Alter – Geschwindigkeits – Diagramm
Frauen: 20 – 85 Jahre (fliegend)



Alter – Geschwindigkeits – Diagramm
Männer: 20 – 85 Jahre (fliegend)



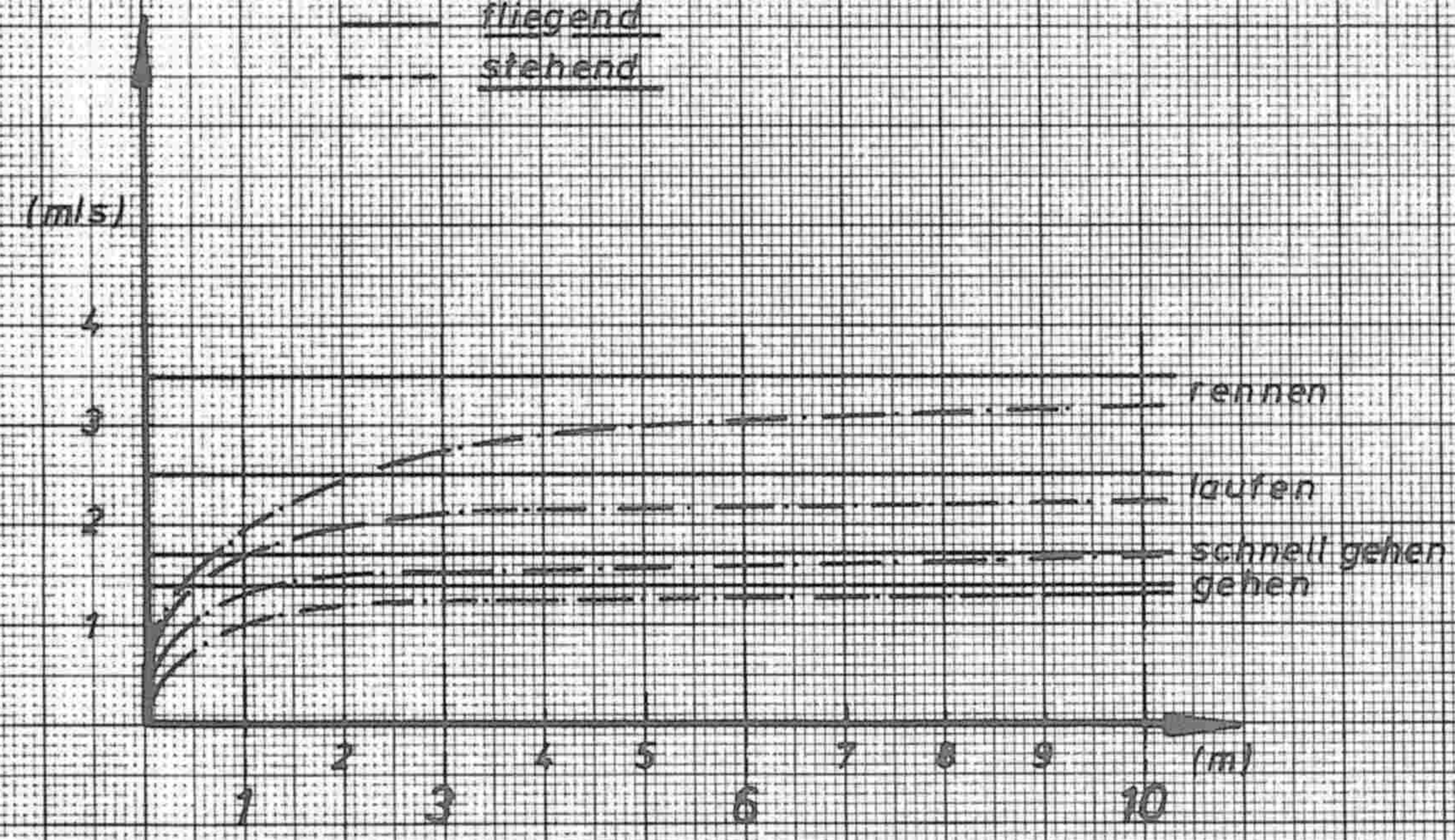
47 Liliputaner



Weg-Zeit-Diagramm

Größe: 1,24 m

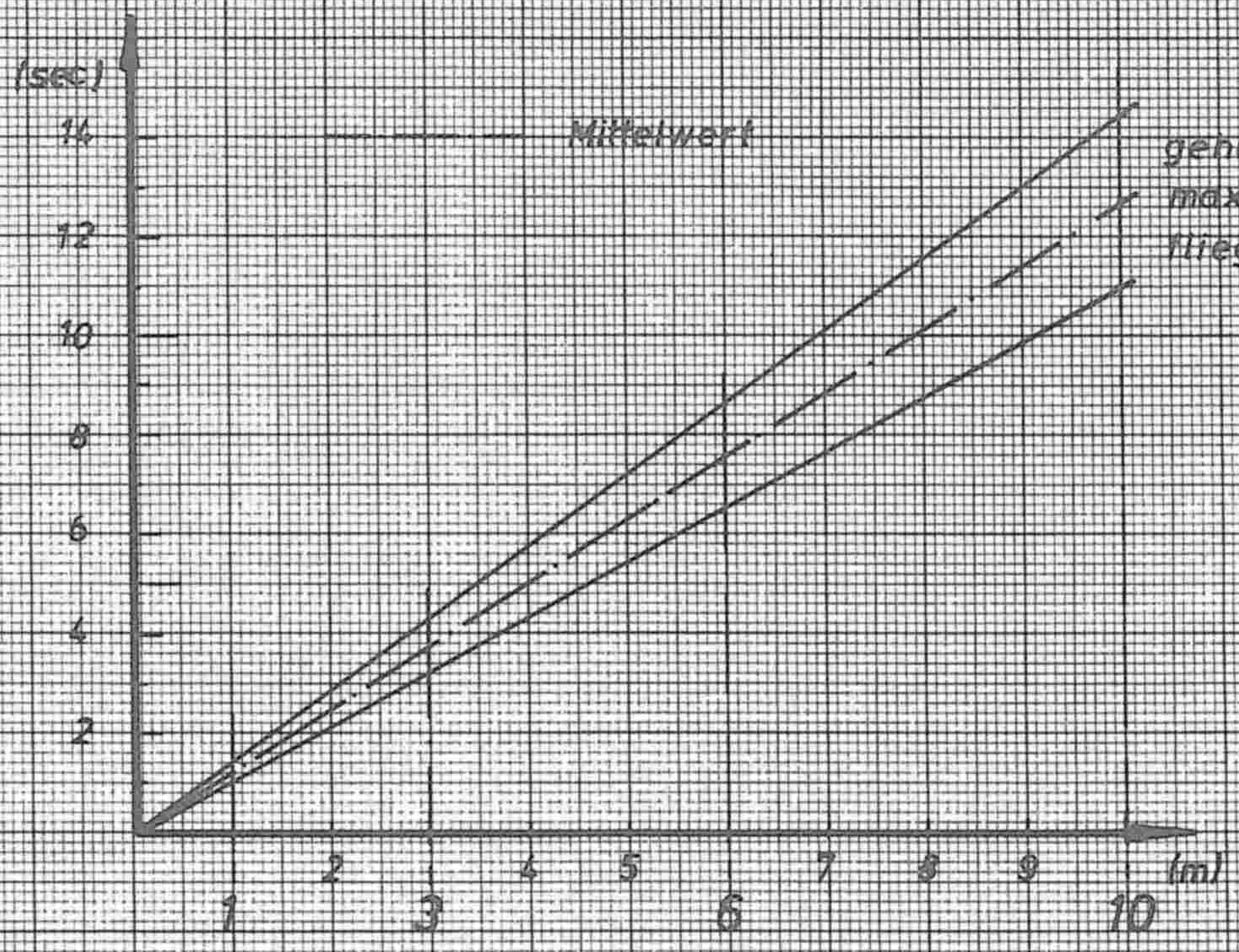
Gewicht: 47 kp



Weg-Geschwindigkeit [$\bar{v}$]

Meßergebnis von 2 Personen

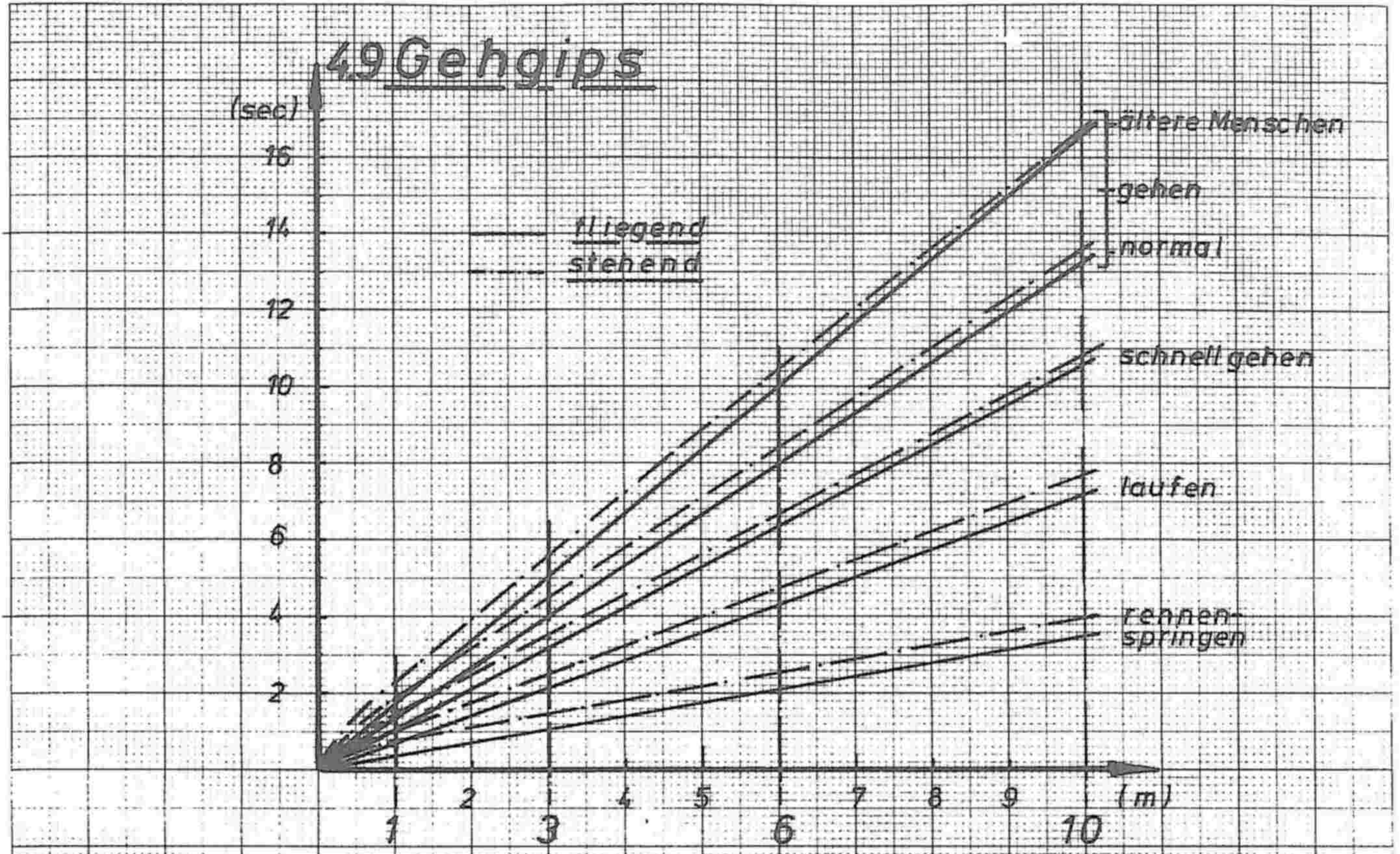
4.8 Gehbehinderte (mit Stock, Prothese etc.)



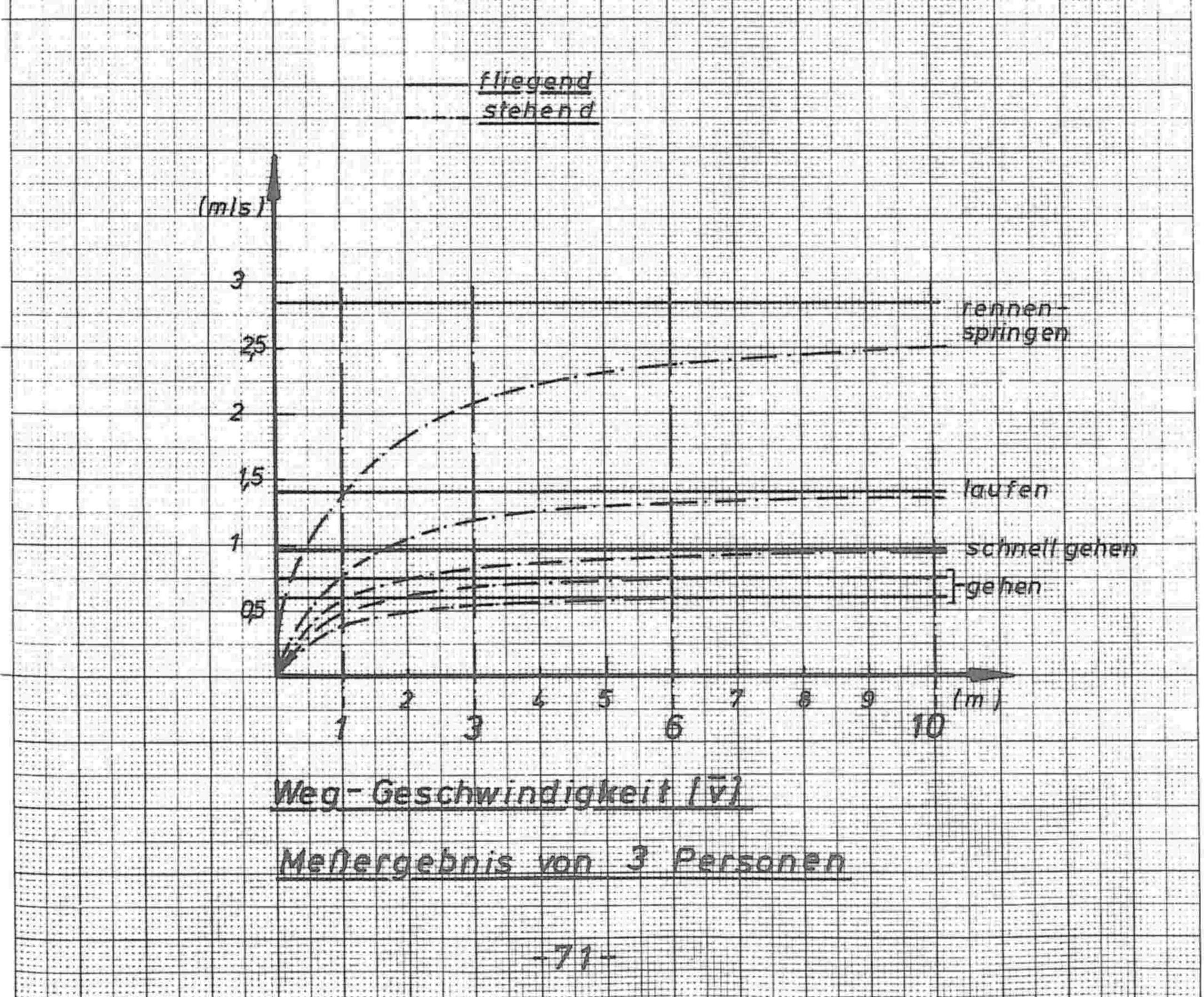
Weg - Zeit - Diagramm

Weg - Geschwindigkeit (v)

4.9 Gehgips

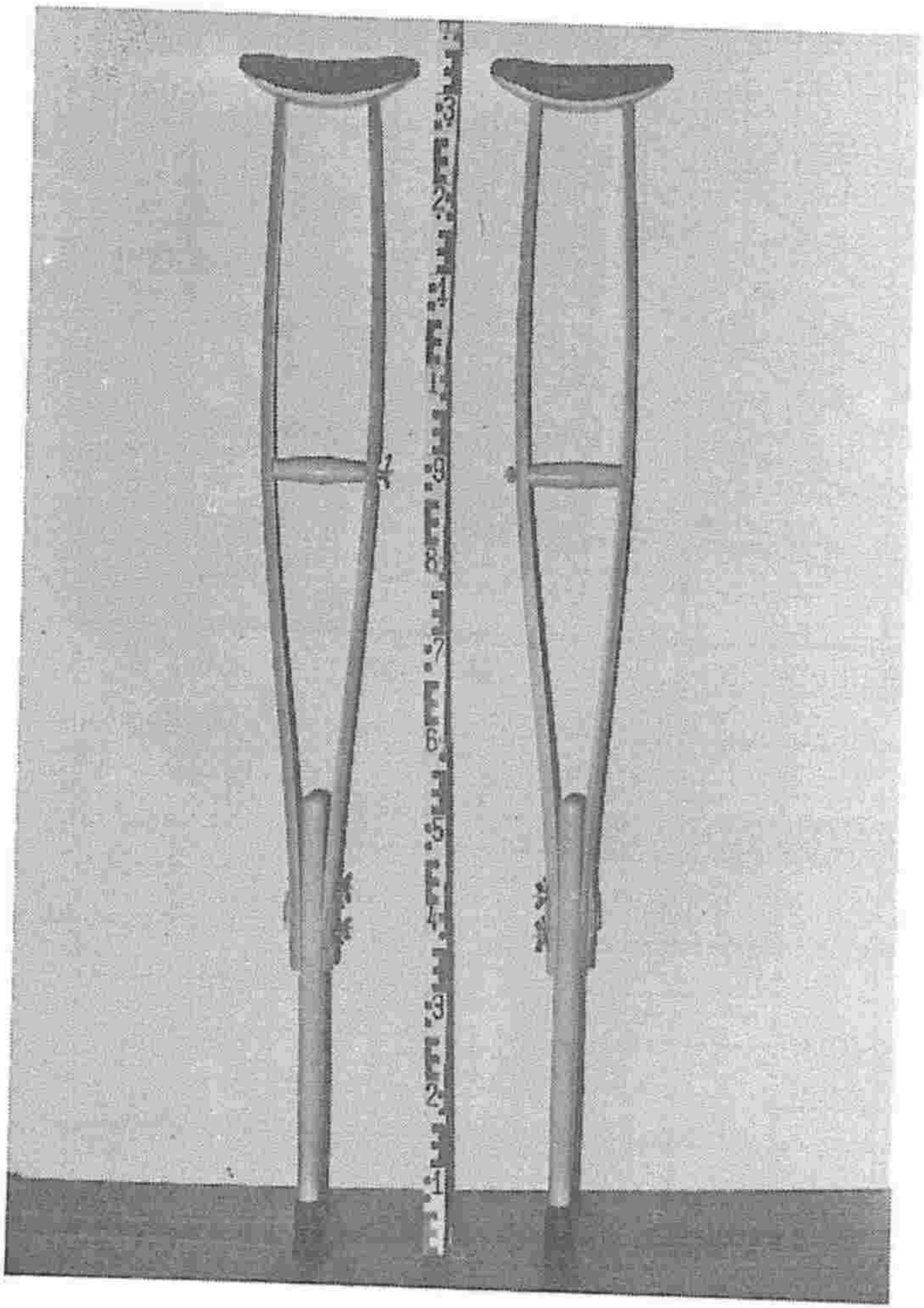


Weg-Zeit-Diagramm



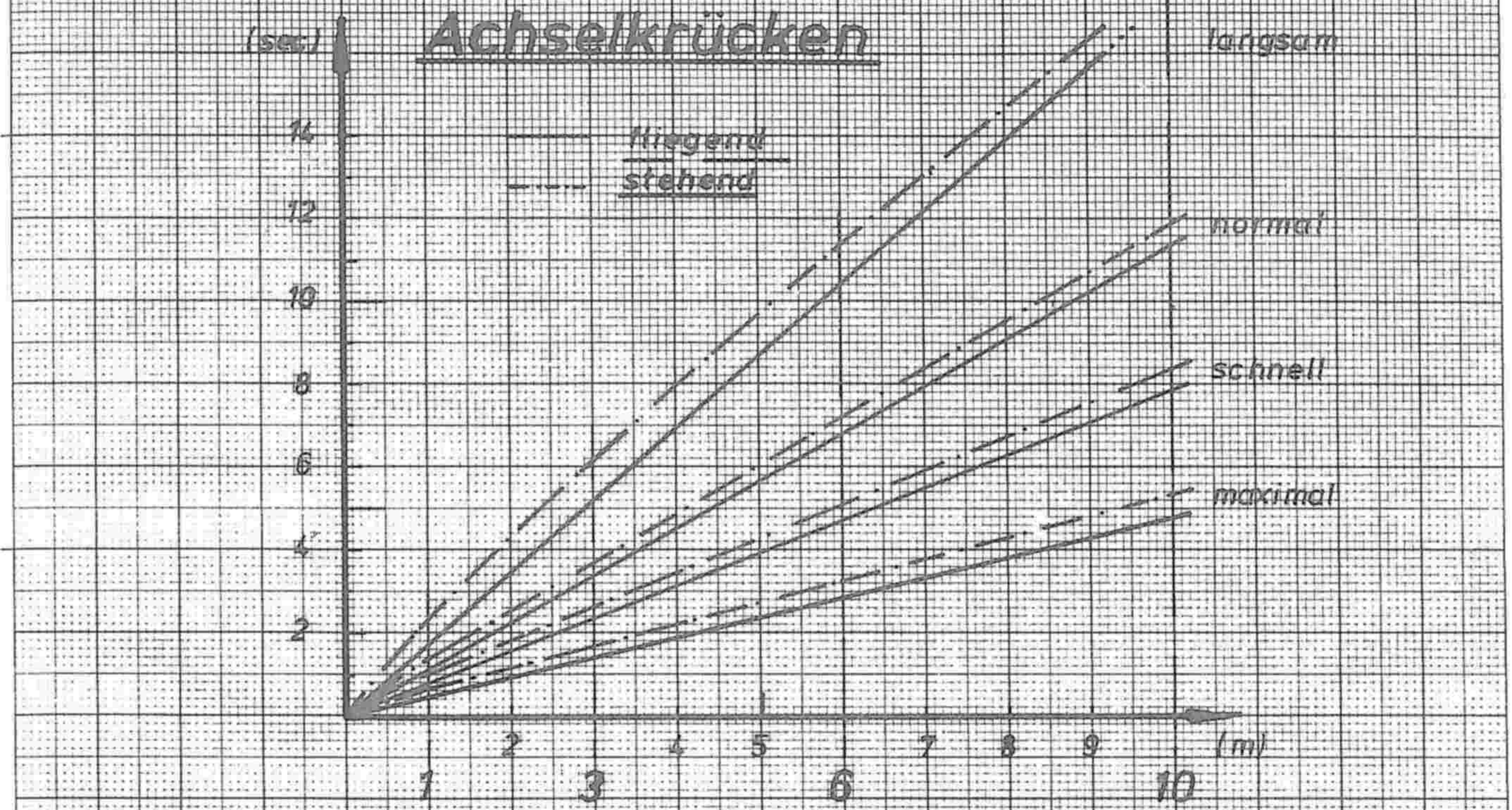
Weg-Geschwindigkeit [$\bar{v}$]

Meßergebnis von 3 Personen

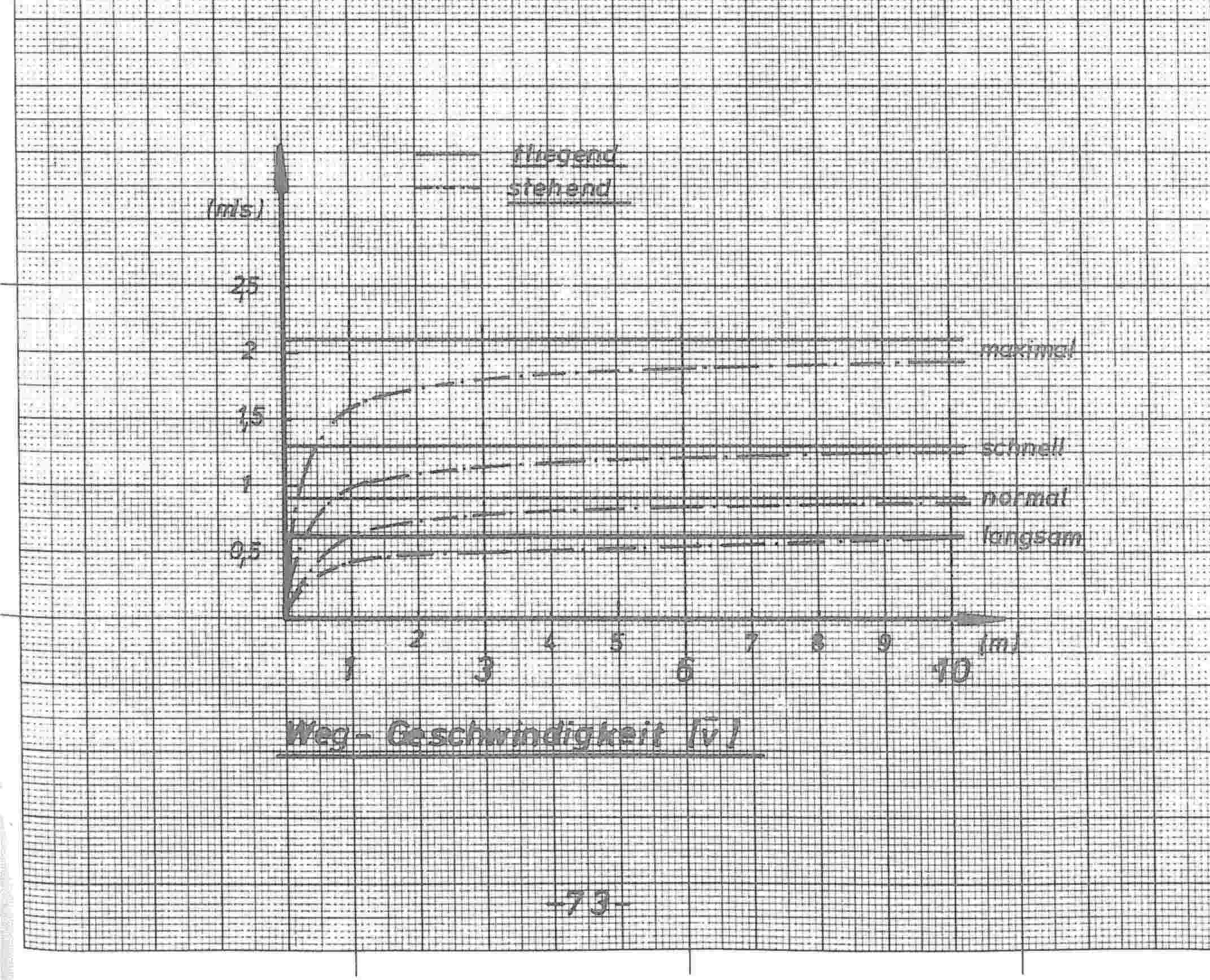


4.1o Fußgänger mit Achselkrücken

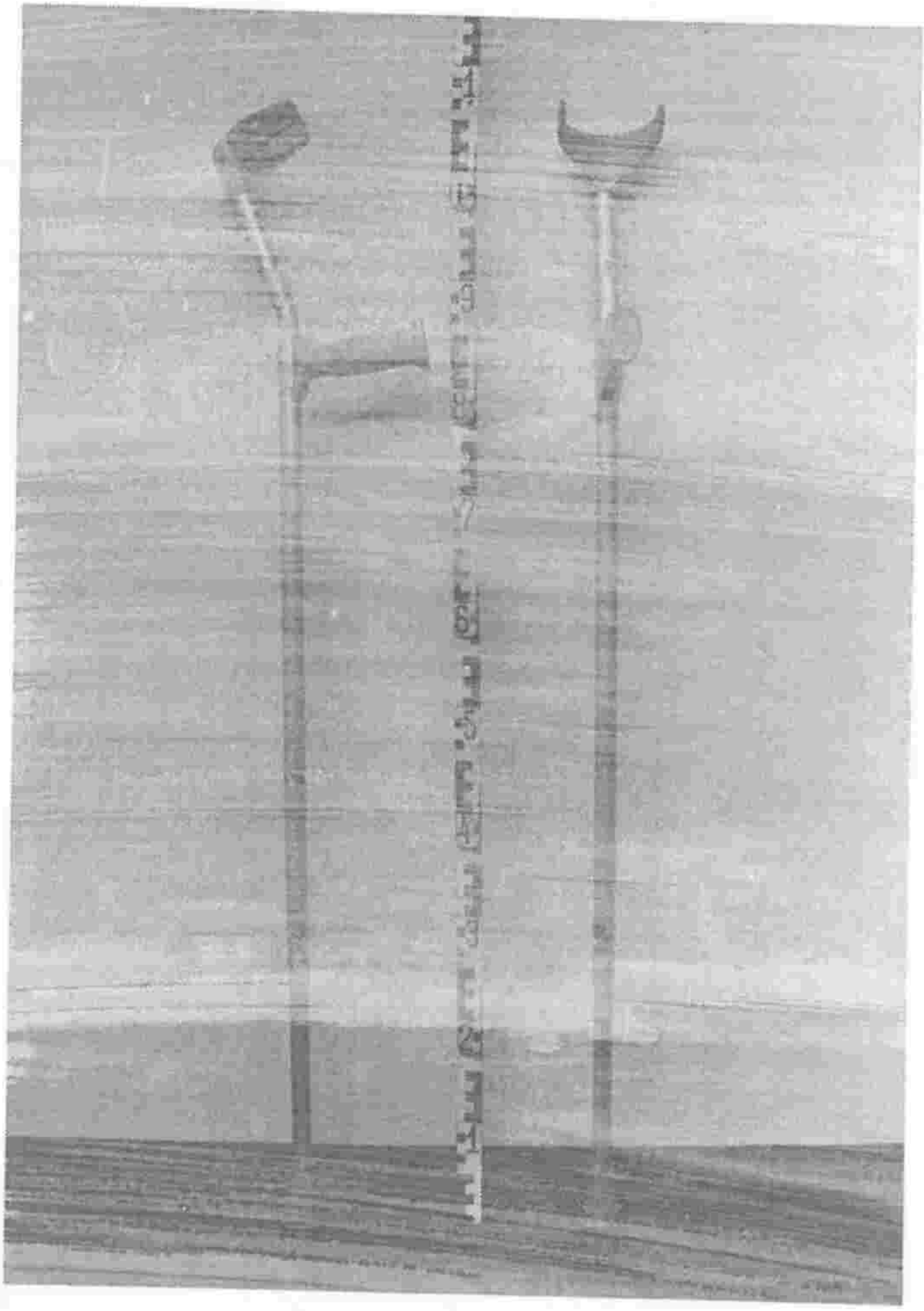
Achselkrücken



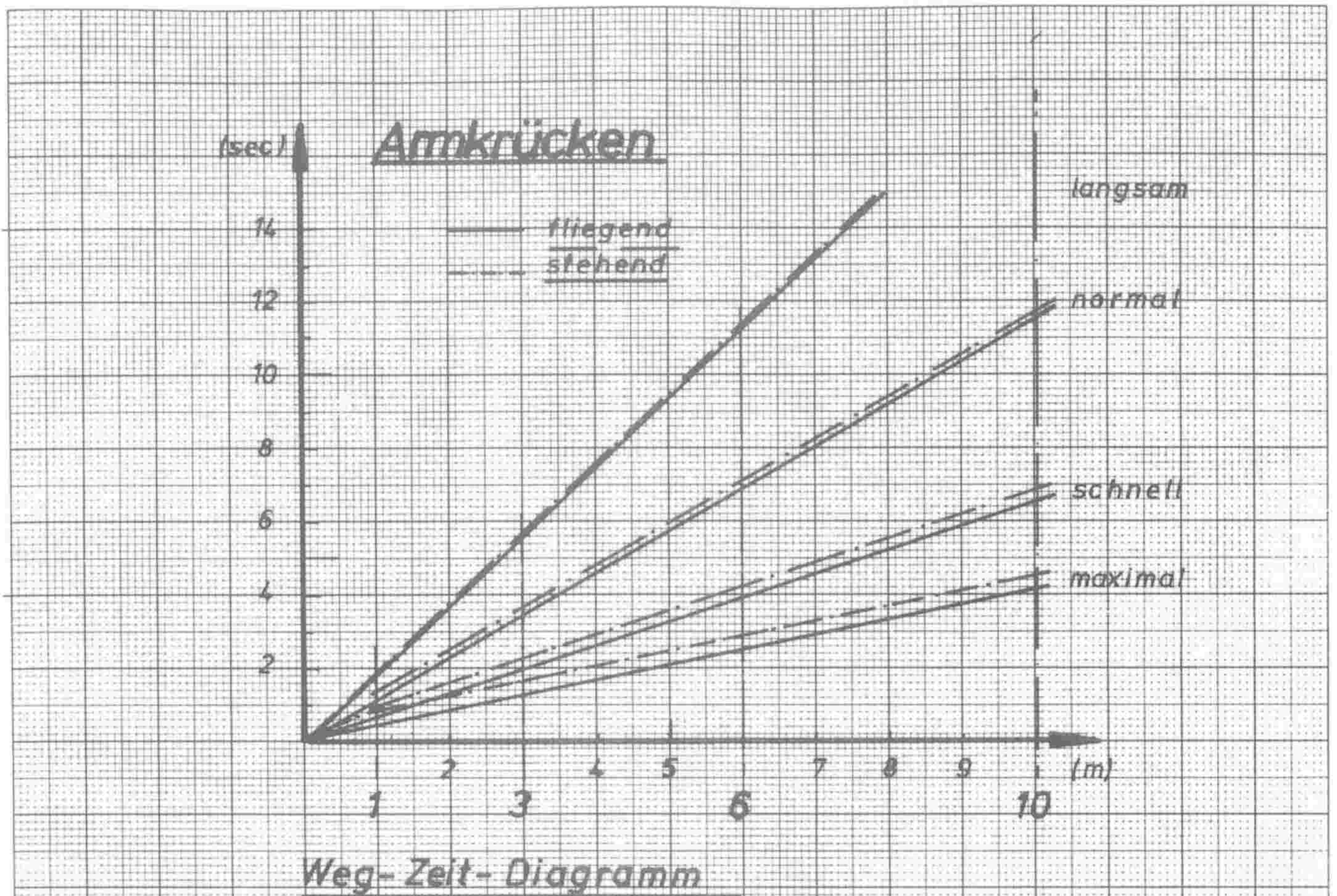
Weg-Zeit-Diagramm



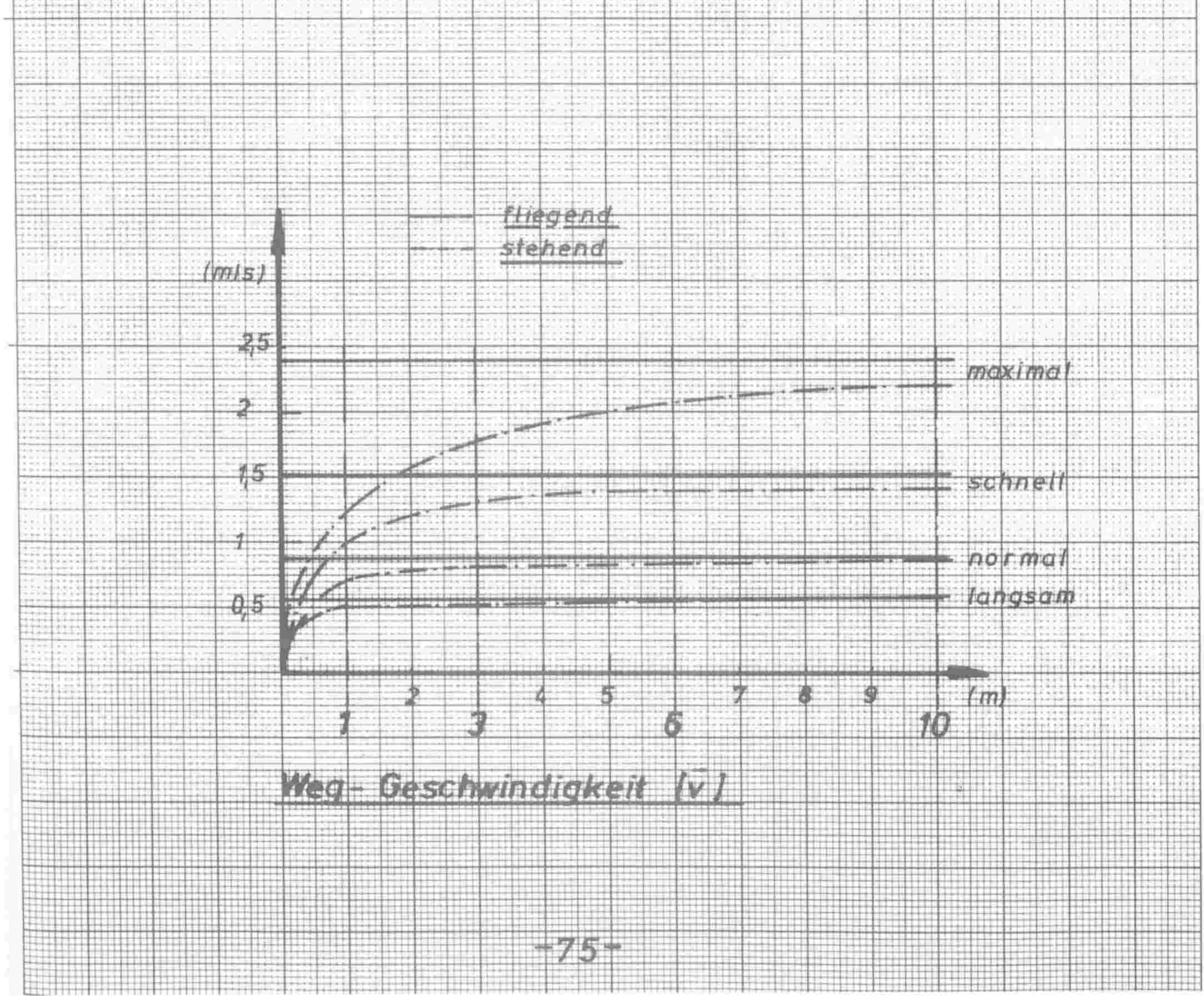
Weg- Geschwindigkeit (v)



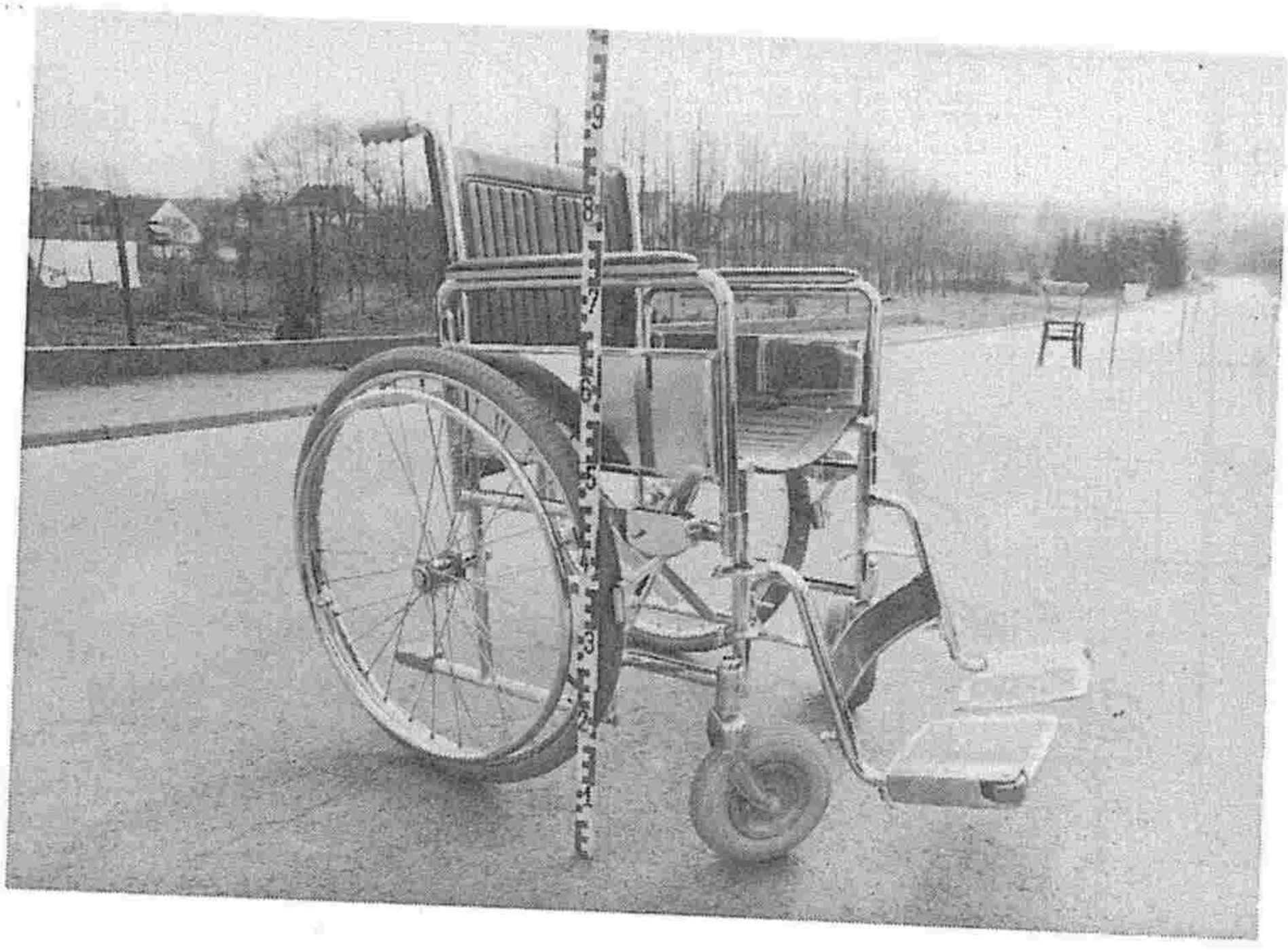
4.11 Fußgänger mit Armkrücken



Weg- Zeit- Diagramm



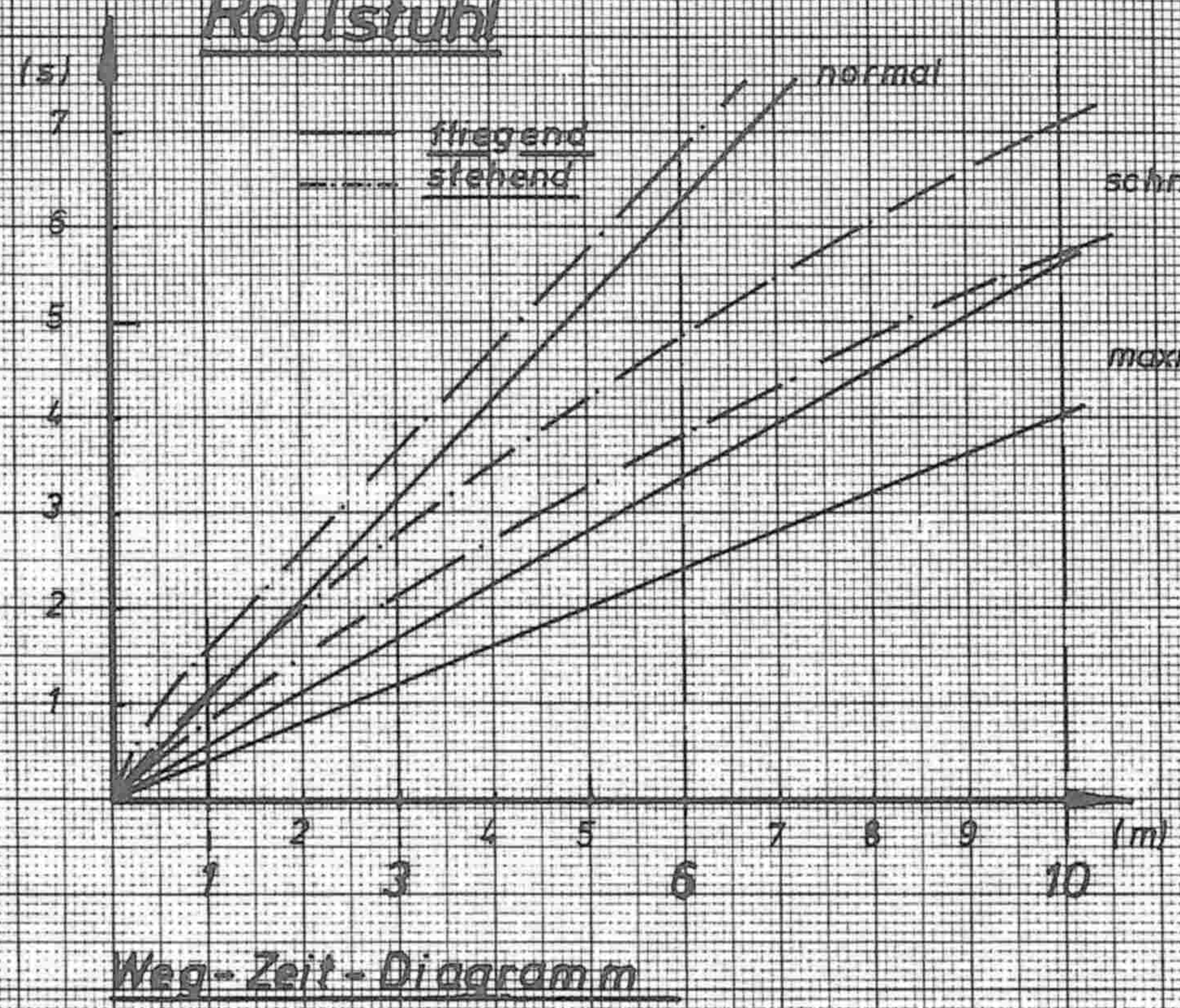
Weg- Geschwindigkeit ($\bar{v}$)



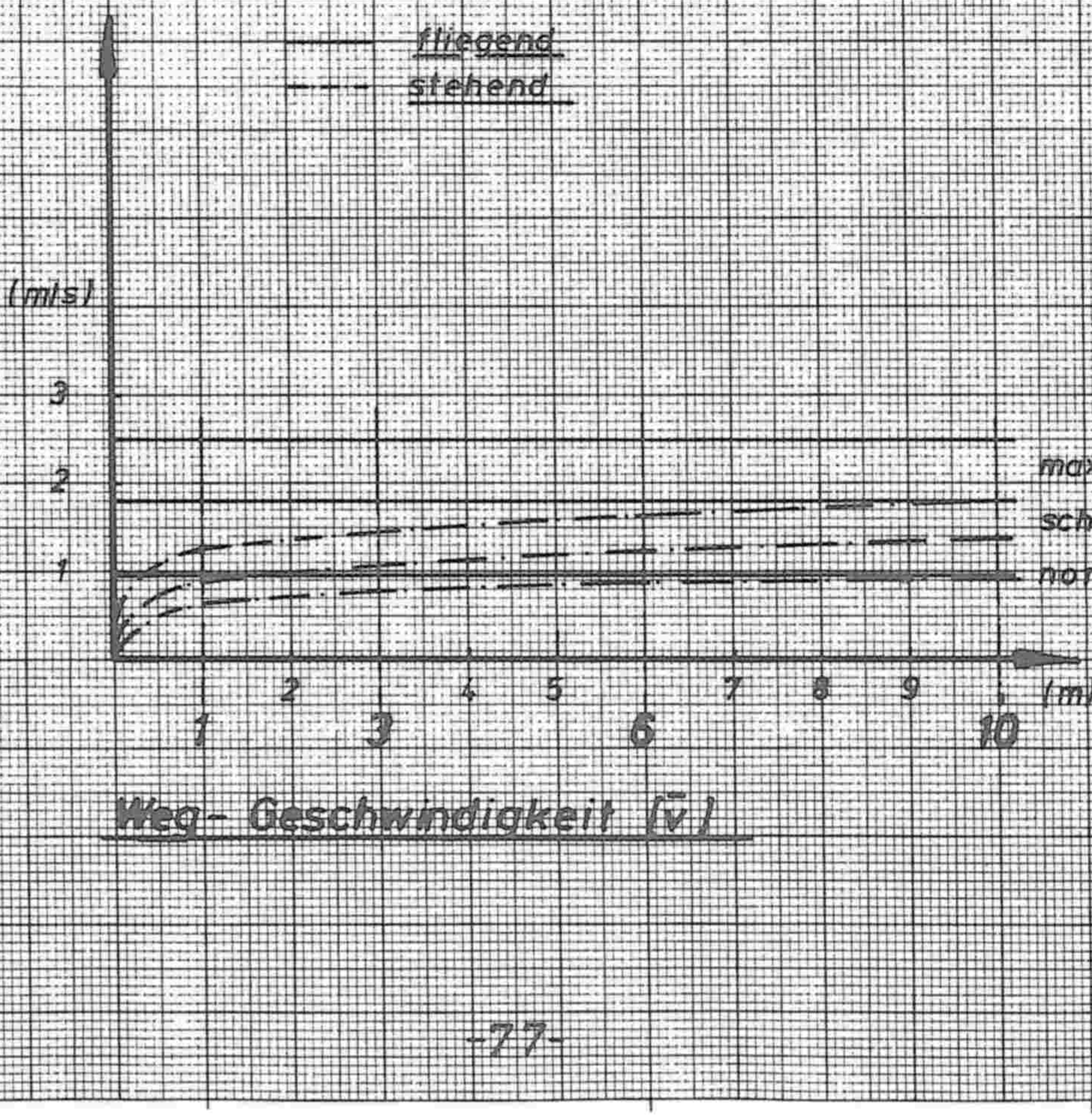
4.12 Rollstuhl

Hersteller	Fa. Orthopedia, Kiel
Reifengröße:	vorne: 37 x 54o (24 x 1,375)
	hinten: 2oo x 5o
Antrieb:	von Hand
Reifendurchmesser:	61o mm
Radstand:	5oo mm
Spurbreite:	56o mm
Griffhöhe:	5oo mm

Rollstuhl

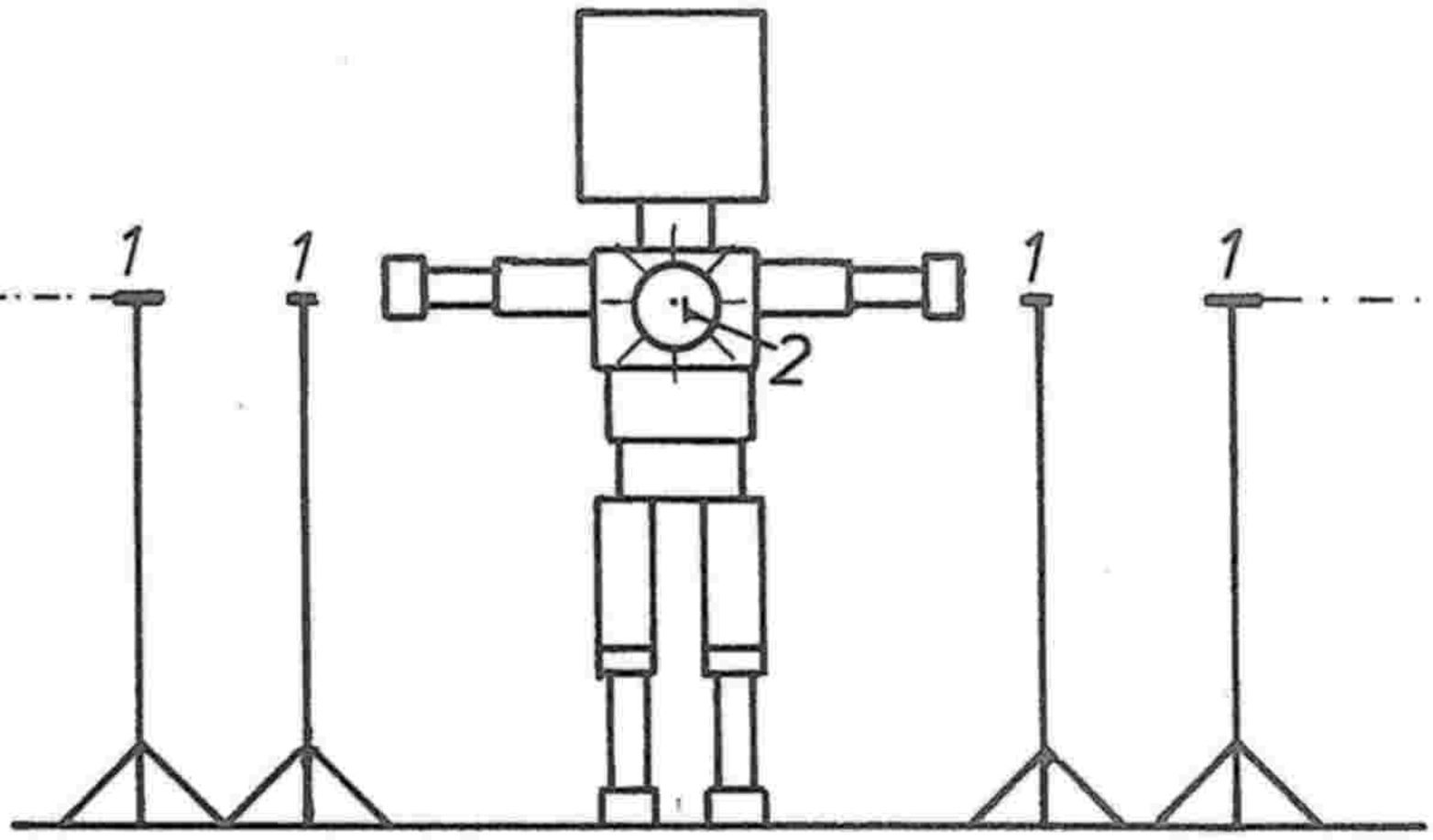


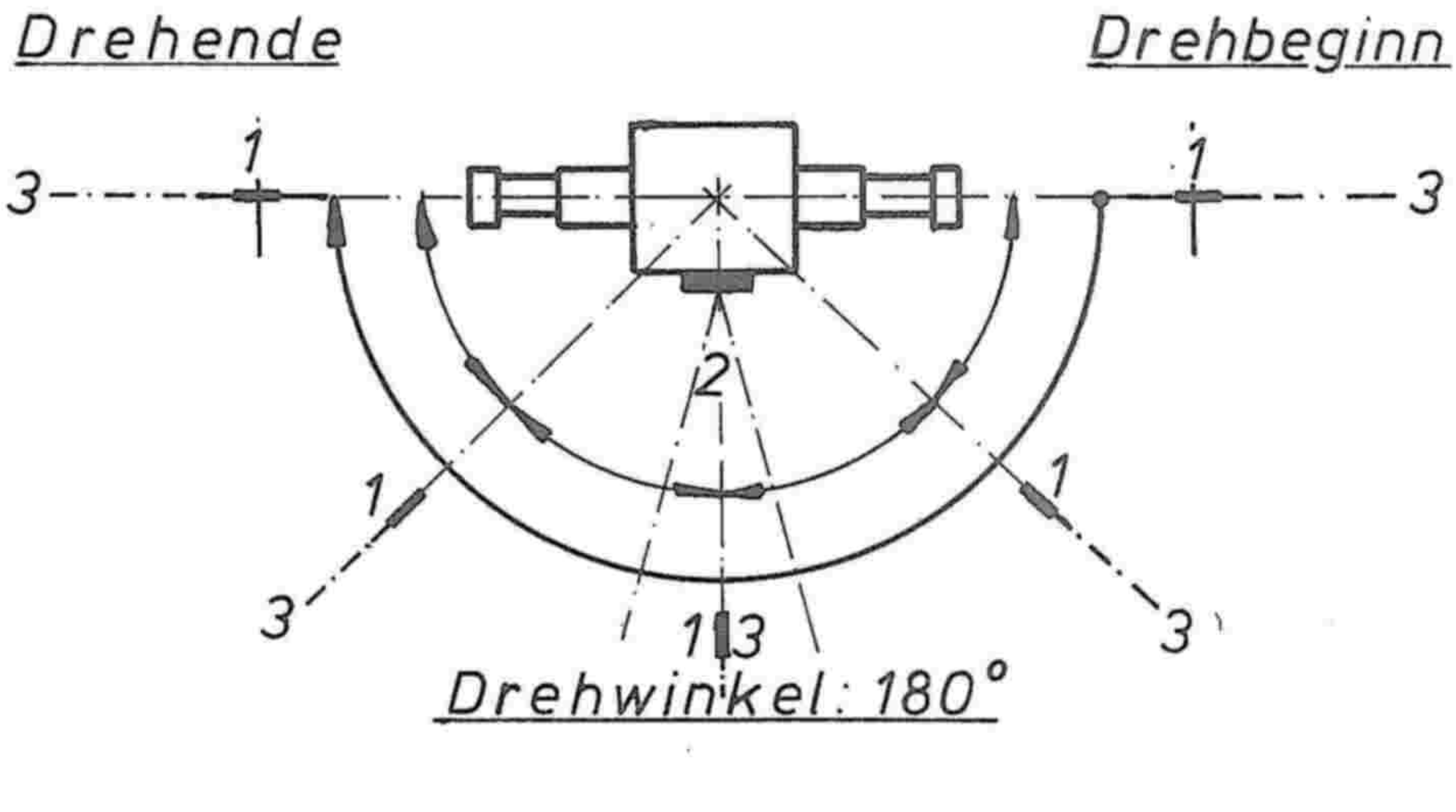
Weg - Zeit - Diagramm



Weg - Geschwindigkeit ($\bar{v}$)

4.13 Versuchsaufbau: Fußg.-Drehung





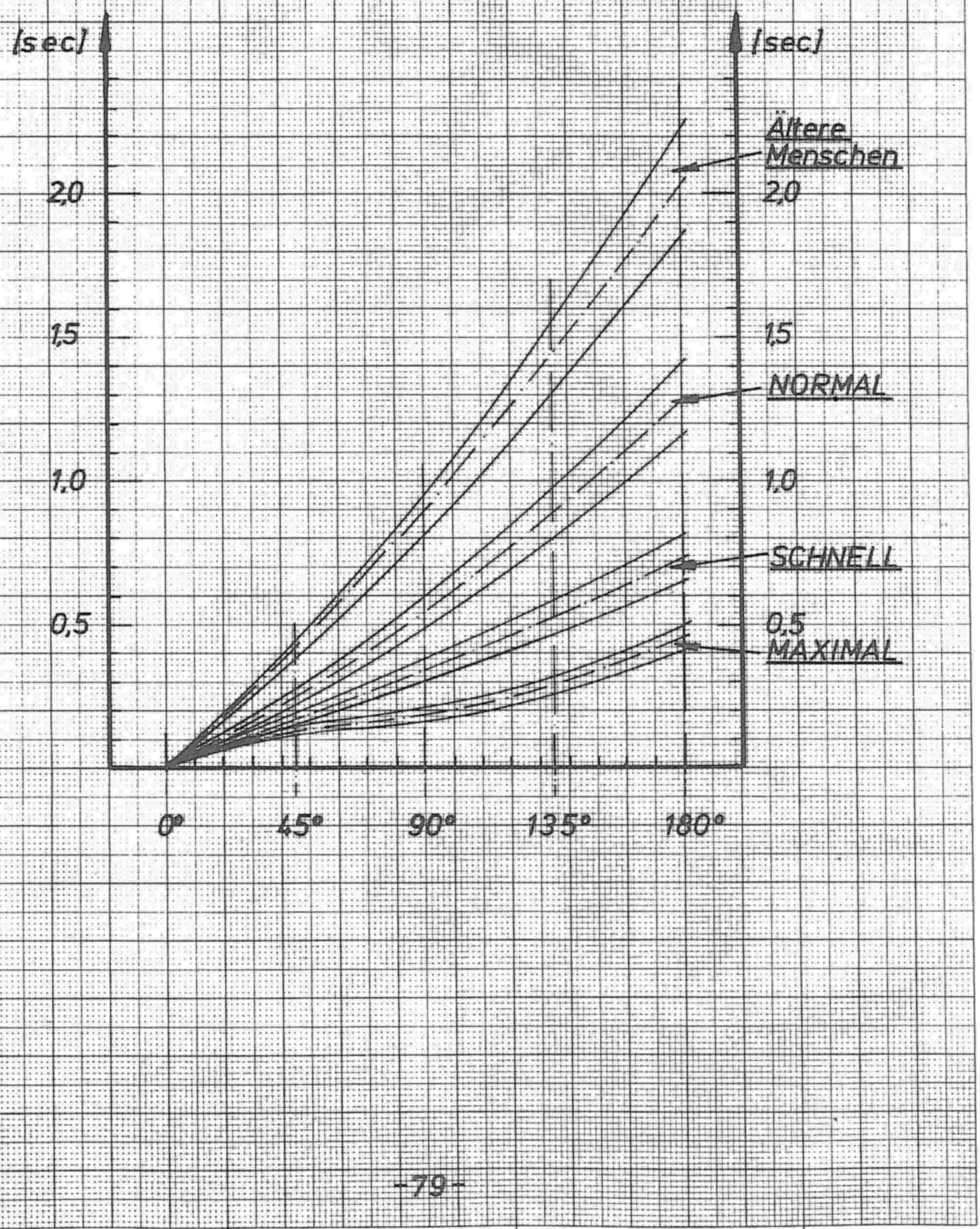
Drehwinkel: 180°

1 Lichtschranken

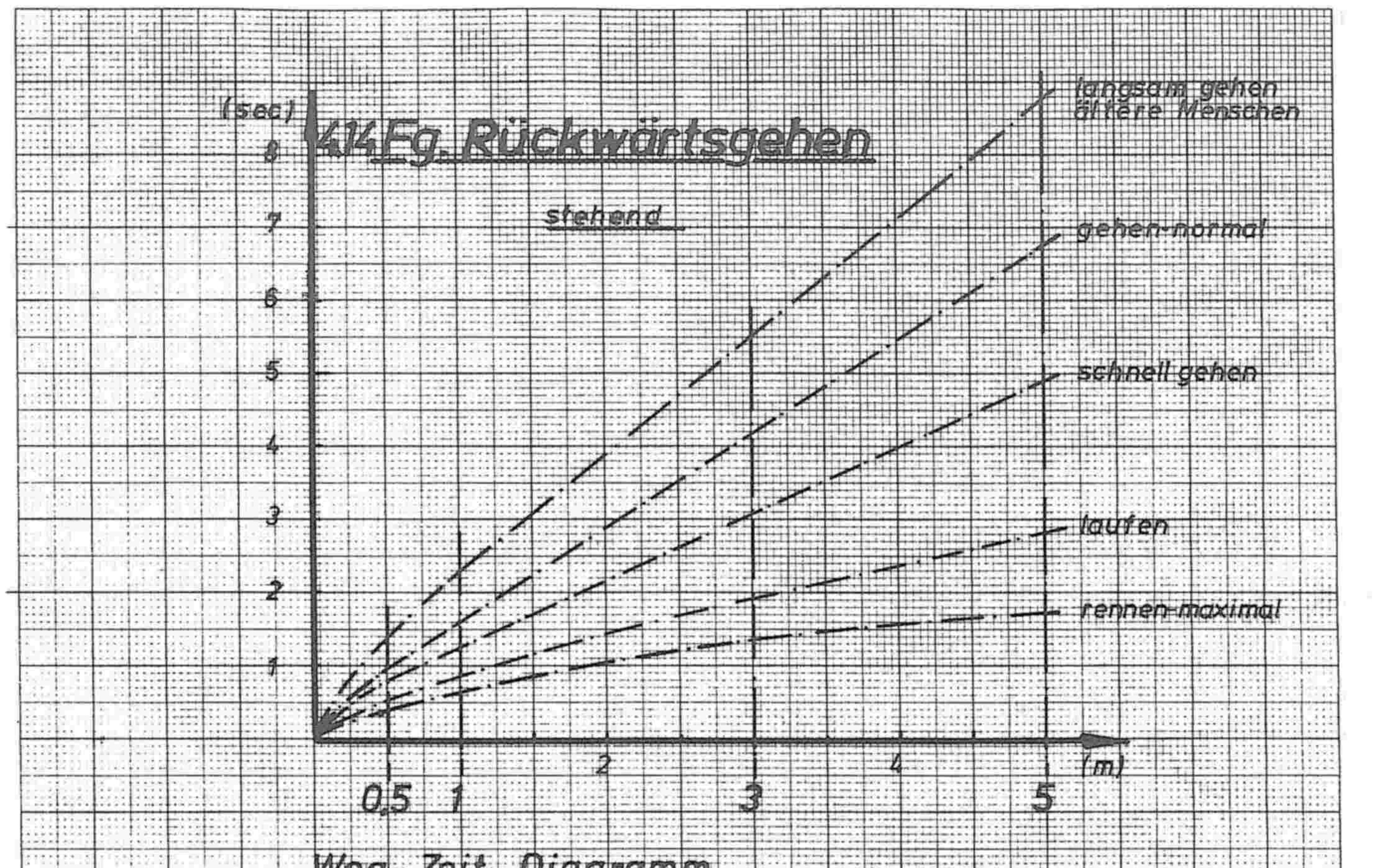
2 Lichtquelle

3 zur Meßeinheit

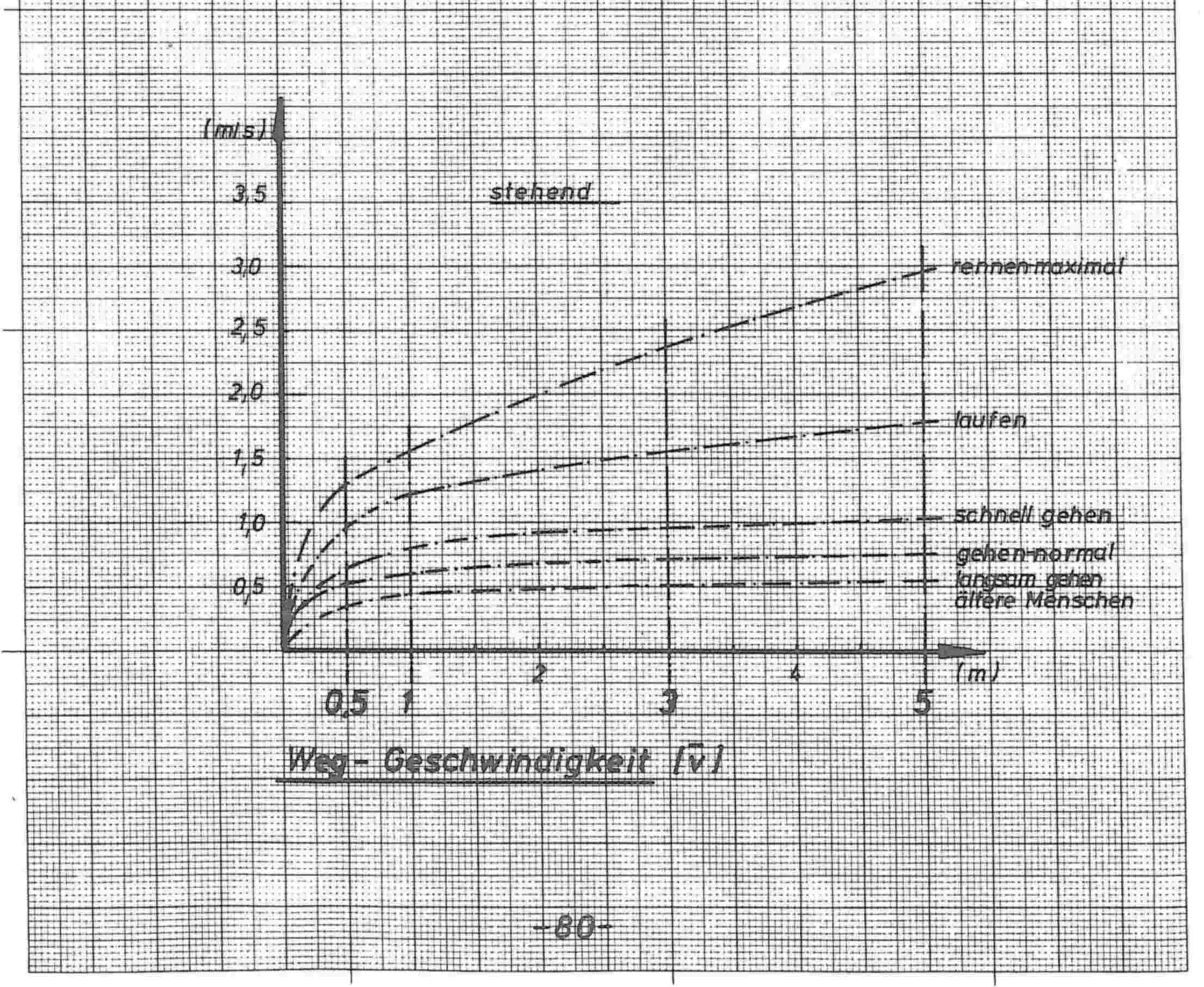
Fußgänger – Drehbewegung



4.14 Fg. Rückwärtsgehen



Weg- Zeit- Diagramm



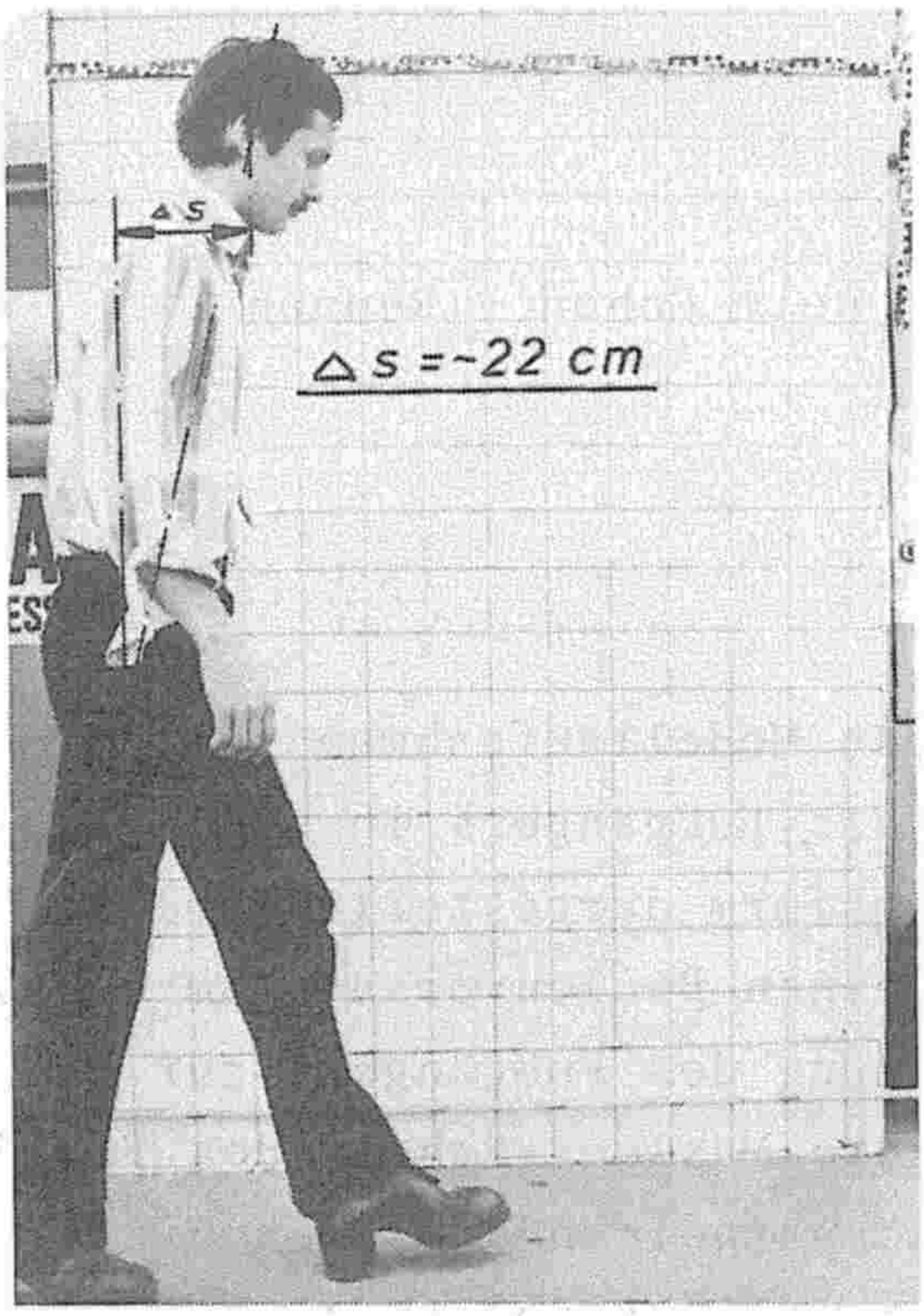
Weg- Geschwindigkeit [v]

4.15 Körperhaltung beim Gehen - Rennen

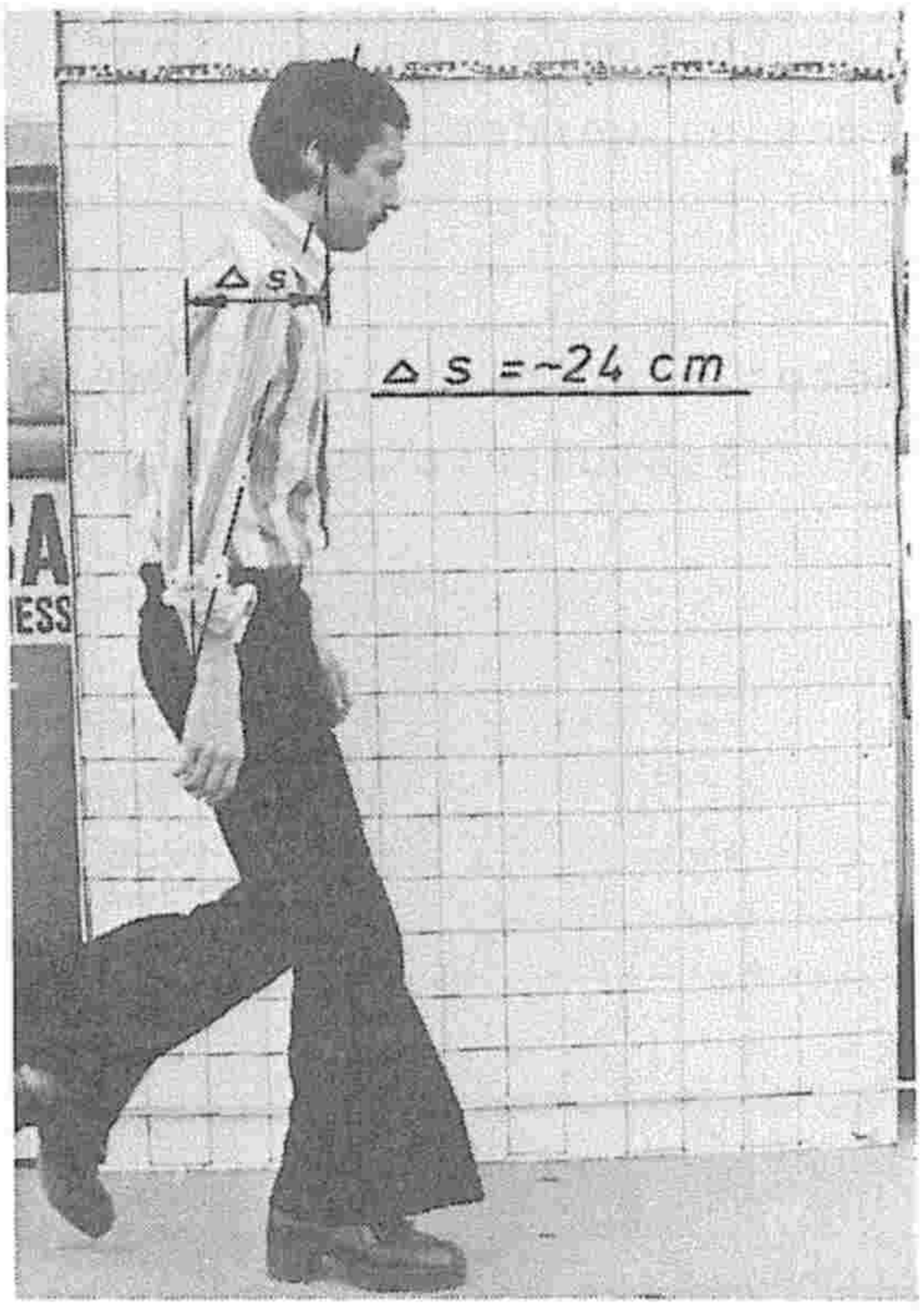
An den nachfolgenden Modellaufnahmen soll die Körperhaltung (Neigung) des Fußgängers in Abhängigkeit der jeweiligen Bewegungsform dargestellt werden. Es ist zu erkennen, daß für einen Beulenversatz am PKW-Vorbau bei vertikaler Gehrichtung des Fußgängers zur Fahrtrichtung des PKW nicht nur die Massenträgheit des Fußgängers, sondern auch die Körperneigung bei den einzelnen Bewegungsarten eine wesentliche Rolle spielt.

Die jeweilige Körperhaltung (Neigung) ist auf dem Rasterfeld von 1o x 1o cm im Bildhintergrund abgebildet. Der seitliche Versatz der Beckengegend zum Kopf kann aus dem Rasterfeld herausgemessen werden.

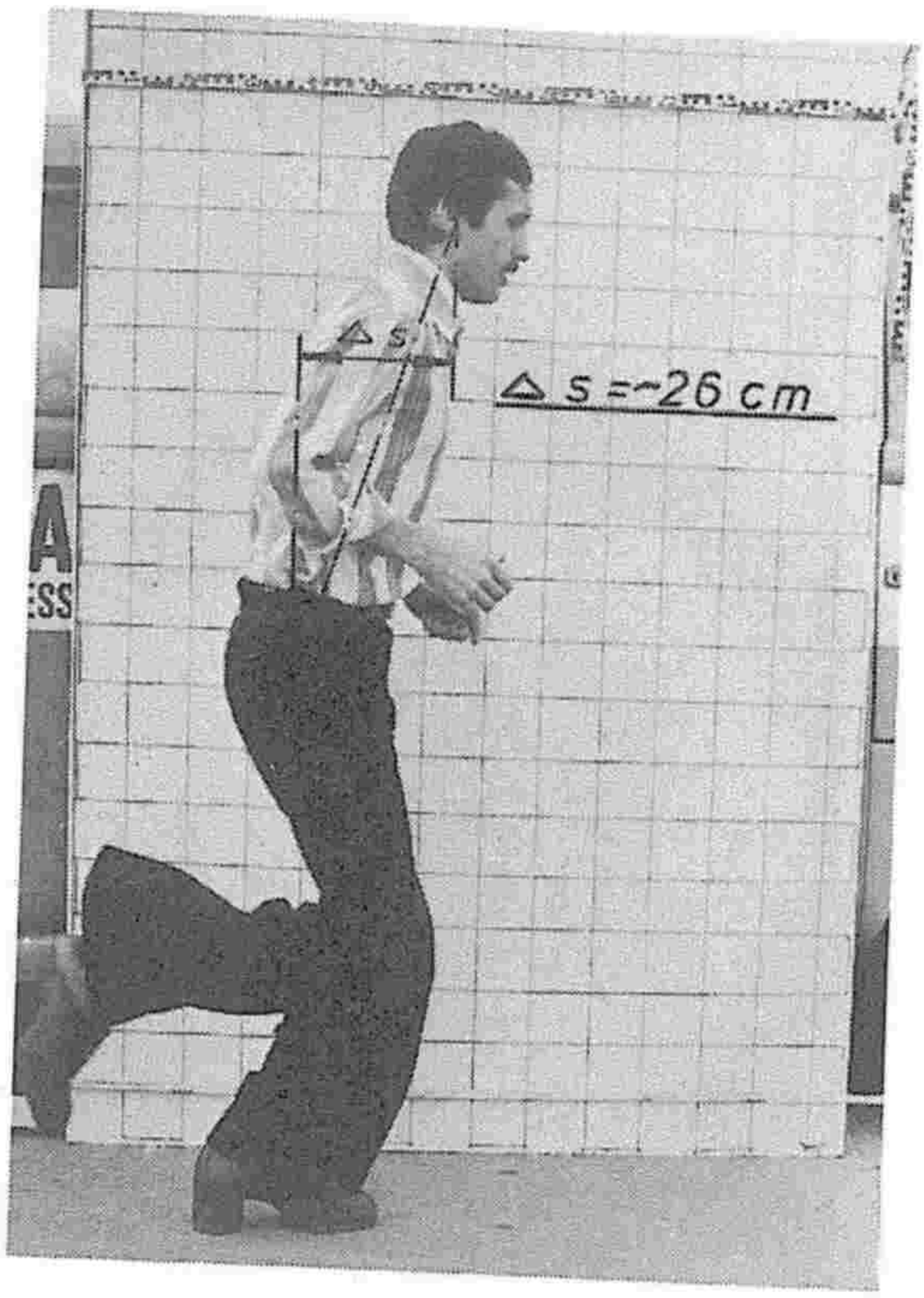
Die nachfolgenden Fotos der jeweiligen Bewegungsart wurden mit einer Kameraverschlußzeit von 1/1ooo sek aufgenommen.



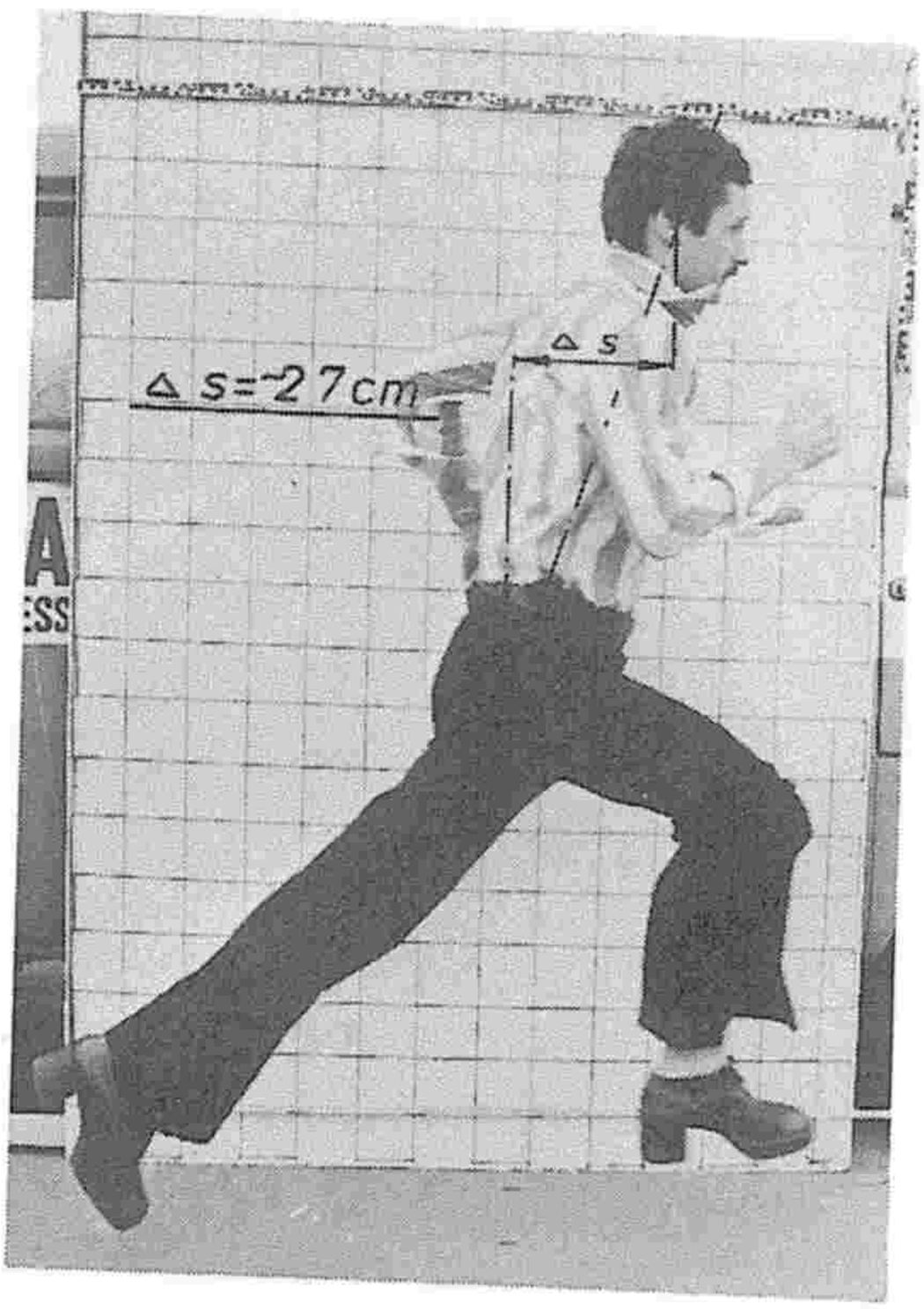
Körperhaltung: fliegender Start - Gehen (v = 1,2 m/sek)



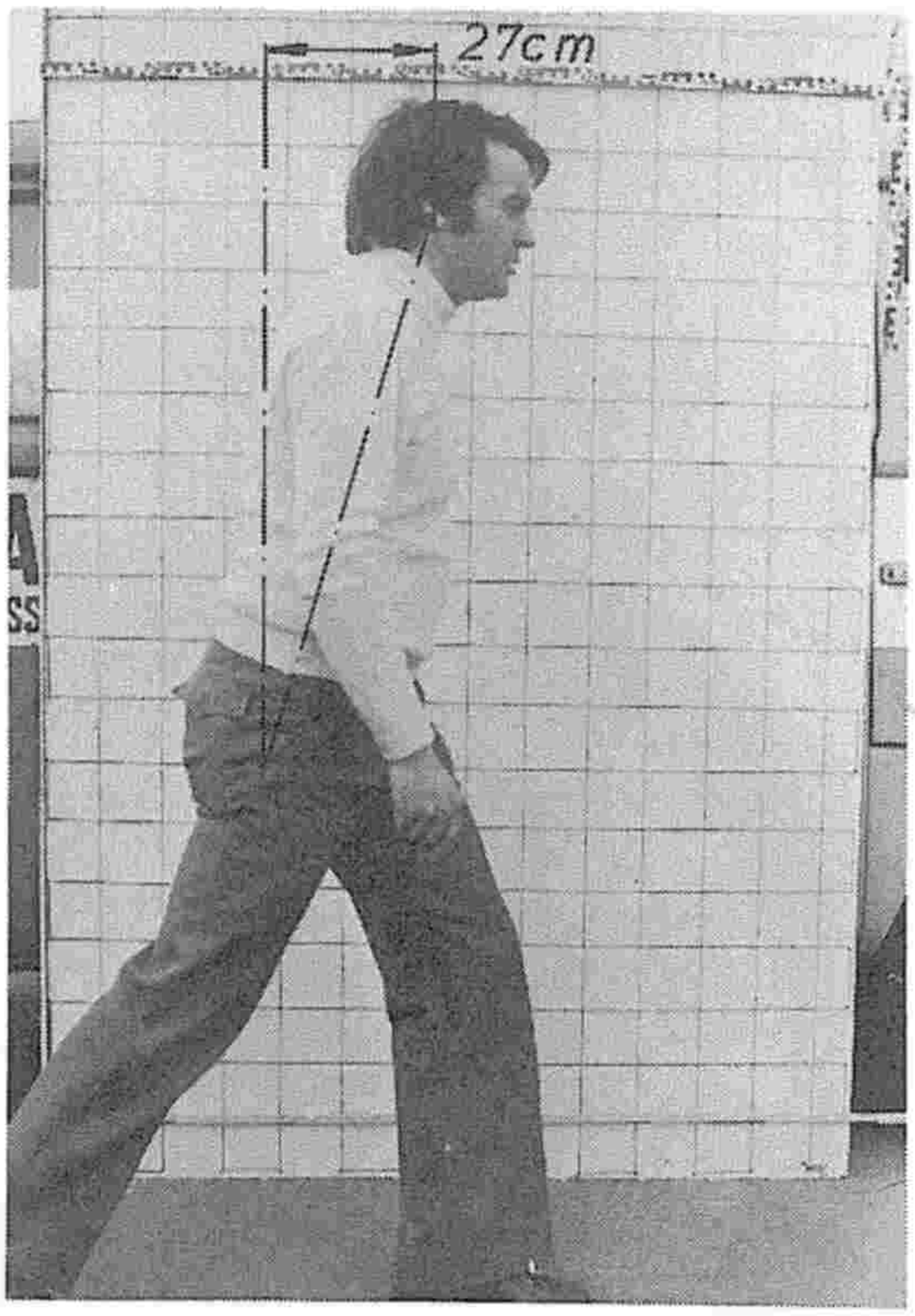
Körperhaltung: fliegender Start - schnell Gehen (v = 1,6 m/sek)



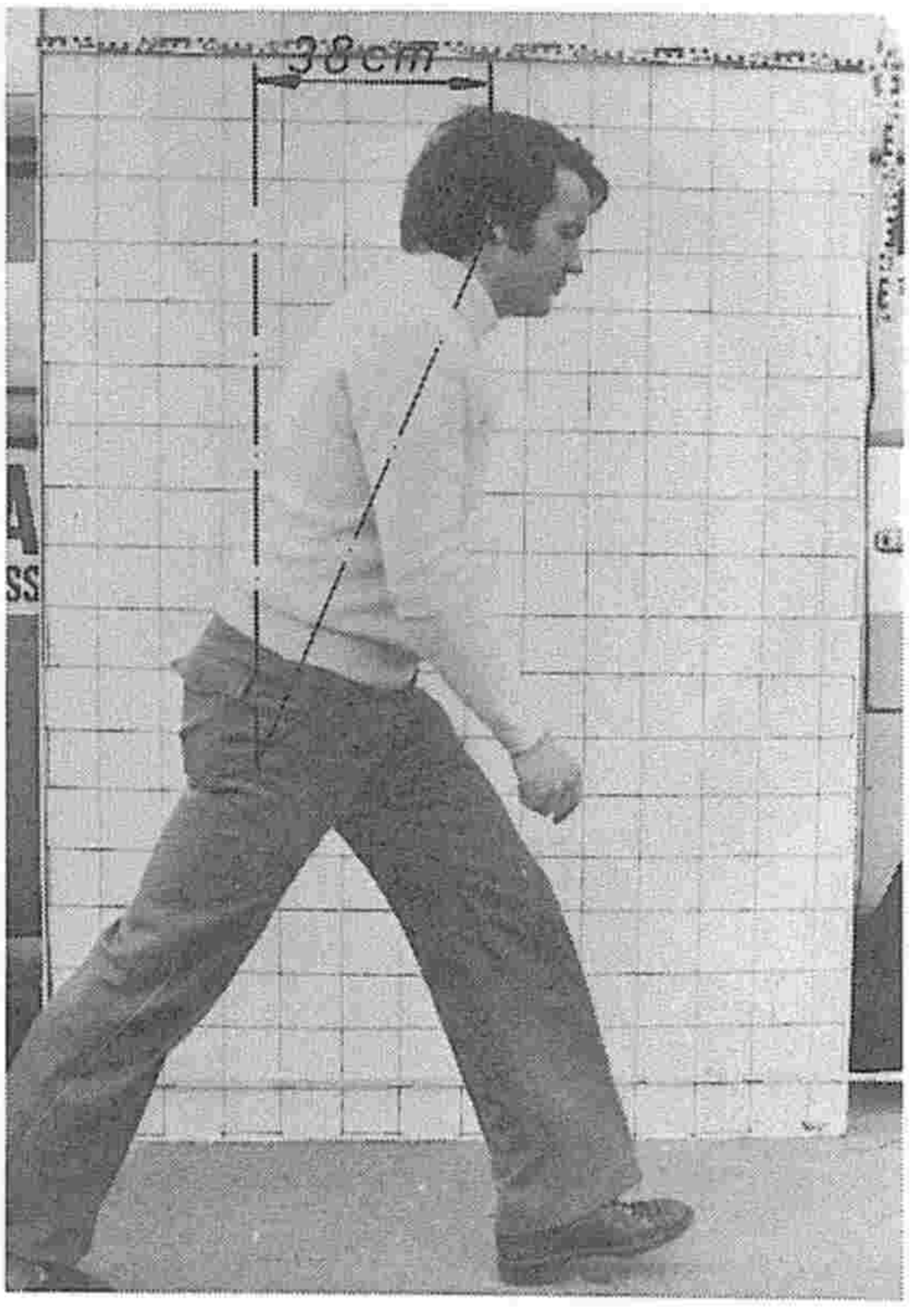
Körperhaltung: fliegender Start - Laufen (v = 4,o m/sek)



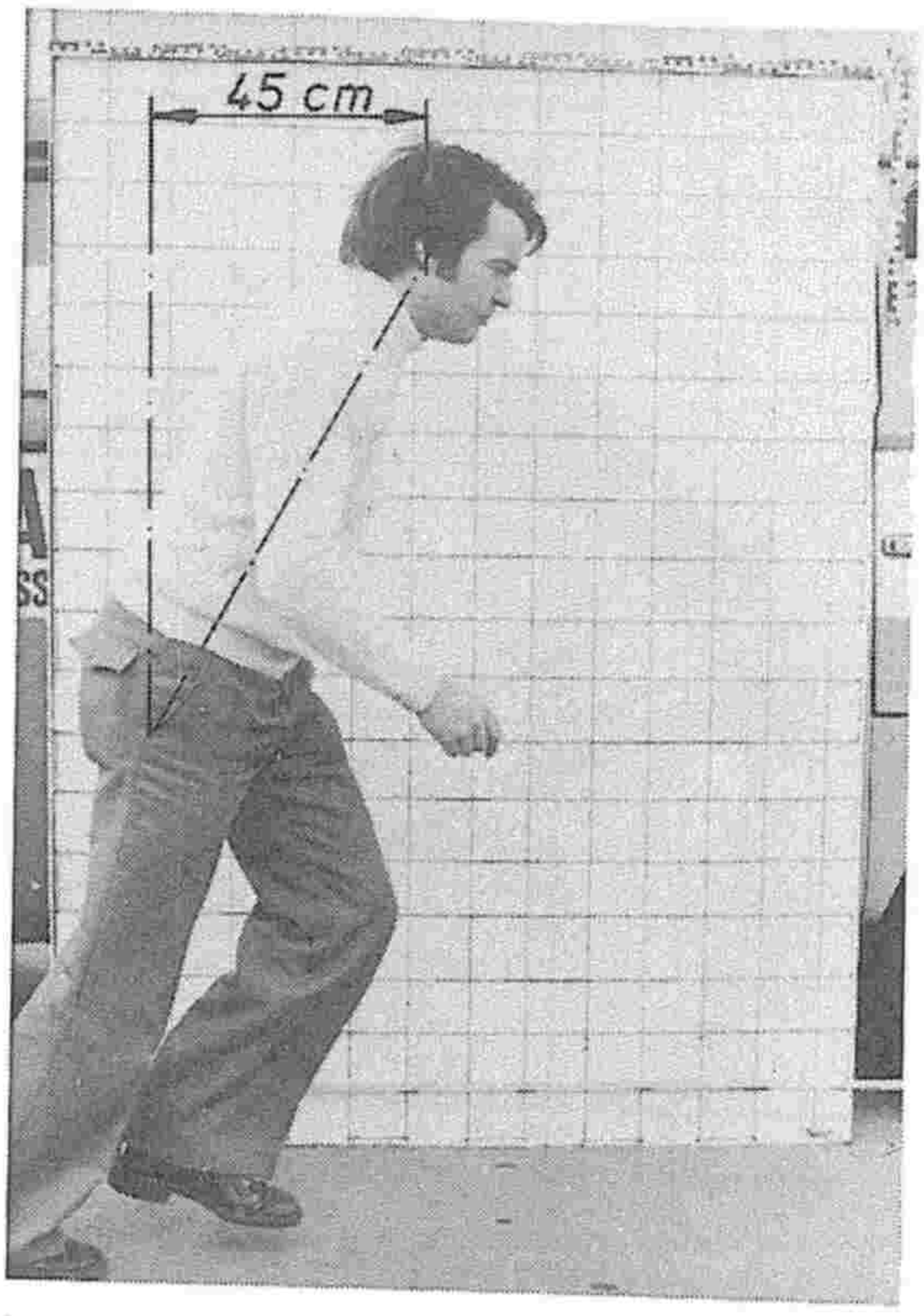
Körperhaltung: fliegender Start - Rennen (v = 6,5 m/sek)



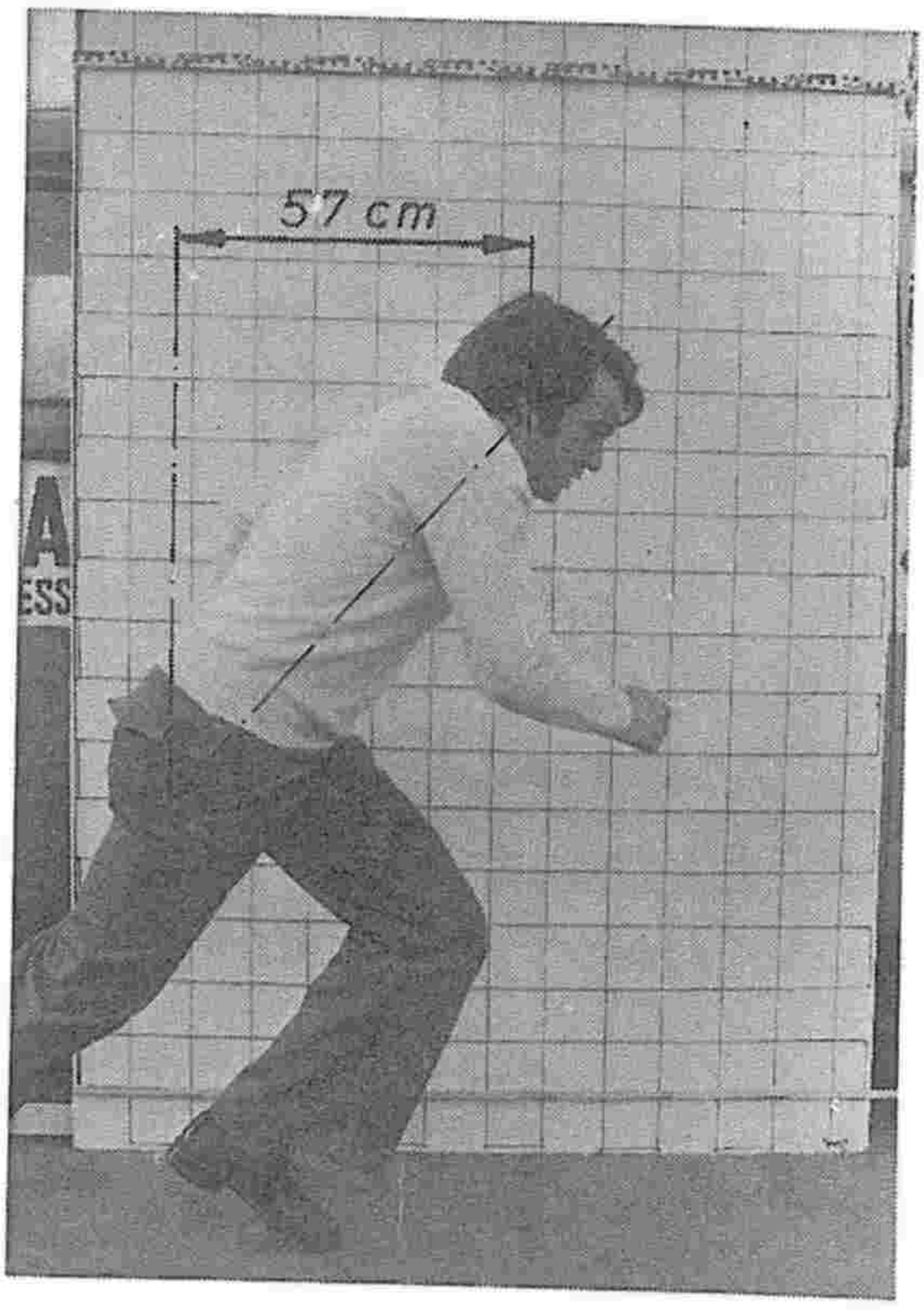
Körperhaltung: stehender Start - Gehen



Körperhaltung: stehender Start - schnell Gehen

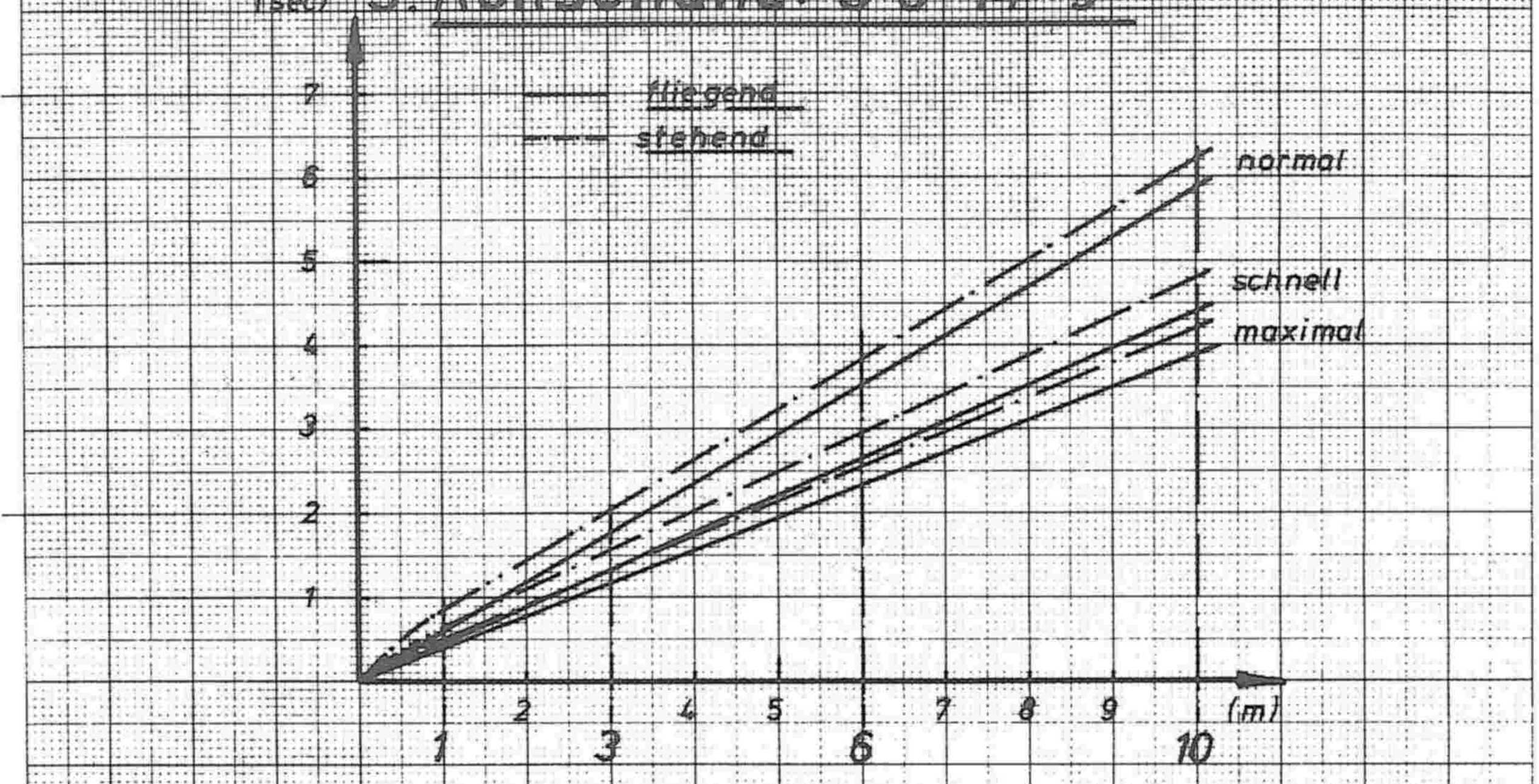


Körperhaltung: stehender Start - Laufen

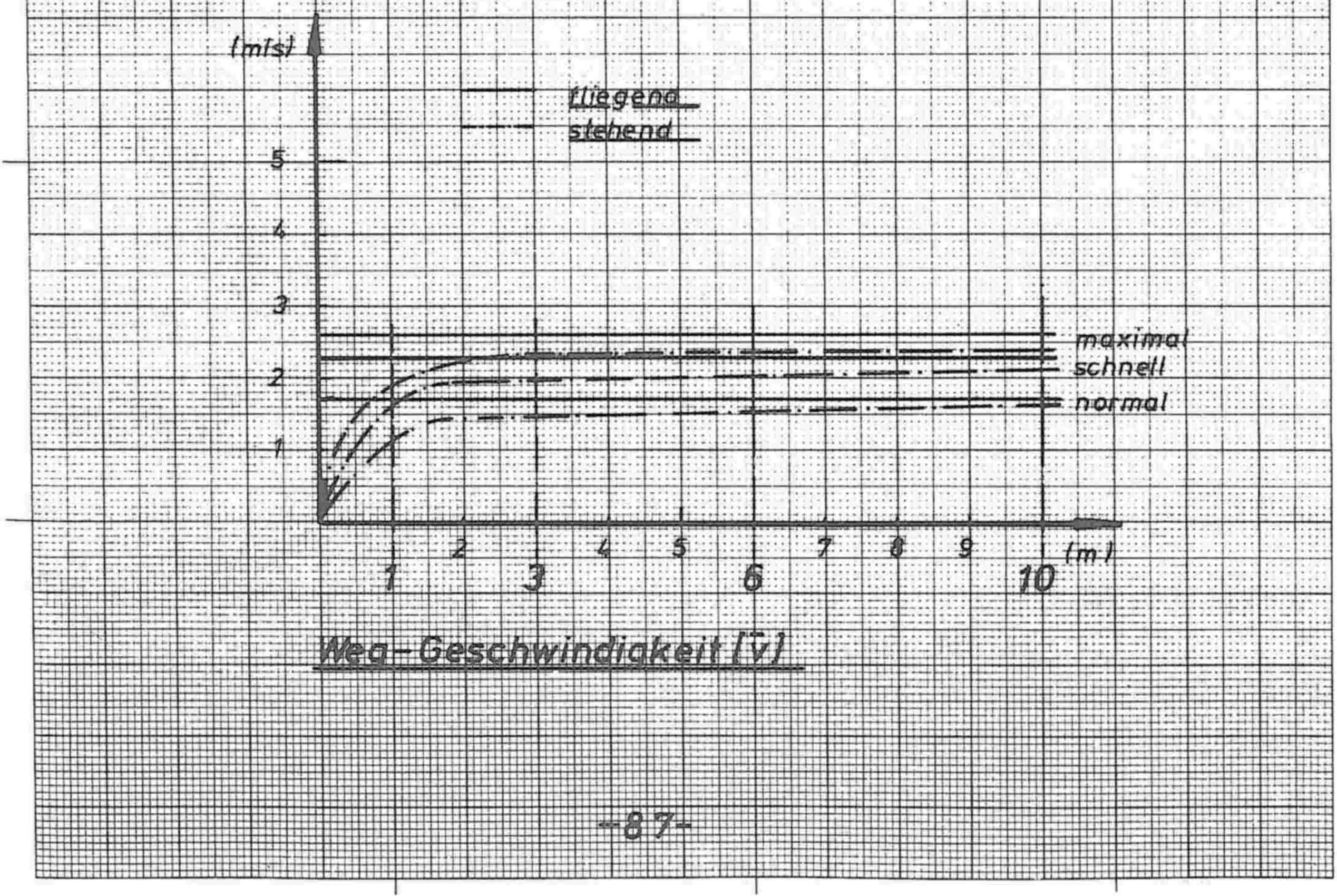


Körperhaltung: stehender Start - Rennen

5. Rollschuhe: 5-6 M+J

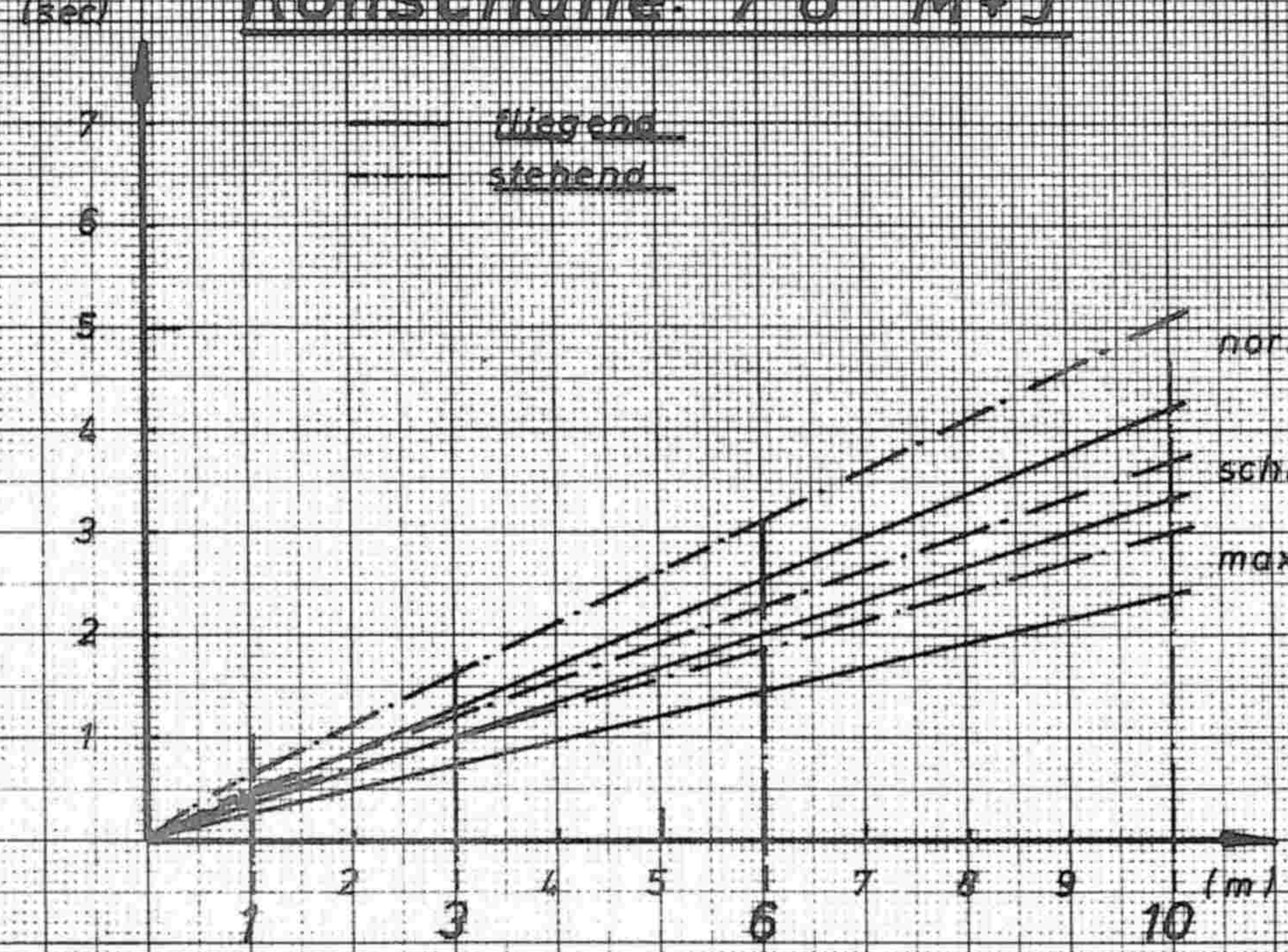


Weg-Zeit-Diagramm



Weg-Geschwindigkeit [$\bar{v}$]

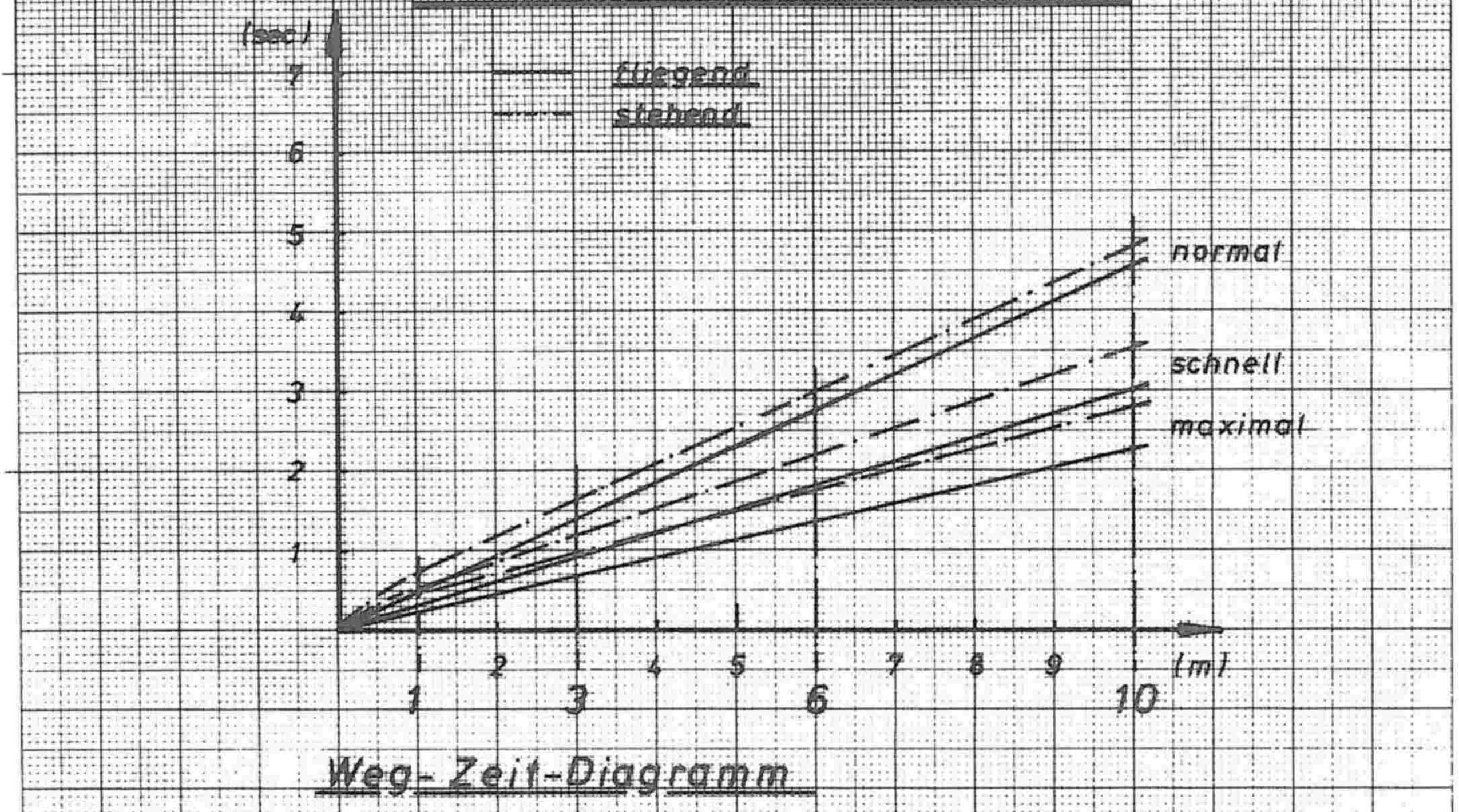
Rollschuhe: 7-8 M + J



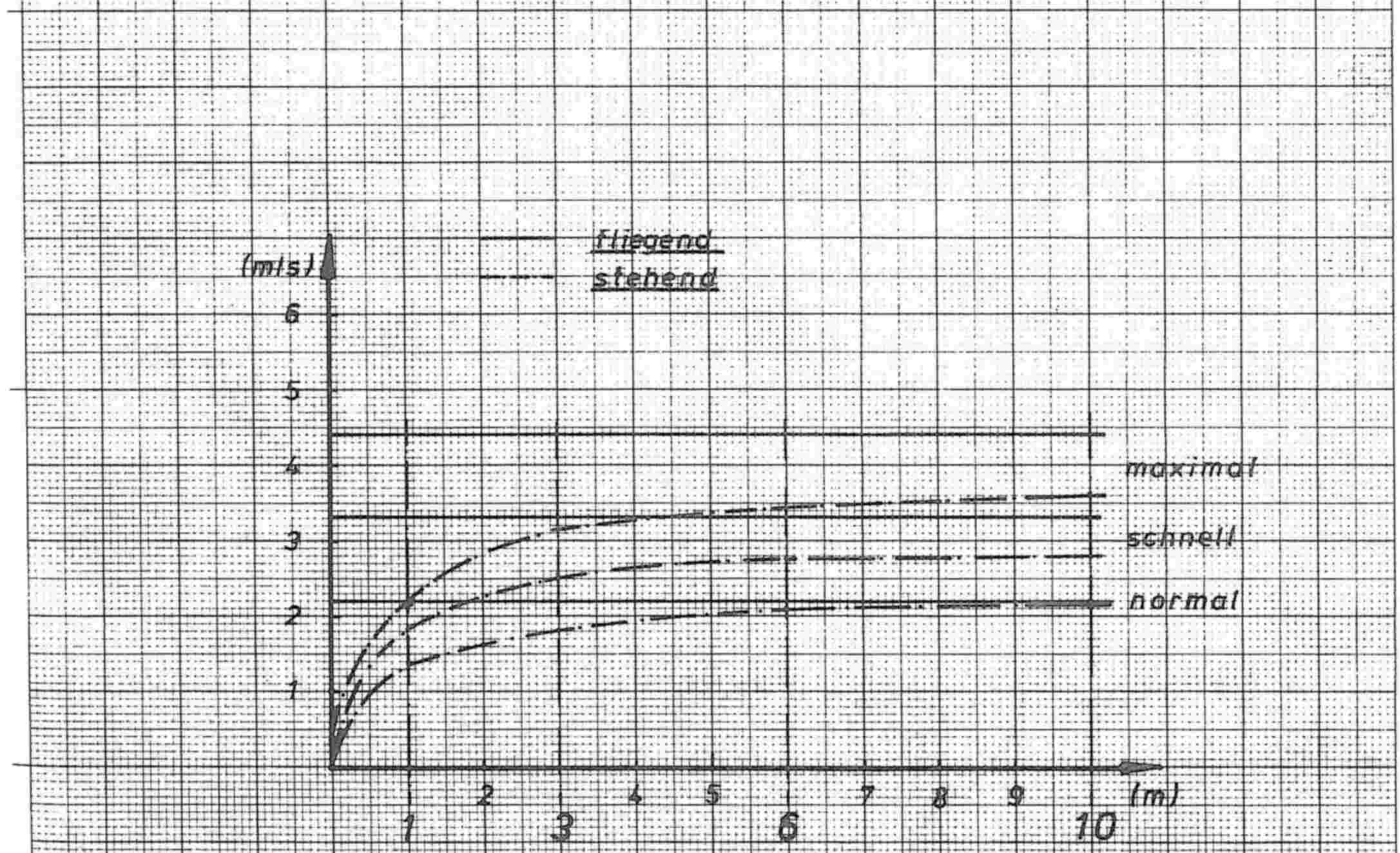
Weg-Zeit-Diagramm

Weg-Geschwindigkeit [$\bar{v}$]

Rollschuhe: 9 - 10 M + J

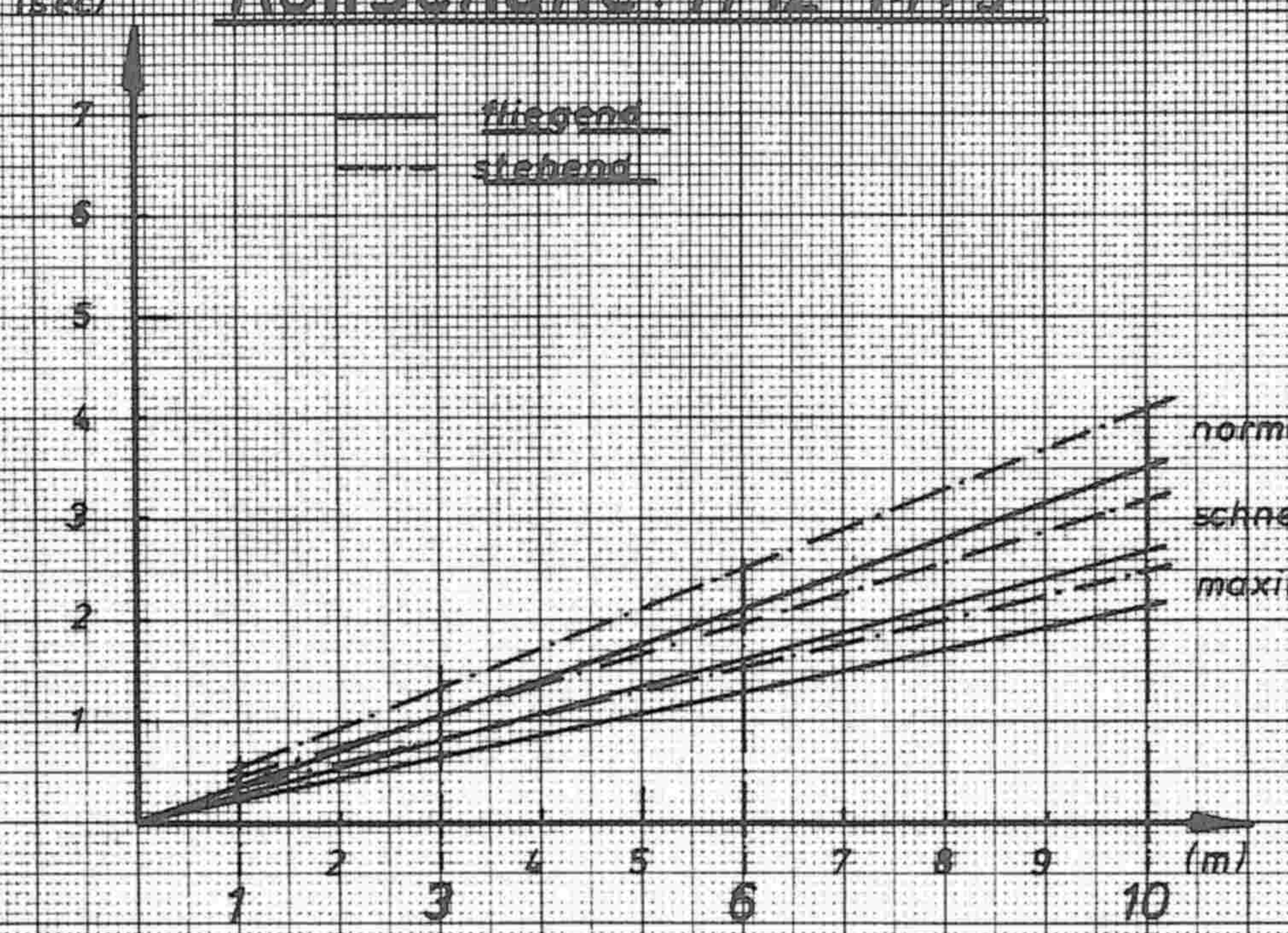


Weg-Zeit-Diagramm

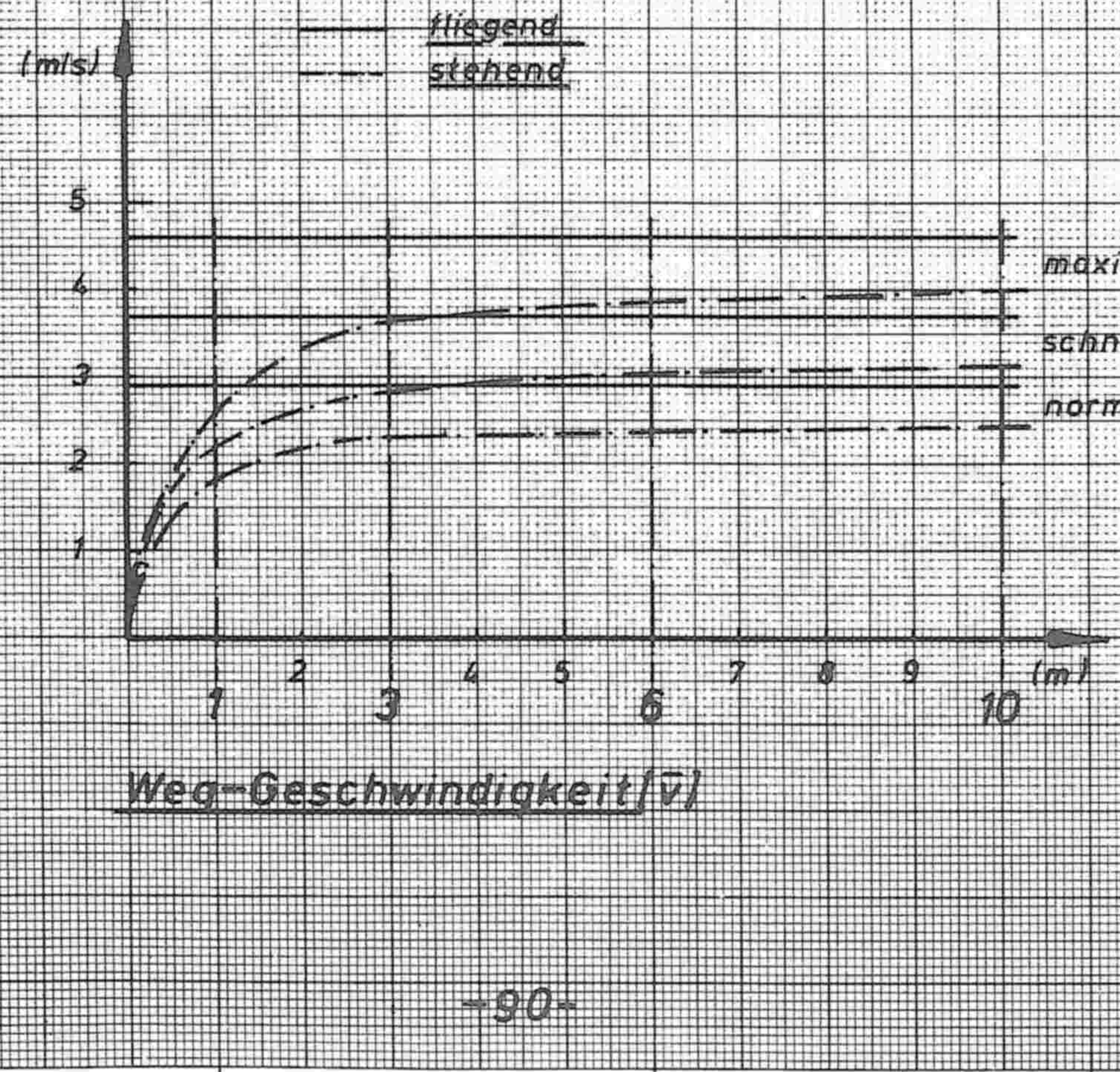


Weg-Geschwindigkeit [V]

Rollschuhe: 11-12 M + J



Weg-Zeit-Diagramm



Weg-Geschwindigkeit [v]

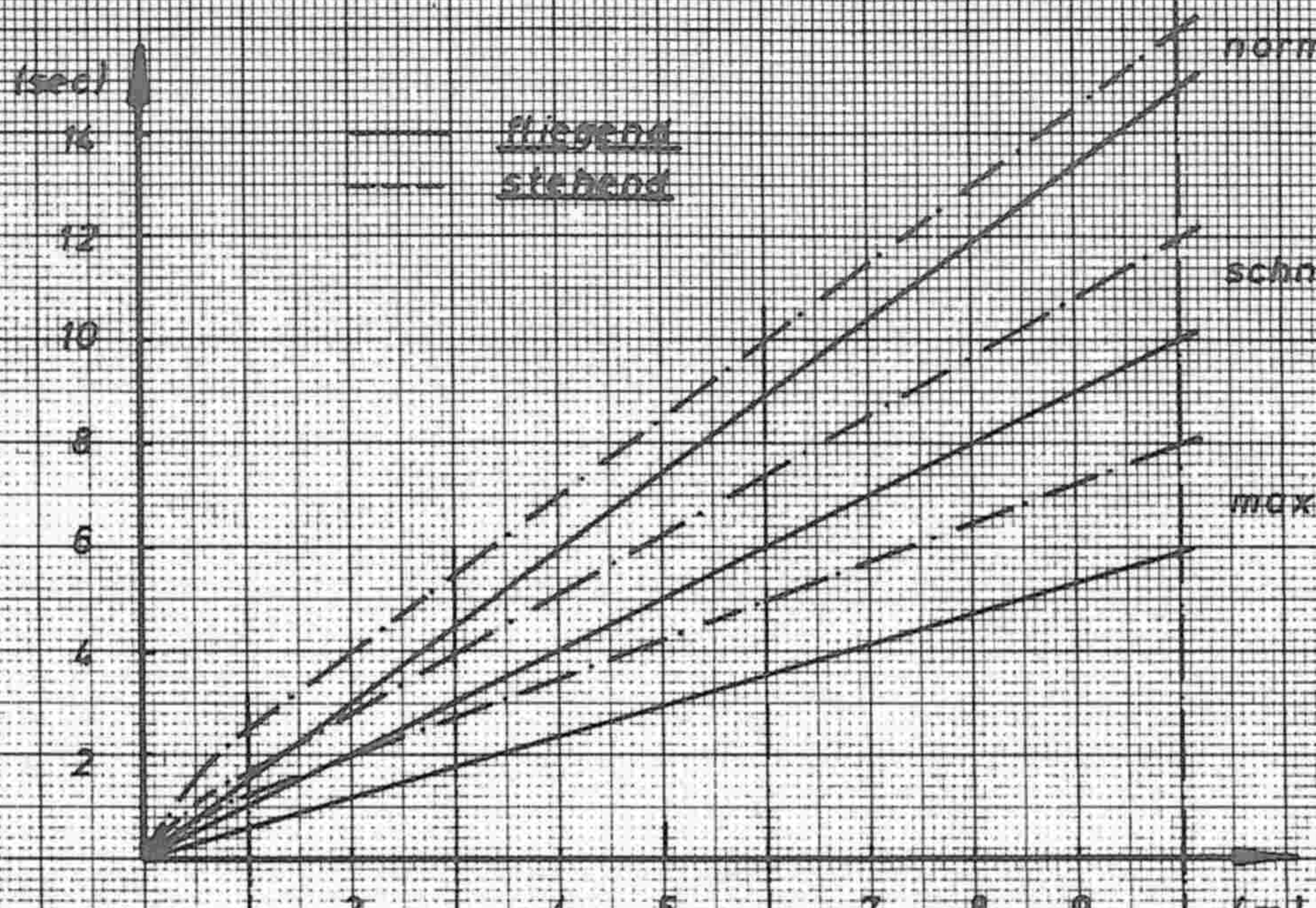
6. Fahrzeuge für Kleinkinder



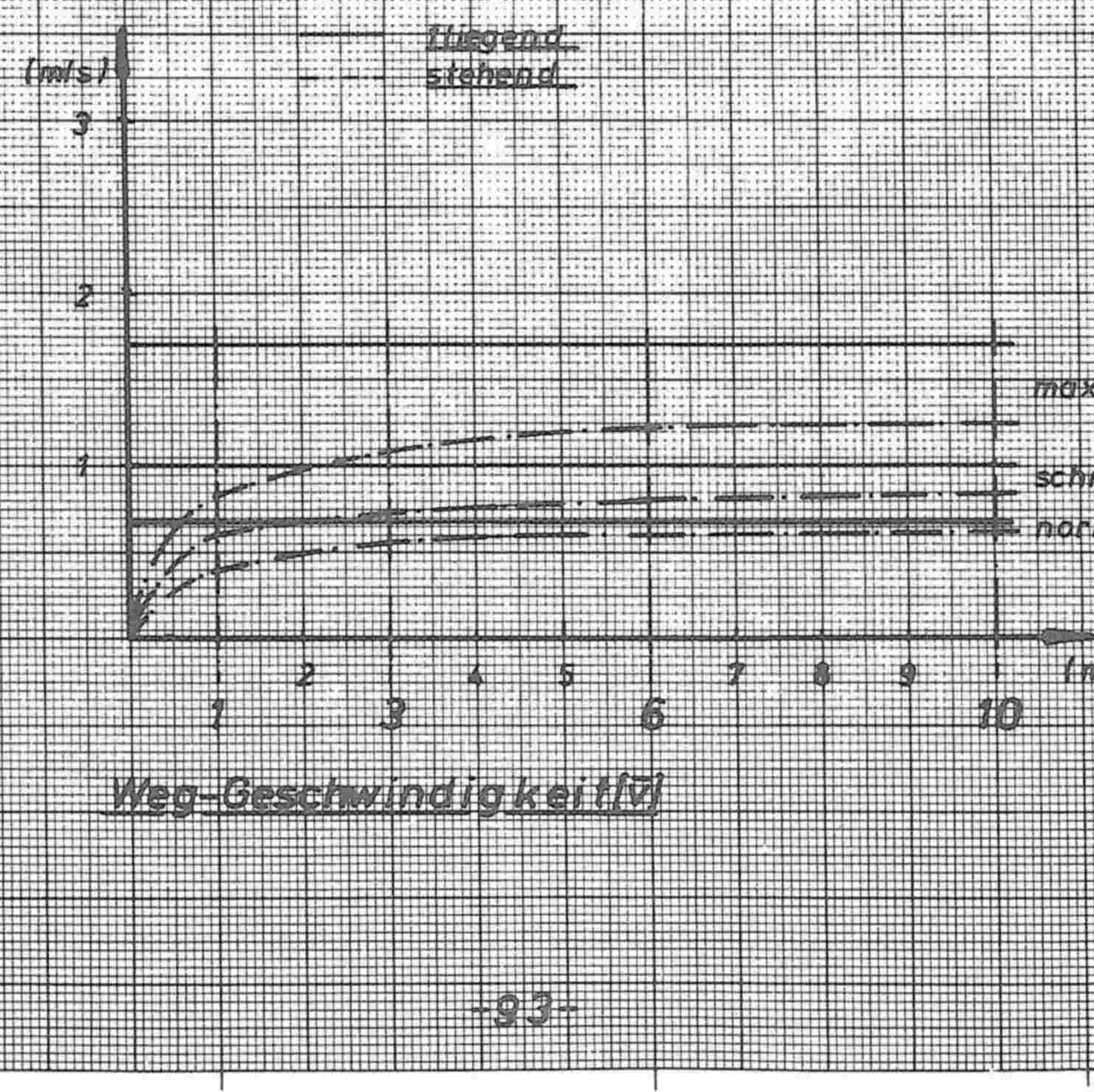
6.1 Dreirad "Pucky"

Reifendurchmesser:	vorne: 25o mm
	hinten: 19o mm
Tretkurbellänge:	7o mm
Rahmenlänge:	verstellbar

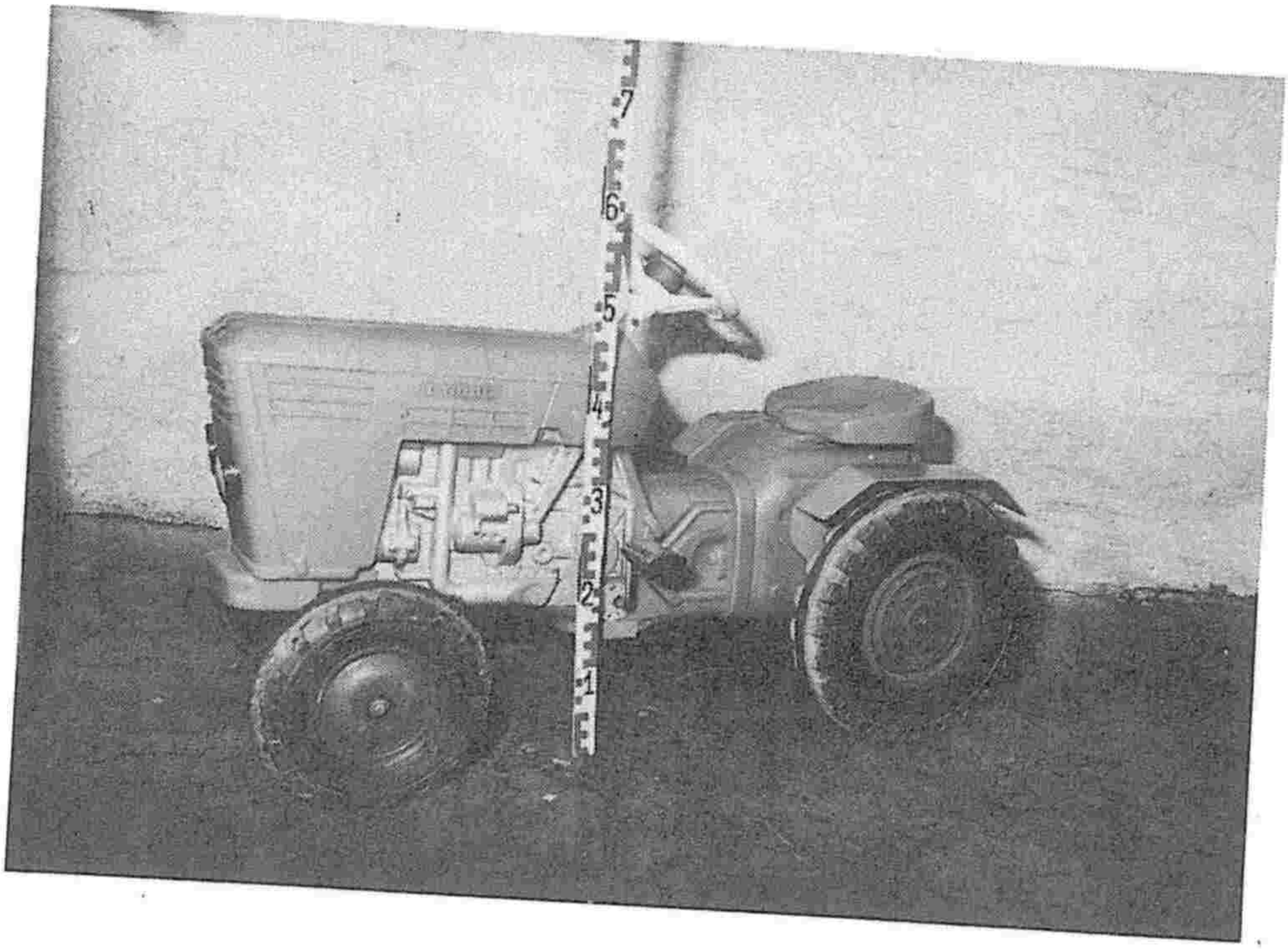
Dreirad: Pucky 3-4 Jahre



Weg-Zeit-Diagramm



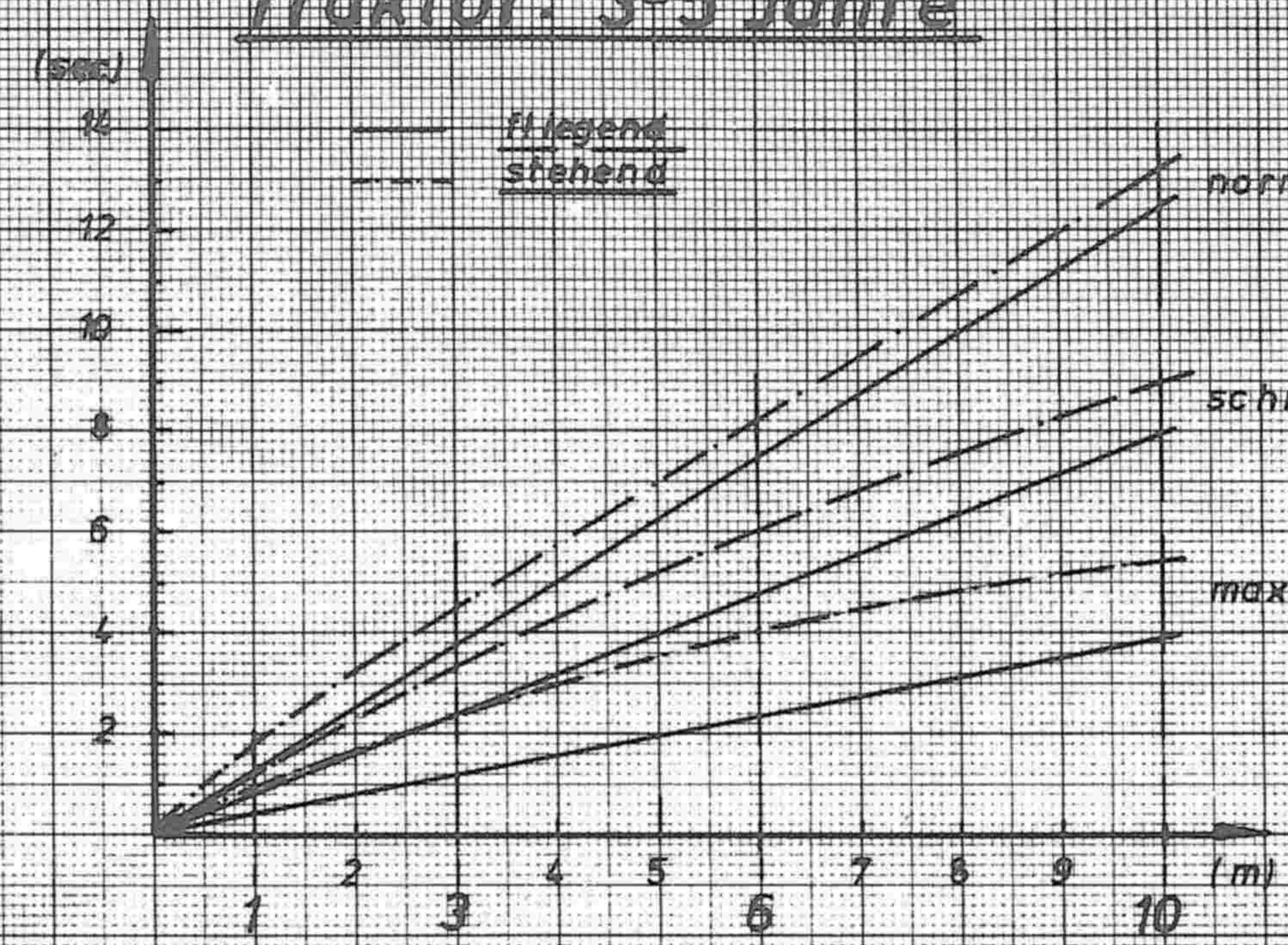
Weg-Geschwindigkeit(v)



6.2 Traktor

Raddurchmesser:	vorne: 24o mm
	hinten: 31o mm
Tretkurbellänge:	8o mm
Sitzhöhe:	35o mm
Kettenantrieb	
Zähnezahl von Tretkurbel:	9
Zähnezahl von Hinterachse:	1o

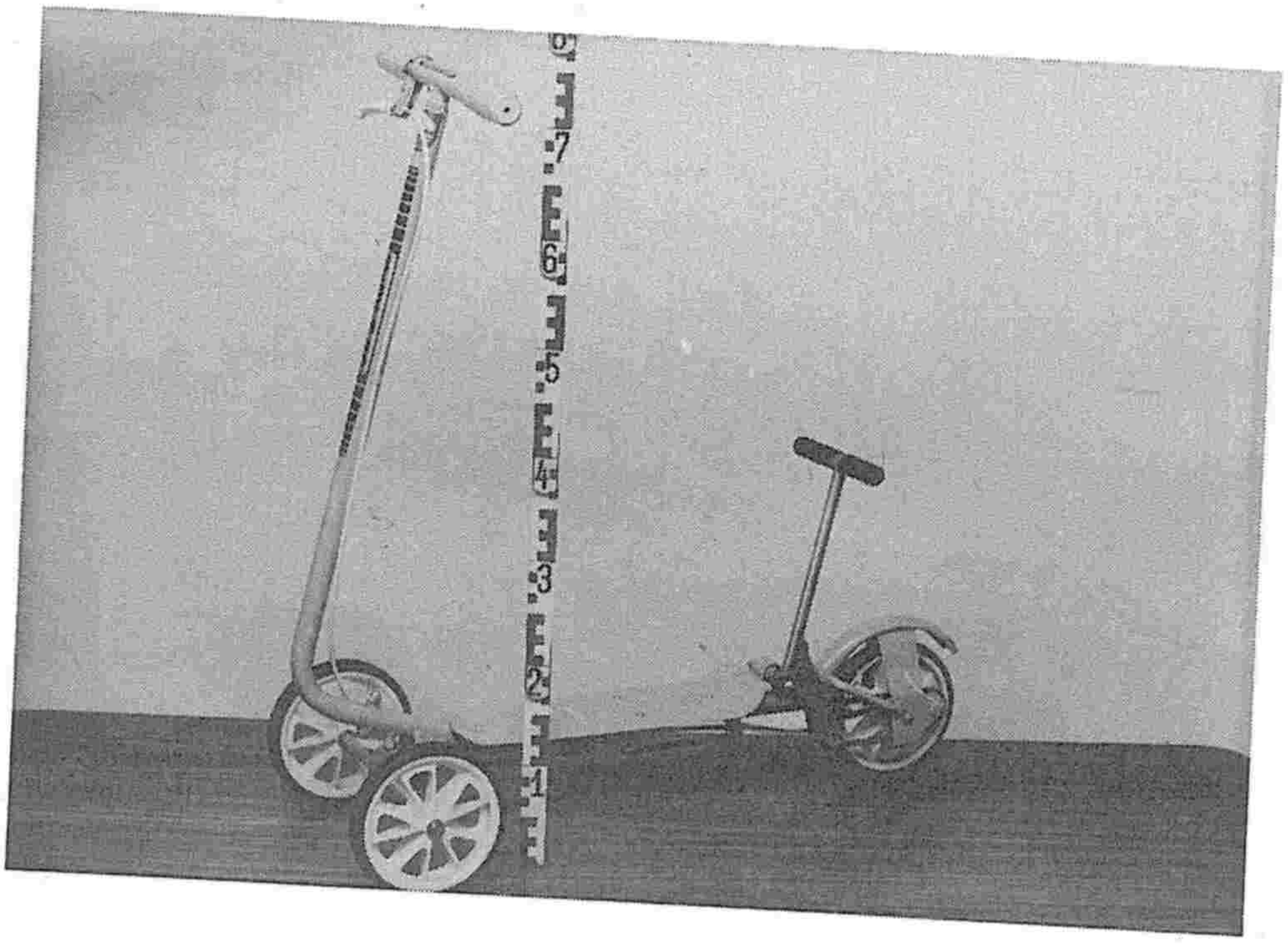
Traktor: 3-5 Jahre



Weg- Zeit- Diagramm

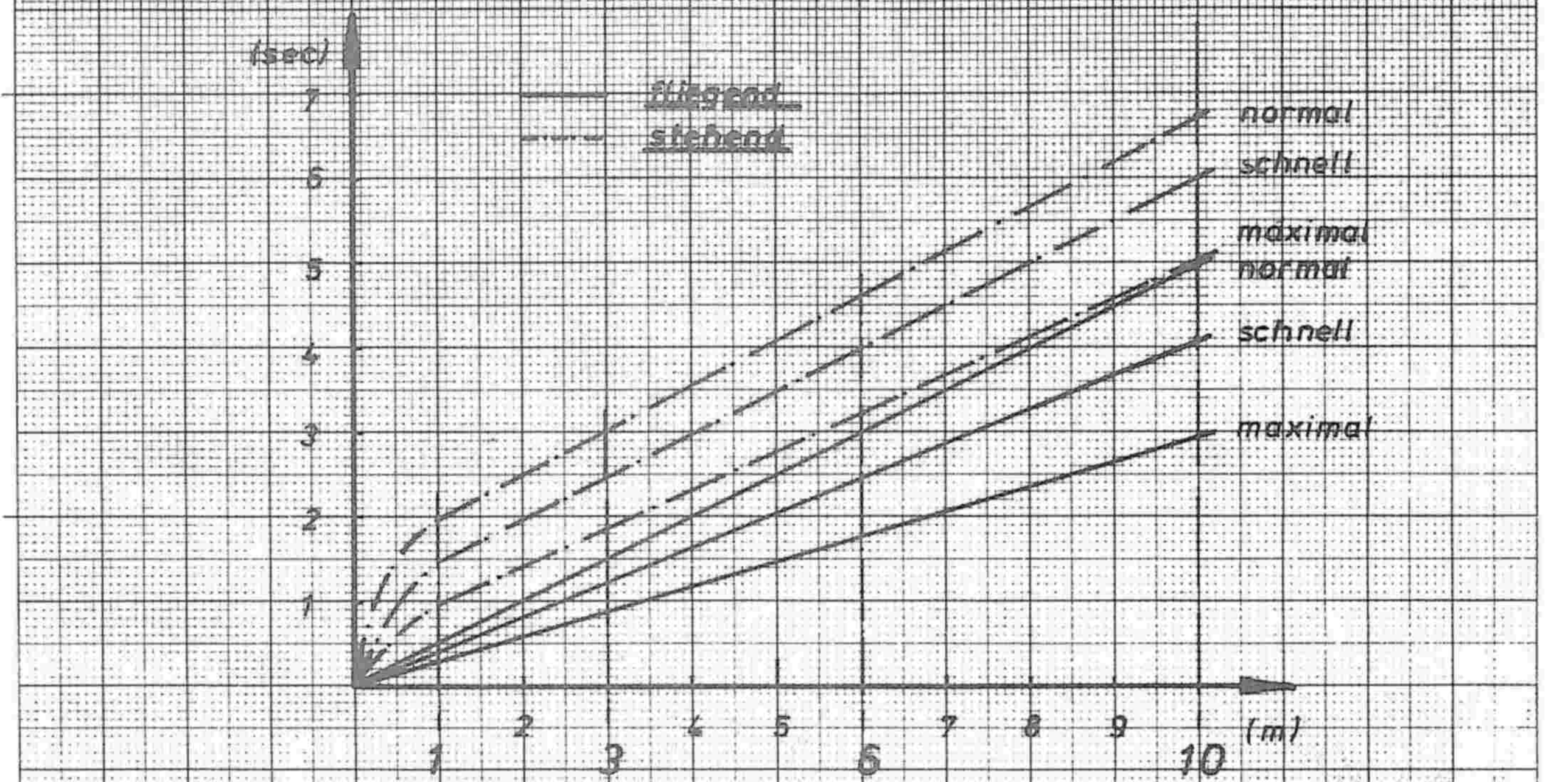


Weg-Geschwindigkeit [v]

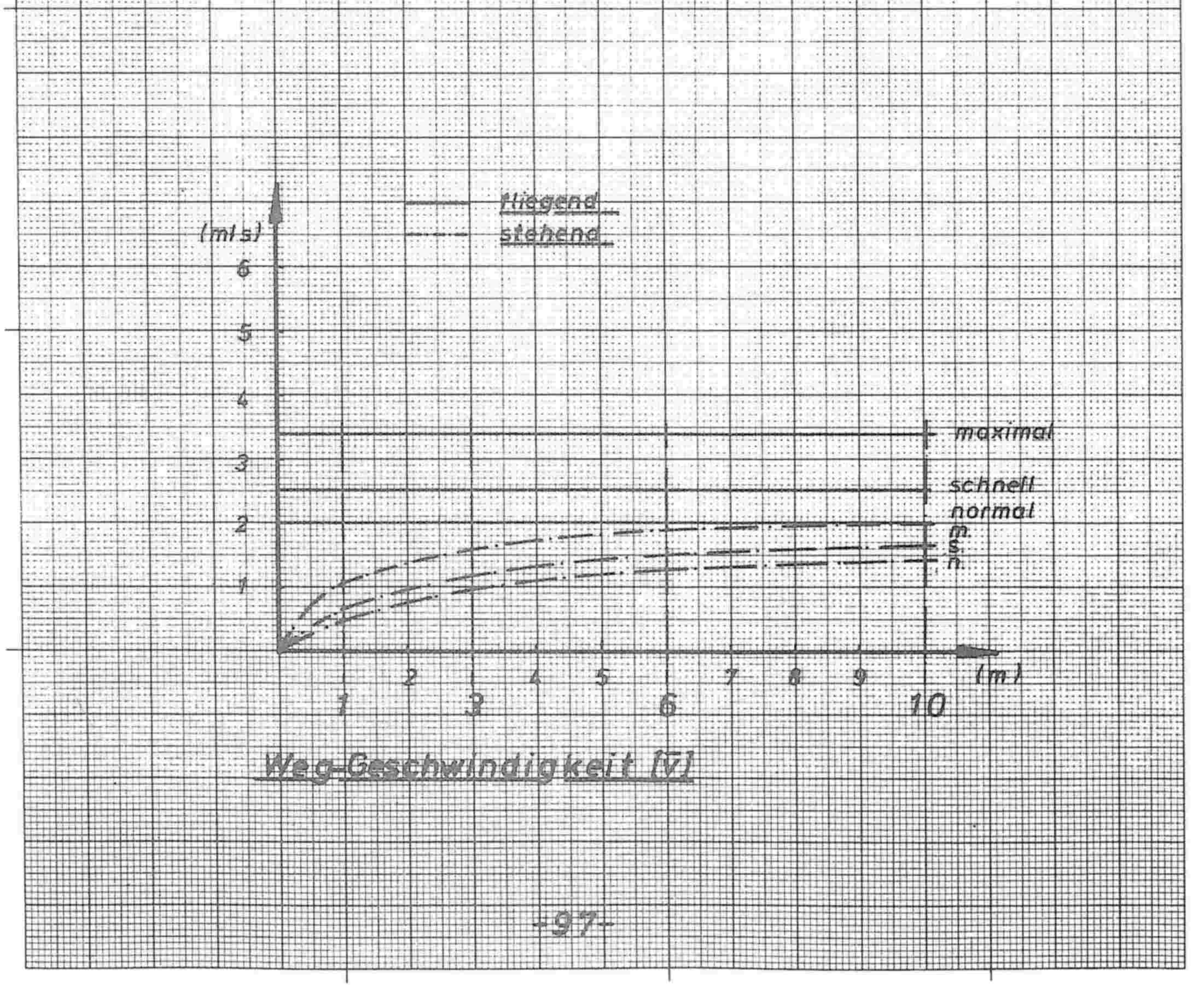


6.3 Tretroller Kick Go

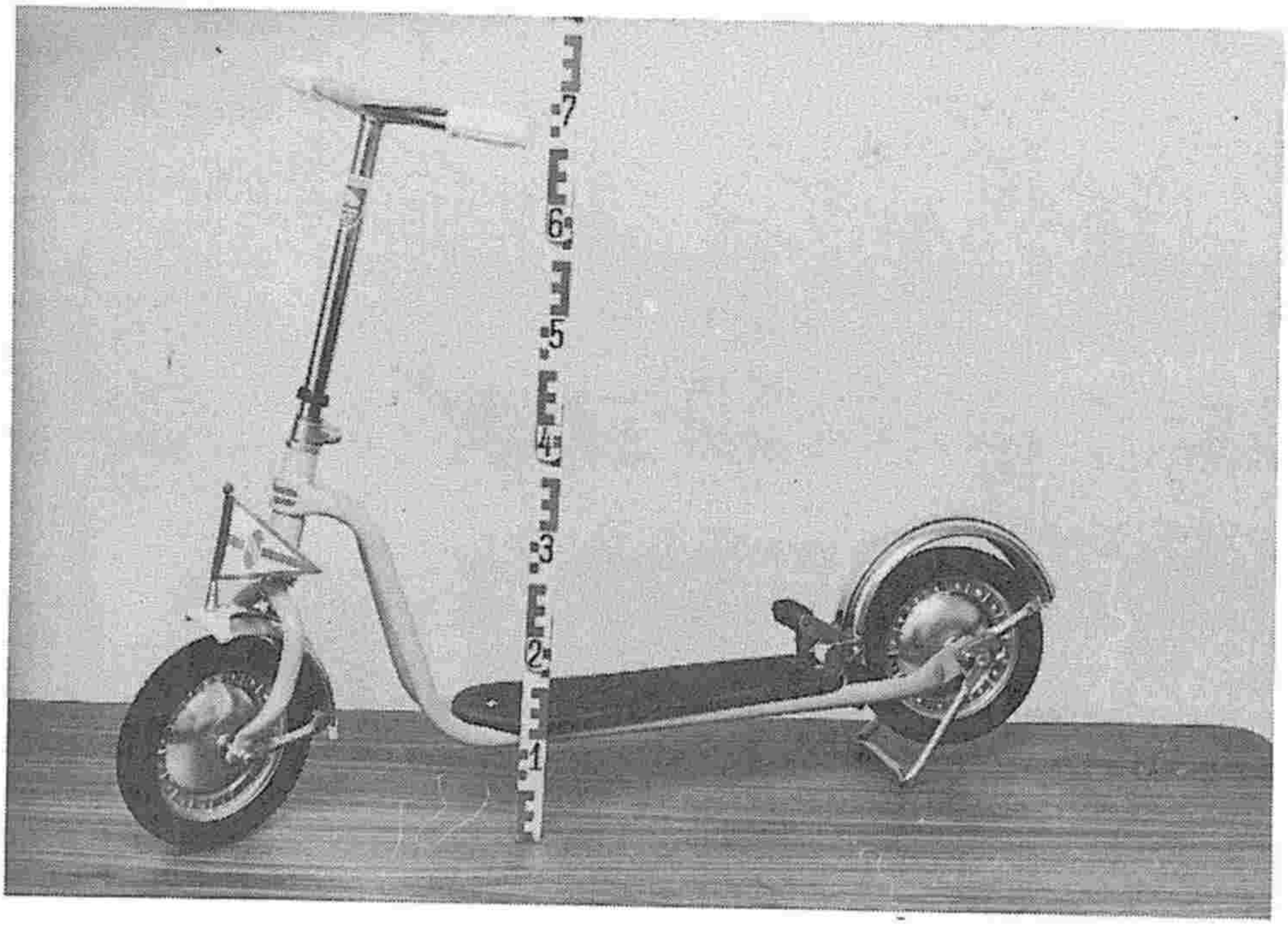
Tretroller Kick Go



Weg-Zeit-Diagramm



Weg-Geschwindigkeit (v)



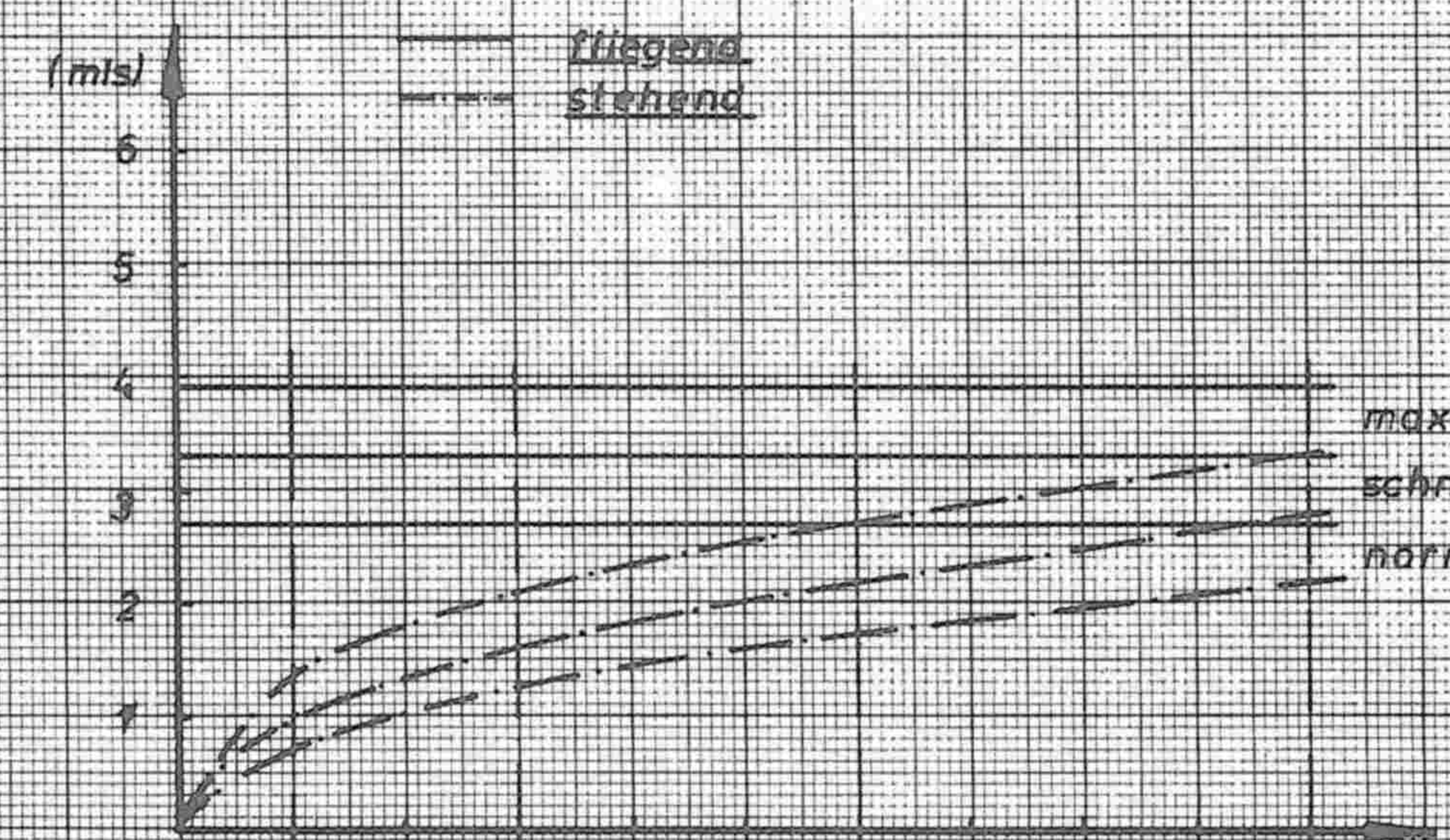
6.4 Tretroller "Puky"

Raddurchmesser:	vorne: 2o5 mm
Reifengröße:	15o x 13"
Reifenart:	Vollgummi
Höhe des Lenkers:	7oo mm
Gabeloberkante:	38o mm

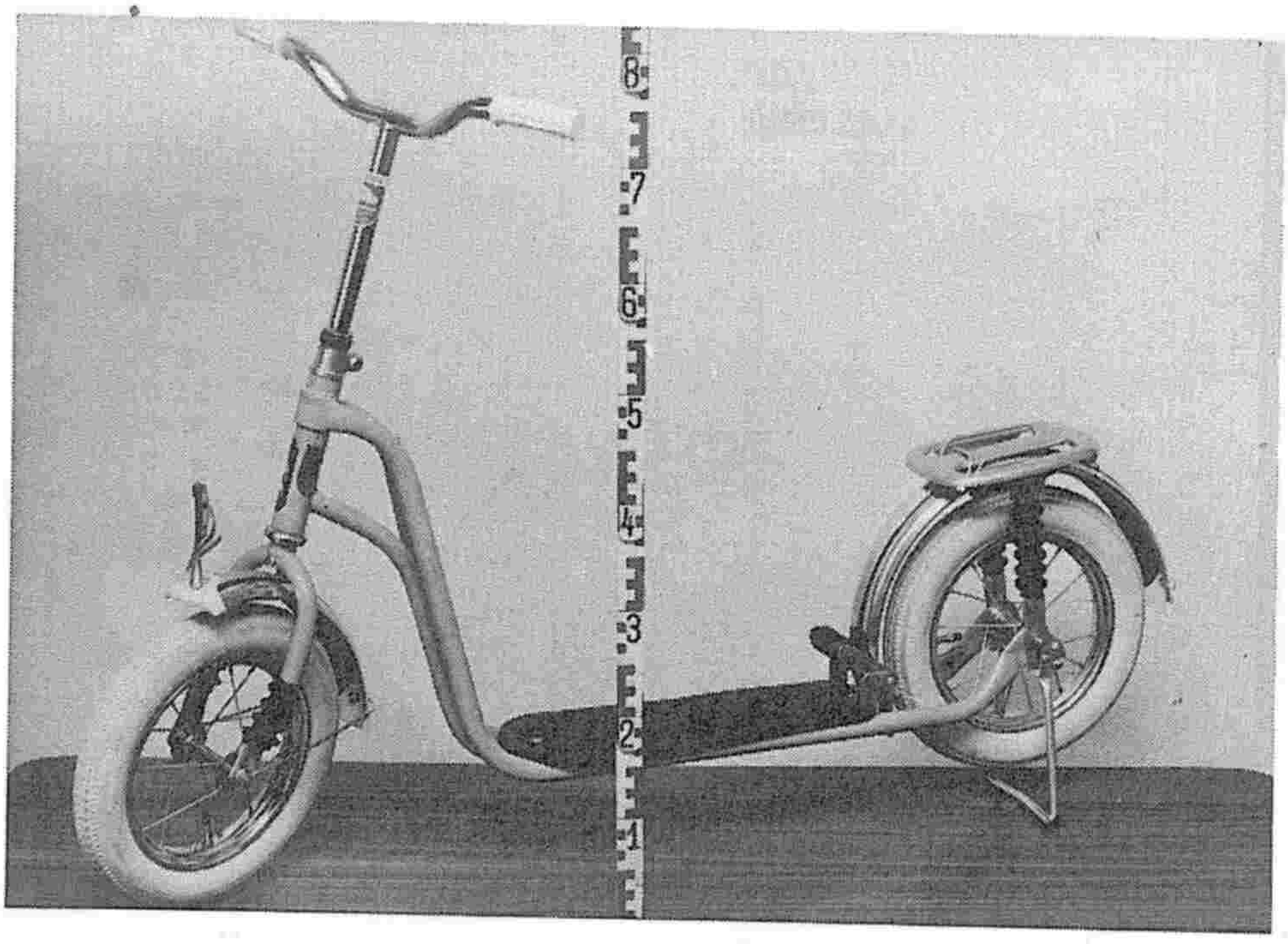
Tretroller: Puky



Weg-Zeit-Diagramm



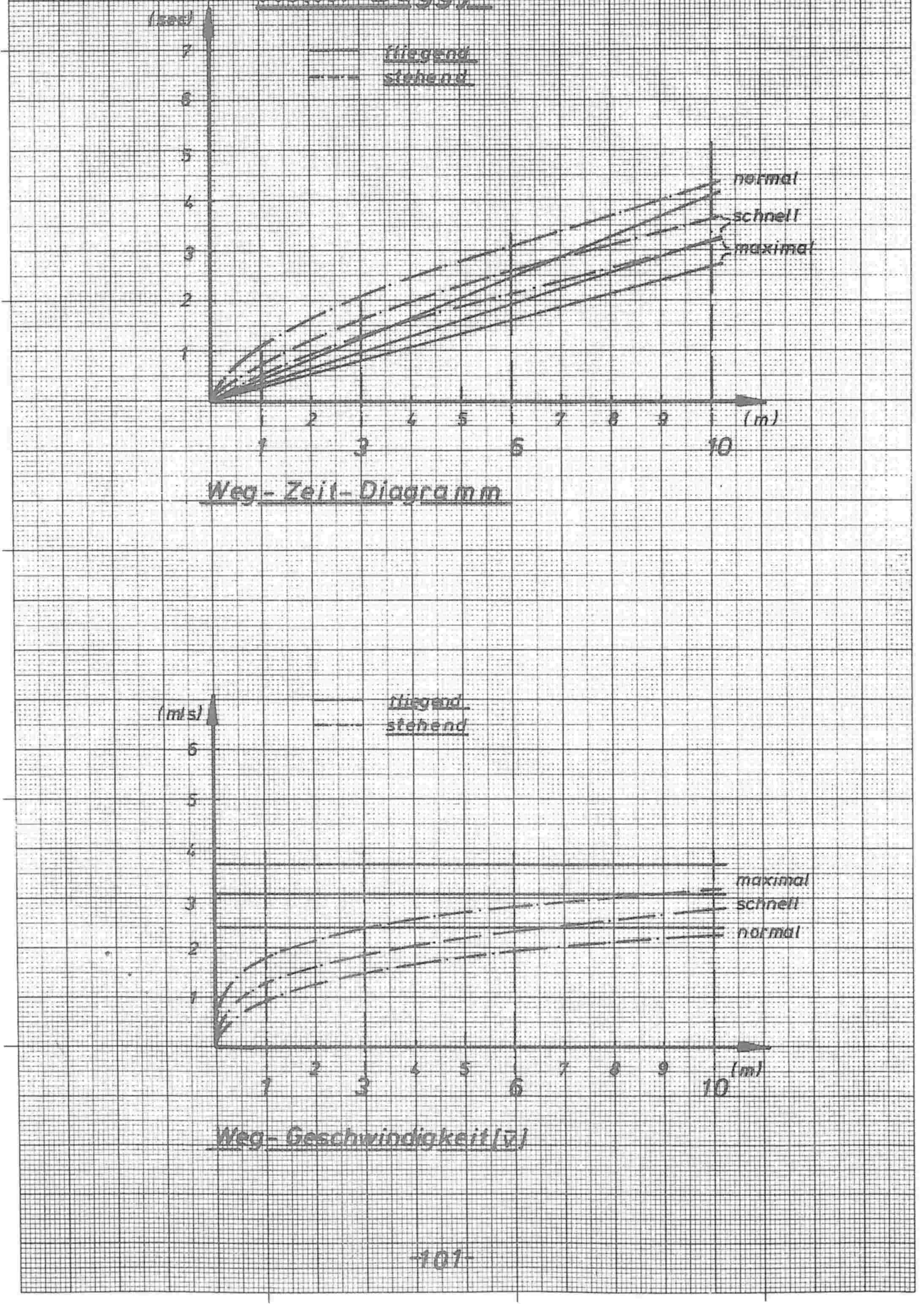
Weg-Geschwindigkeit [v]



6.5 Roller Buggy

Reifengröße:	12,5 x 2,5
Felgendurchmesser:	215 mm
Reifendurchmesser:	31o mm
Gabelhöhe:	54o mm
Lenkerhöhe:	73o mm
Griffhöhe:	78o mm
Reifenart:	Luftreifen

Roller Buggy



Weg - Zeit - Diagramm

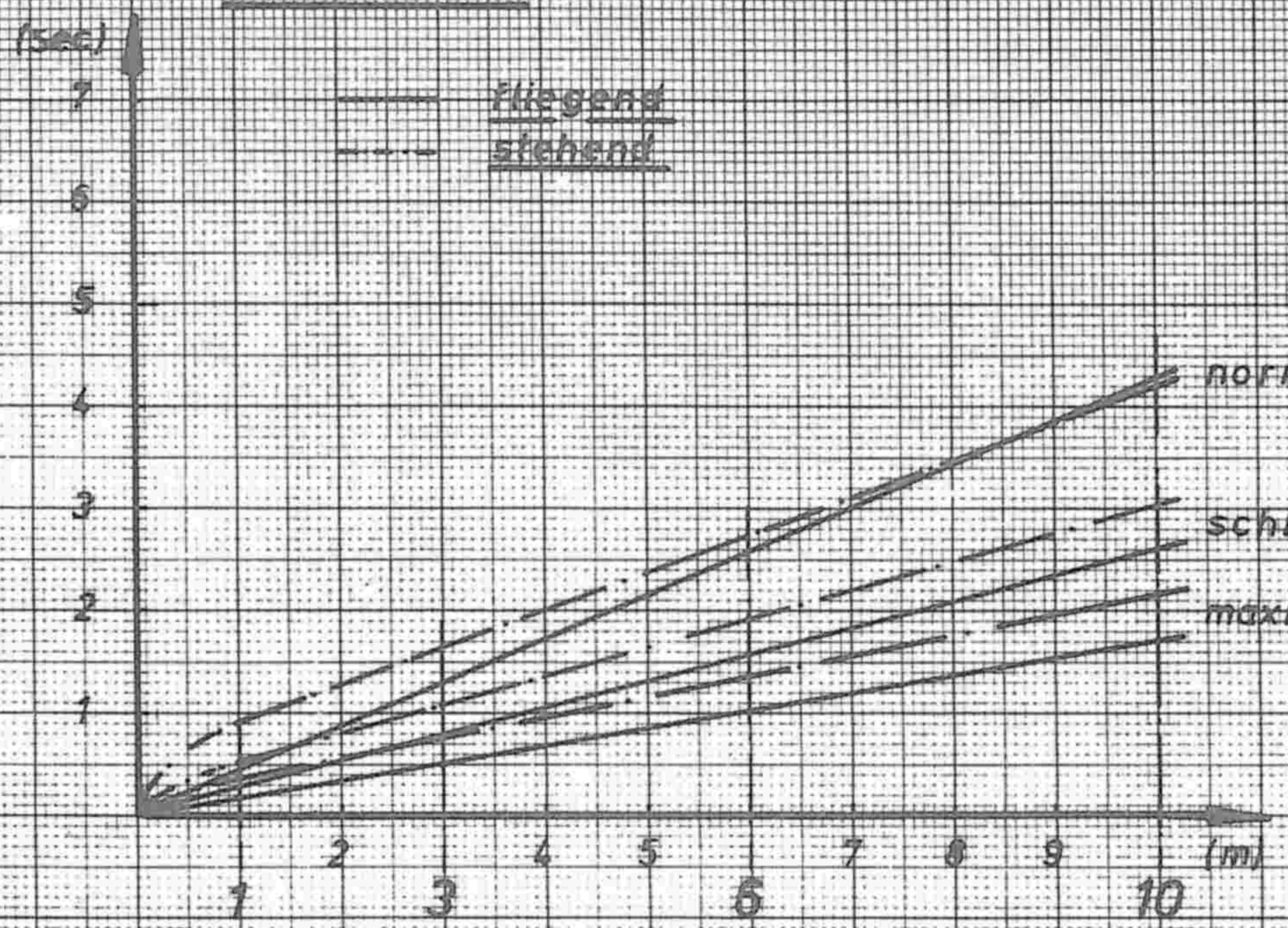
Weg - Geschwindigkeit [v]



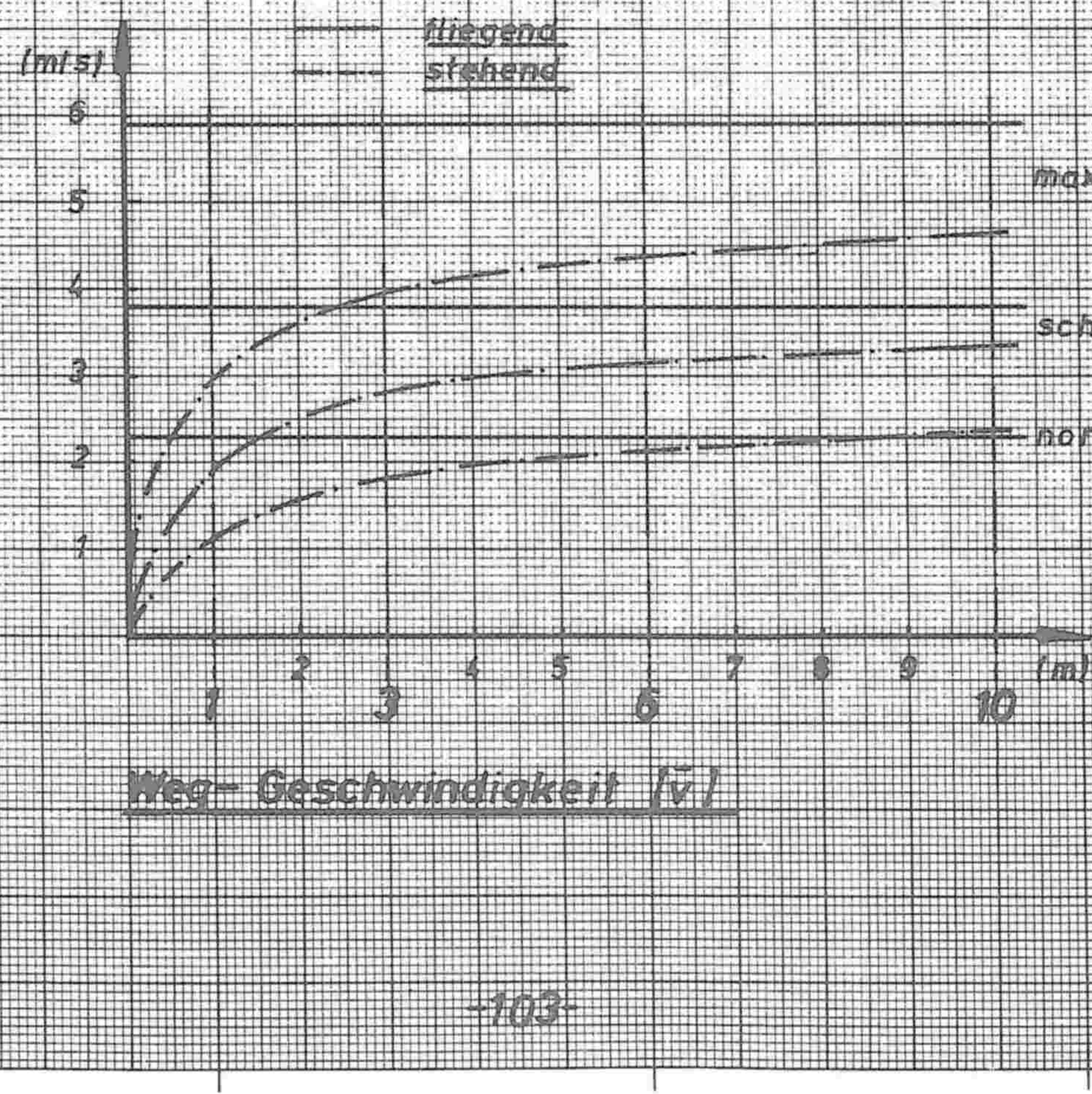
6.6 Kettcar

Anzahl der Zähne:	vorne: 24
	hinten: 12
Raddurchmesser:	25o mm
Sitzhöhe:	28o mm
Lenkradhöhe:	58o mm

Ketcar



Weg-Zeit-Diagramm



Weg- Geschwindigkeit (v)

7. FAHRRAEDER

7.1 Allgemeines

Bei der sachverständigen Bearbeitung von sogenannten Fahrradunfällen gab es bislang immer widersprüchliche Meinungen zur Bewegungsgeschwindigkeit und insbesondere zur Beschleunigung, da diesbezüglich keine detaillierten Versuche existieren. Eine gefühlsmäßig brauchbare Abschätzung ist nicht möglich, da dies das breite Band von Fahrradtypen und - größen nicht zuläßt.

Bei den von uns durchgeführten Versuchen wurden insgesamt 9 Fahrräder verschiedener Größe (Raddurchmesser 12,5 - 28") und Übersetzung mit mehreren dafür in Frage kommenden Personen getestet. Die den Versuchen zugrunde gelegten Geschwindigkeitsbereiche sind den Begriffen

- normal,

- schnell,

- maximal,

zugeordnet.

Analog dazu wurden auch die jeweiligen Anfahrvorgänge in ihrem Weg-Zeit-Verhalten untersucht.

Bei den Versuchen wurde festgestellt, daß für den menschlichen Körper die günstigste Drehzahl an der Tretkurbel, unter Berücksichtigung exogener und endogener Einschränkungen, im Bereich zwischen 4o und 6o U/min liegt.

Die Meßergebnisse sind auf den folgenden Seiten zunächst in Weg-Zeit-Diagrammen dargestellt. Hieraus wurde dann für den stehenden Start die mittlere Geschwindigkeit $\bar{v}$ jeweils für die Intervalle $[o, t]$ bzw. $[o, s]$ berechnet.

Der Beschleunigungsverlauf ist ebenfalls durch mittlere Beschleunigungswerte in den Intervallen $[o, t]$ bzw. $[o, s]$ angegeben.

Die funktionelle Beschreibung der Bewegungsgrößen wurde für den speziellen Gebrauch in der Unfalltechnik in dieser Form gewählt, da nur so eine technisch praktikable Auswertung gegeben ist.

7.2 Berechnung der Geschwindigkeit und der Beschleunigung

Die Darstellung der Meßergebnisse im Weg-Zeit-(s-t)-Diagramm kann entweder mit der Berechnung eines bestapproximierenden Polynoms (Newton, Lagrange etc.) oder auf graphischem Wege, was für die erforderliche Genauigkeit völlig ausreicht, geschehen.

Für die unfalltechnische Praxis interessieren neben dem Weg-Zeit-Verlauf jedoch auch die mittleren Geschwindigkeiten und Beschleunigungen in vorgegebenen Intervallen, die innerhalb der Meßstrecke liegen. $[t_1, t_2]$ ist dabei ein Zeitintervall,

in dem die mittlere Geschwindigkeit $\bar{v}\ (/t_1, t_2/)$ berechnet wurde. Als Mittelwert einer stetigen Größe ergibt sich dies zu

$$\bar{v}\ (/t_1, t_2/) = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} v\ (t)\ dt,$$

wobei v (t) die Geschwindigkeit im Zeitraum t bedeutet.
Da die Geschwindigkeit-Zeit-Funktion s (t) ist, kann das obige Integral sofort aufgelöst werden:

$$\bar{v}\ (/t_1, t_2/) = \frac{s\ (t_2) - s\ (t_1)}{t_2 - t_1}$$

Insbesondere läßt sich also immer die <u>mittlere</u> Geschwindigkeit ohne Kenntnis der <u>punktuellen</u> Geschwindigkeit berechnen. Im folgenden wird immer der Wert t_1 zu Null gewählt und die Funktion

$$\bar{v}\ (t): = \bar{v}\ (/o, t/) = \frac{s\ (t) - s\ (o)}{t} = \frac{s\ (t)}{t}$$

graphisch dargestellt.

Für die mittlere Beschleunigung gilt völlig analog:

$$\bar{a}\ (/t_1, t_2/) = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} a\ (t)\ dt,$$

$$\text{also} \quad \bar{a}\ (/t_1, t_2/) = \frac{v\ (t_2) - v\ (t_1)}{t_2 - t_1}$$

und speziell:

$$\bar{a}\ (t) \quad = \quad a\ (/o,\ t/) \quad = \quad \frac{v\ (t) - v\ (o)}{t}$$

Zur Ermittlung von $\bar{a}$ (t) muß also zunächst das punktuelle Geschwindigkeit-Zeit-Diagramm erstellt werden. Dies geschieht in dem gegebenen Fall mit Hilfe des Weg-Zeit-Diagrammes auf graphischem Weg mit ausreichender Genauigkeit. Die Umrechnung von $\bar{v}$ (t) und $\bar{a}$ (t) auf $\bar{v}$ (s) und $\bar{a}$ (s) erfolgt einfach durch Vergleich der einander zugeordneten Wege und Zeiten des Weg-Zeit-Diagrammes. Aufgrund der Versuchsdurchführung kann nur im Intervall von 1 bis 1o m eine auf Messung begründete Gültigkeit beansprucht werden.

$\bar{a}$ (t) stellt also die mittlere Beschleunigung im Intervall /o, t/ dar, ist jedoch für die Rückrechnung auf das s-t-Diagramm nicht geeignet. Im Hinblick darauf wurde die nachfolgend aufgeführte Form der Beschleunigung definiert:

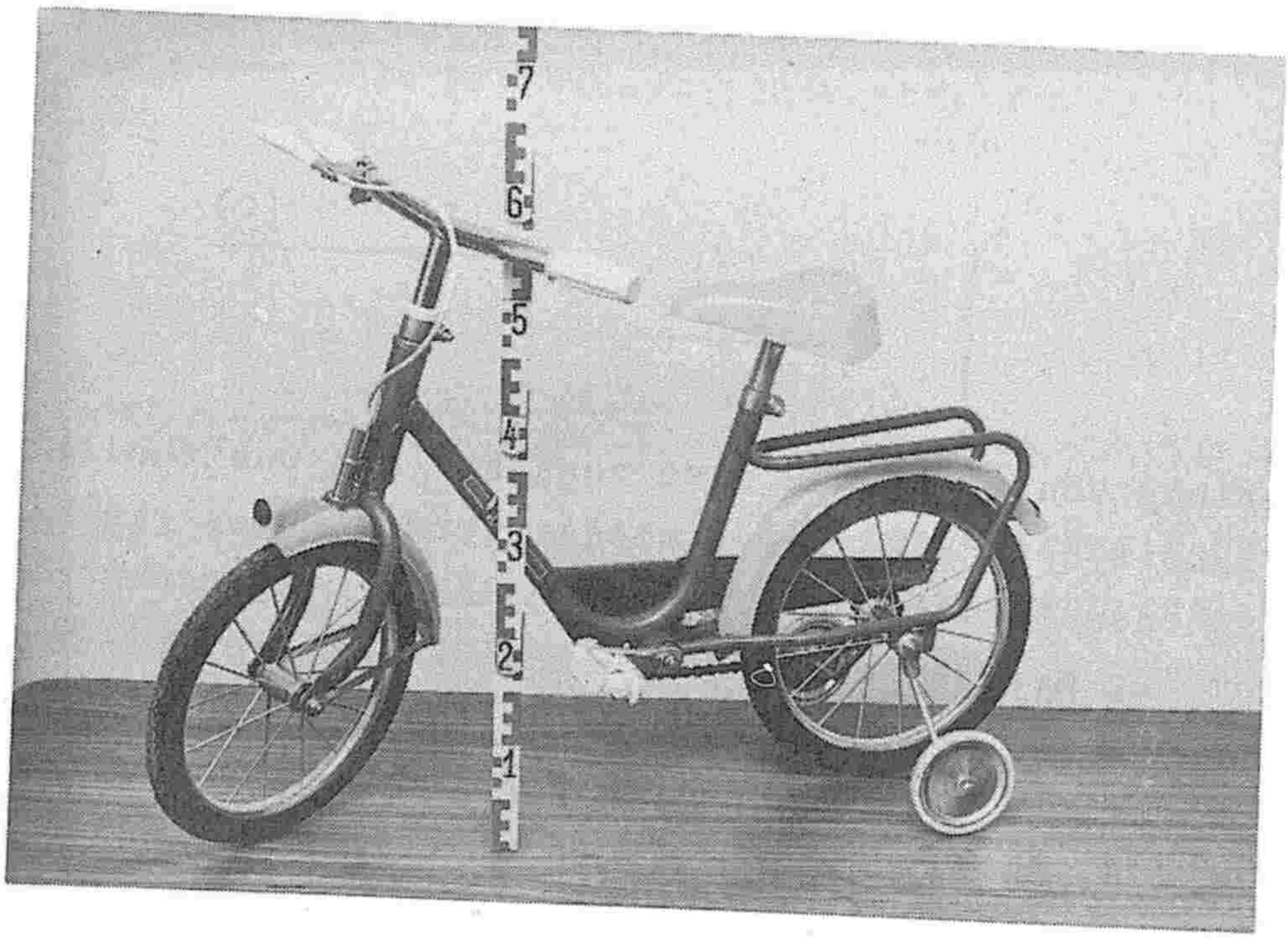
$$\underline{\underline{\tilde{a}\ (t) \quad = \quad \frac{\bar{v}\ (t)}{t}}}$$

Hieraus ergibt sich

$$\underline{\bar{v}\ (t) \quad = \quad \tilde{a}\ (t)\ t}$$

und

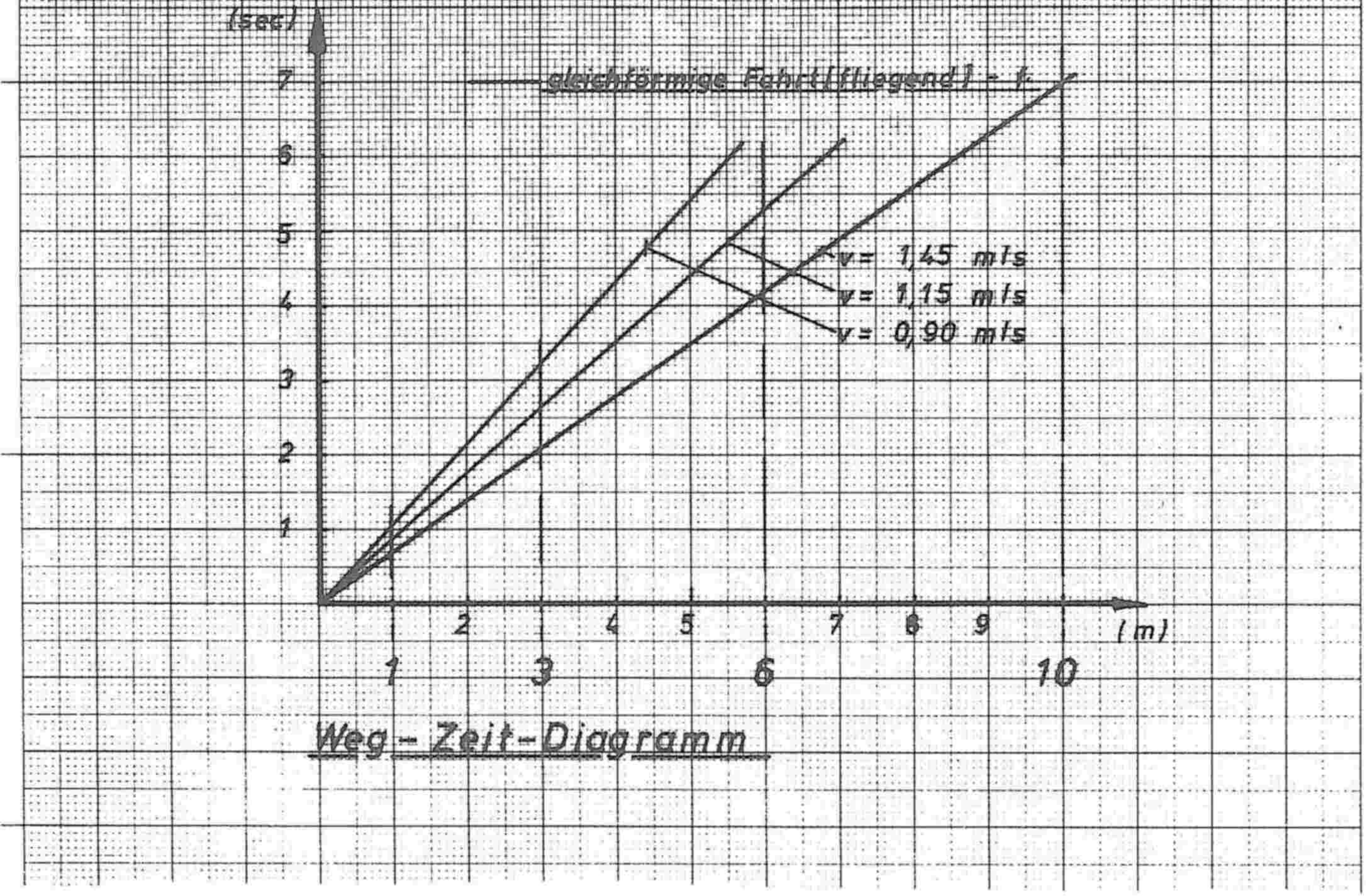
$$\underline{s\ (t) \quad = \quad \tilde{a}\ (t)\ t^2}$$



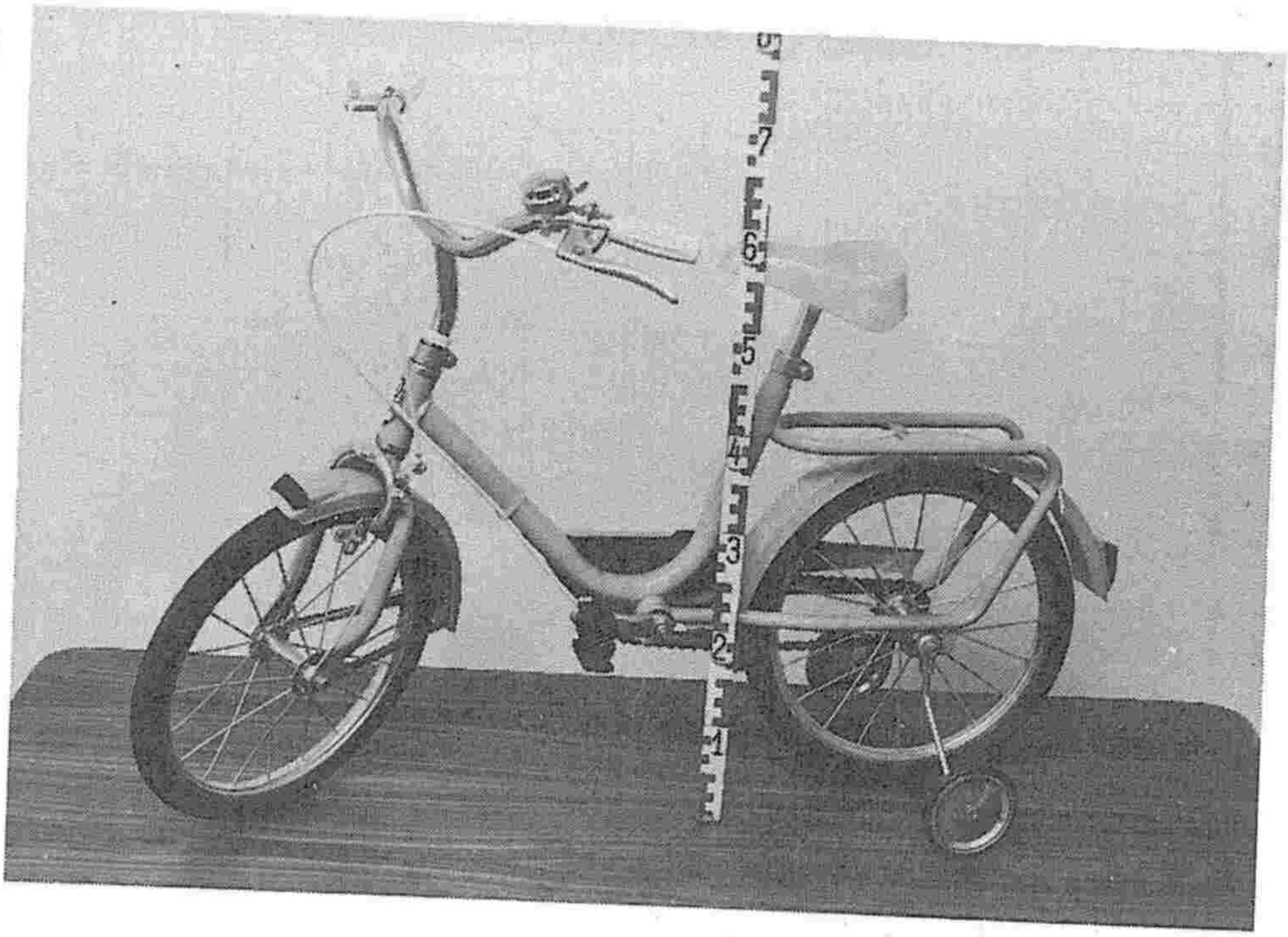
7.3 Dreirad

Reifengröße:	12,5 x 1,25"
Reifenart:	Vollgummi
Zähnezahl vom Kettenblatt:	2o
Zähnezahl vom Zahnkranz:	12
Übersetzungsverhältnis:	1,67 : 1
Tretkurbellänge:	1oo mm
Rahmenhöhe:	485 mm
Gangschaltung:	--
Reifendurchmesser:	32o mm

Dreirad

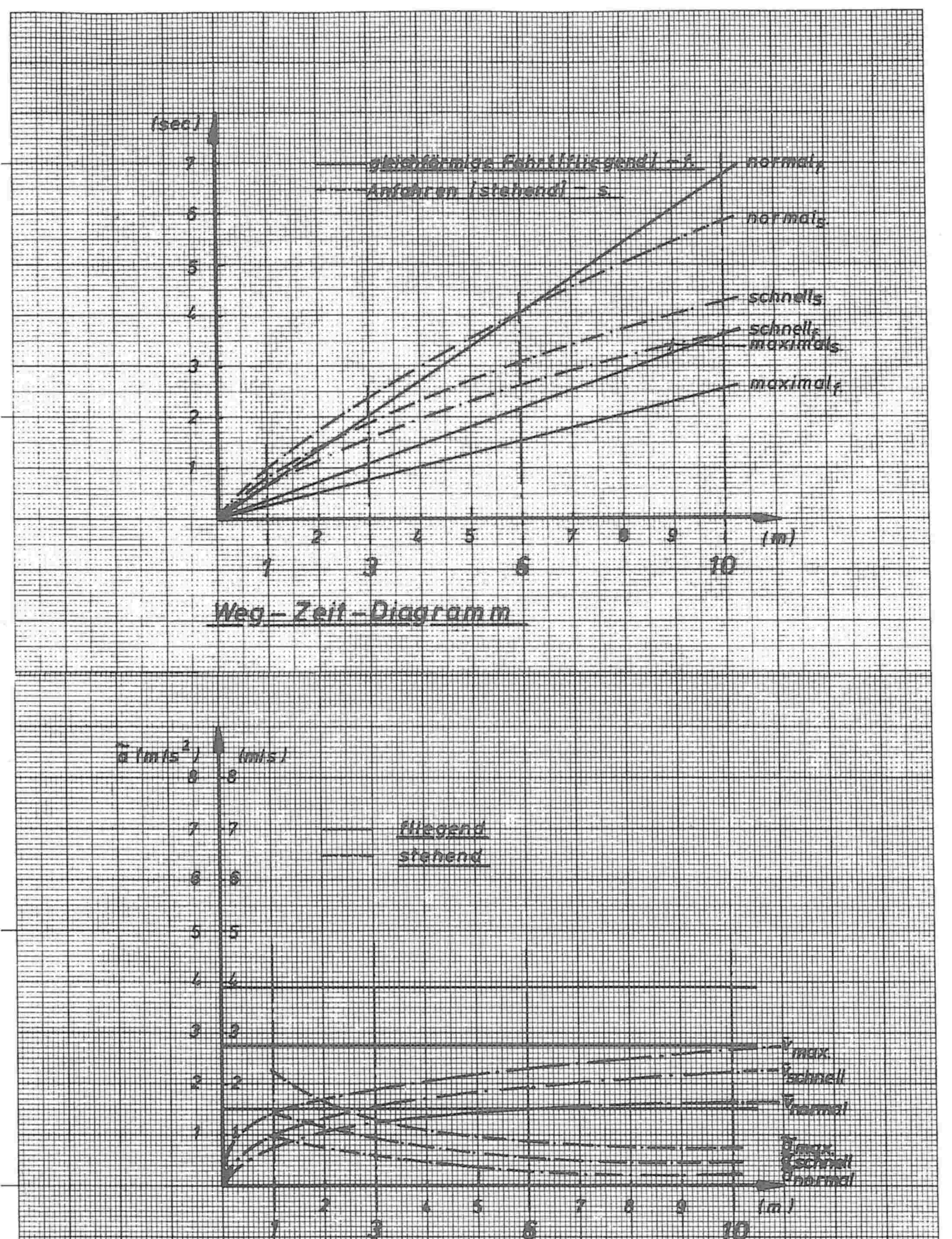


Weg - Zeit - Diagramm



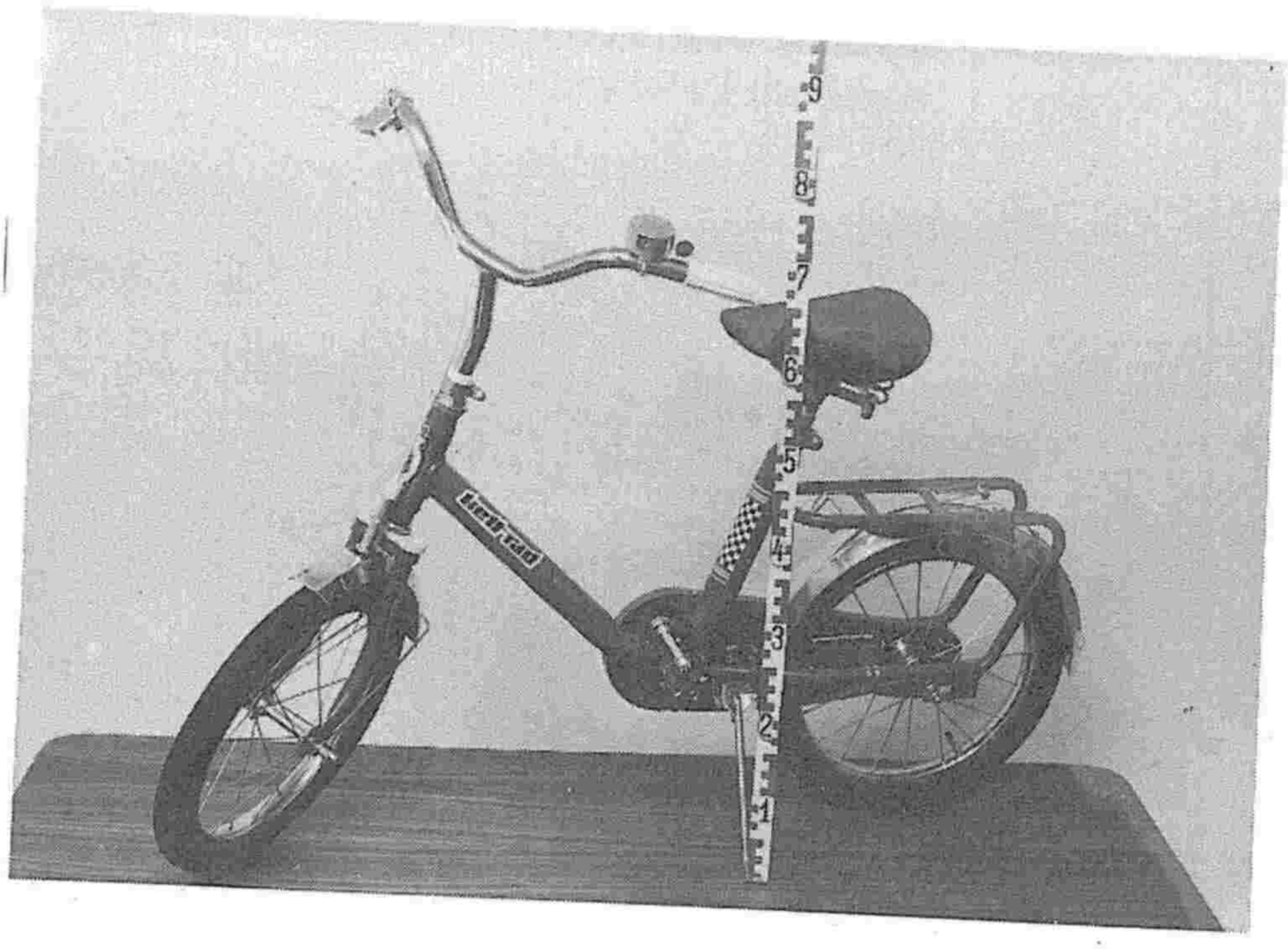
7.4 Dreirad

Reifengröße:	14 x 1,25"
Zähnezahl vom Kettenblatt:	24
Zähnezahl vom Zahnkranz:	15
Übersetzungsverhältnis:	1,6 : 1
Tretkurbellänge:	1oo mm
Rahmenhöhe:	5oo mm
Reifenart:	Vollgummi
Gangschaltung:	--
Reifendurchmesser:	36o mm



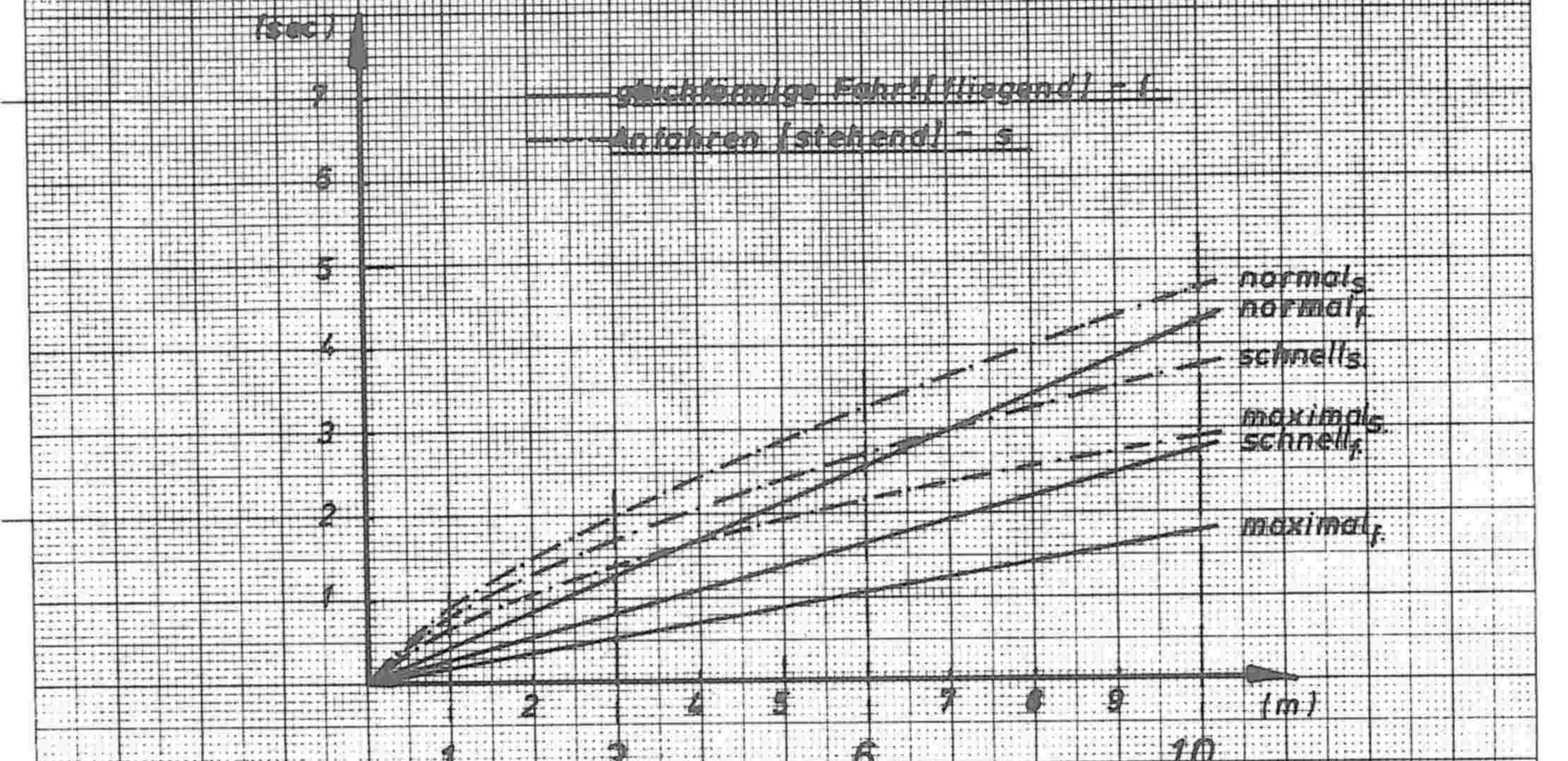
Weg – Zeit – Diagramm

Weg – Geschwindigkeit(v) – Beschleunigung(a)

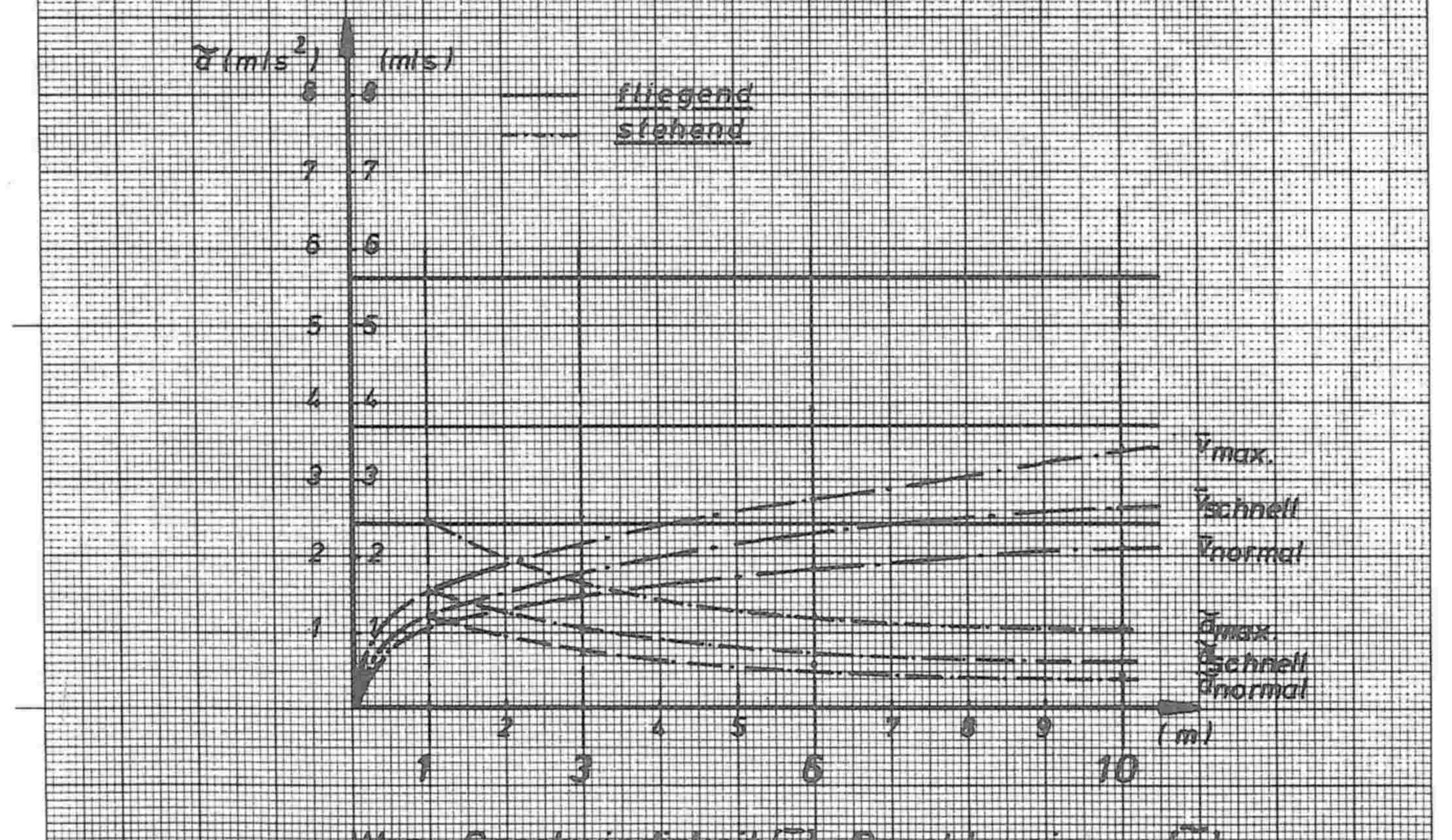


7.5 Kinderfahrrad

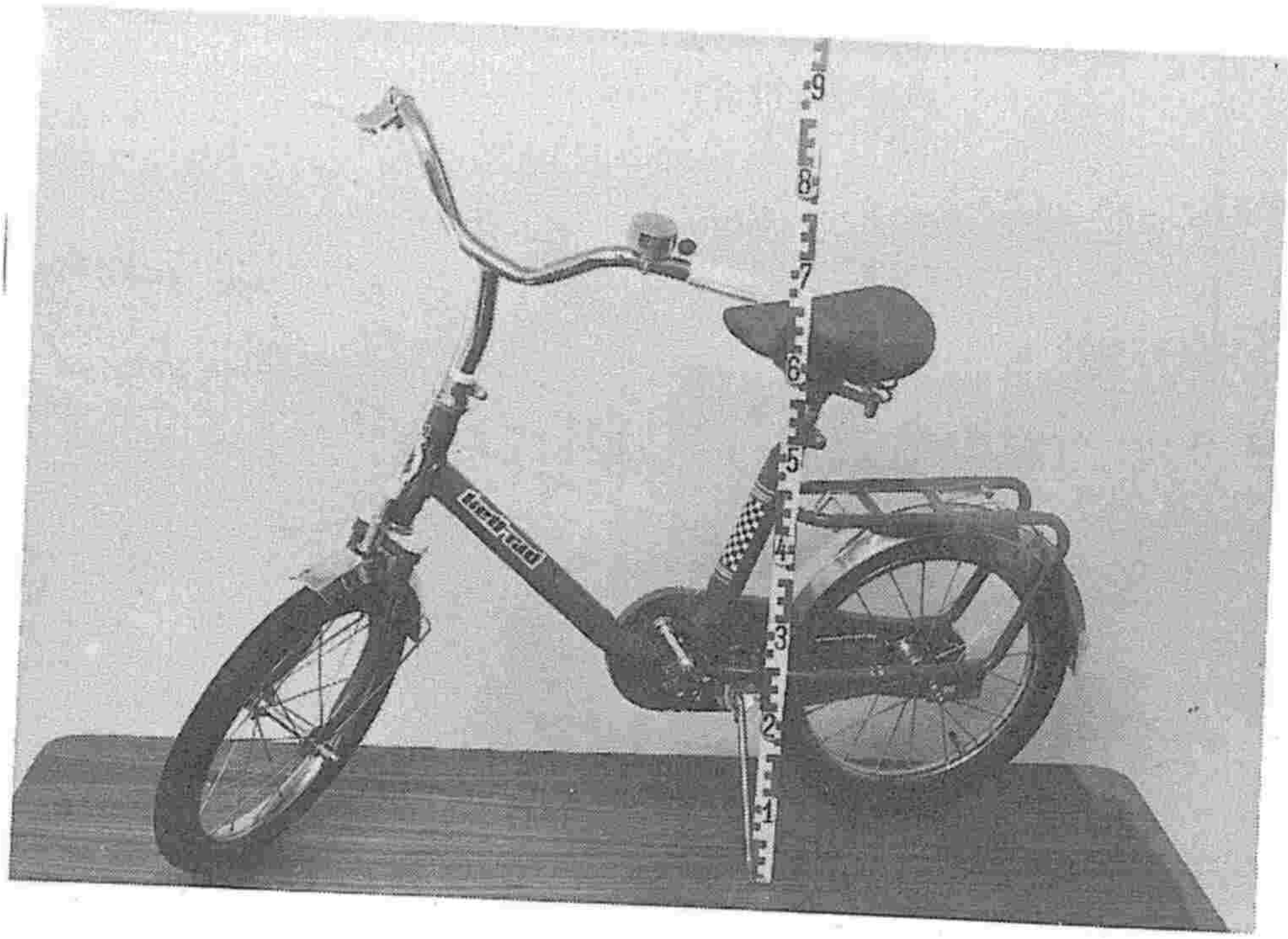
Reifengröße:	16 x 1,75"
Zähnezahl vom Kettenblatt:	3o
Zähnezahl vom Zahnkranz:	14
Übersetzungsverhältnis:	2,14 : 1
Tretkurbellänge:	11o mm
Rahmenhöhe:	6oo mm
Reifenart:	Luftreifen
Gangschaltung:	--
Reifendurchmesser:	4oo mm



Weg – Zeit – Diagramm

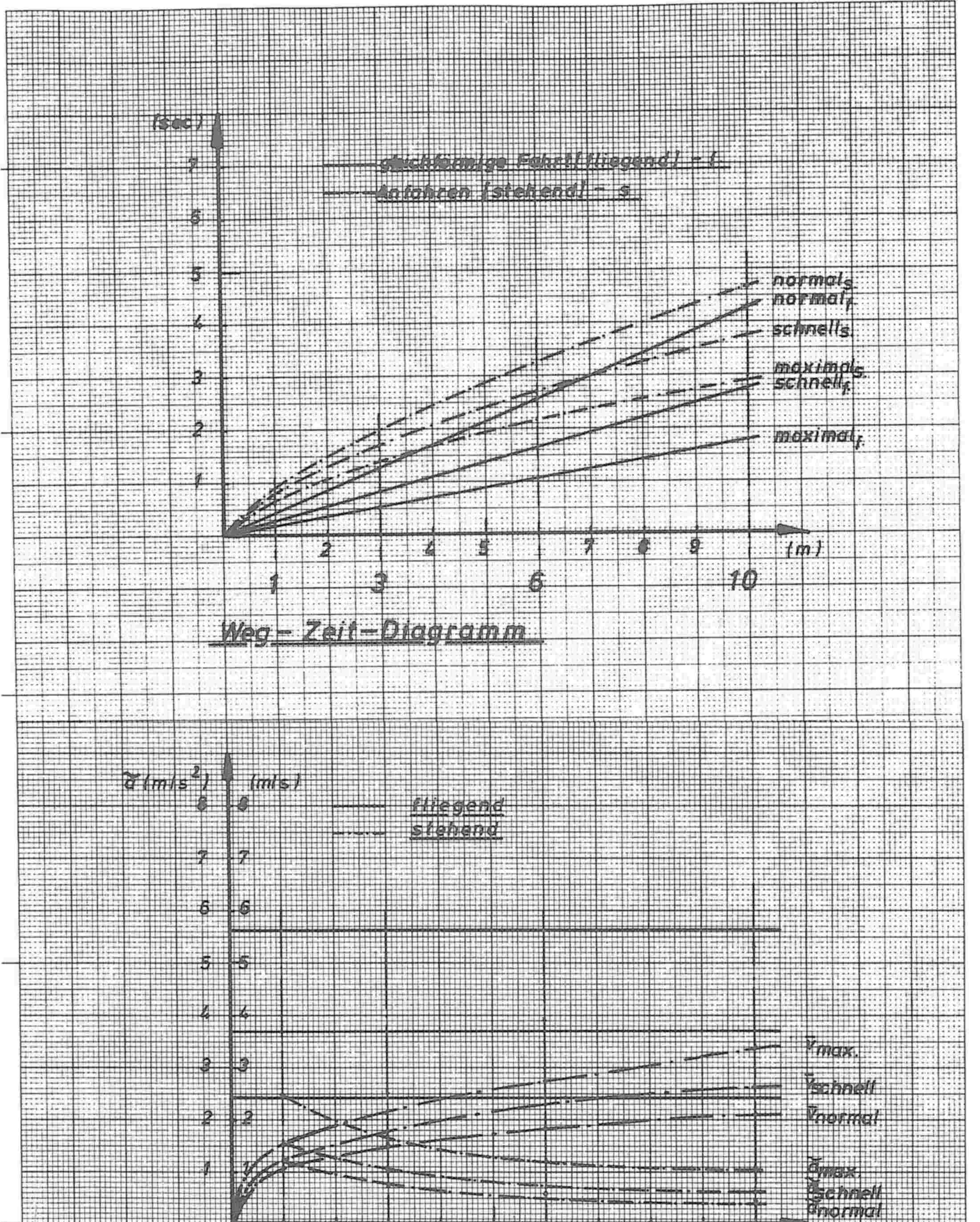


Weg – Geschwindigkeit (v̄) – Beschleunigung (ā)



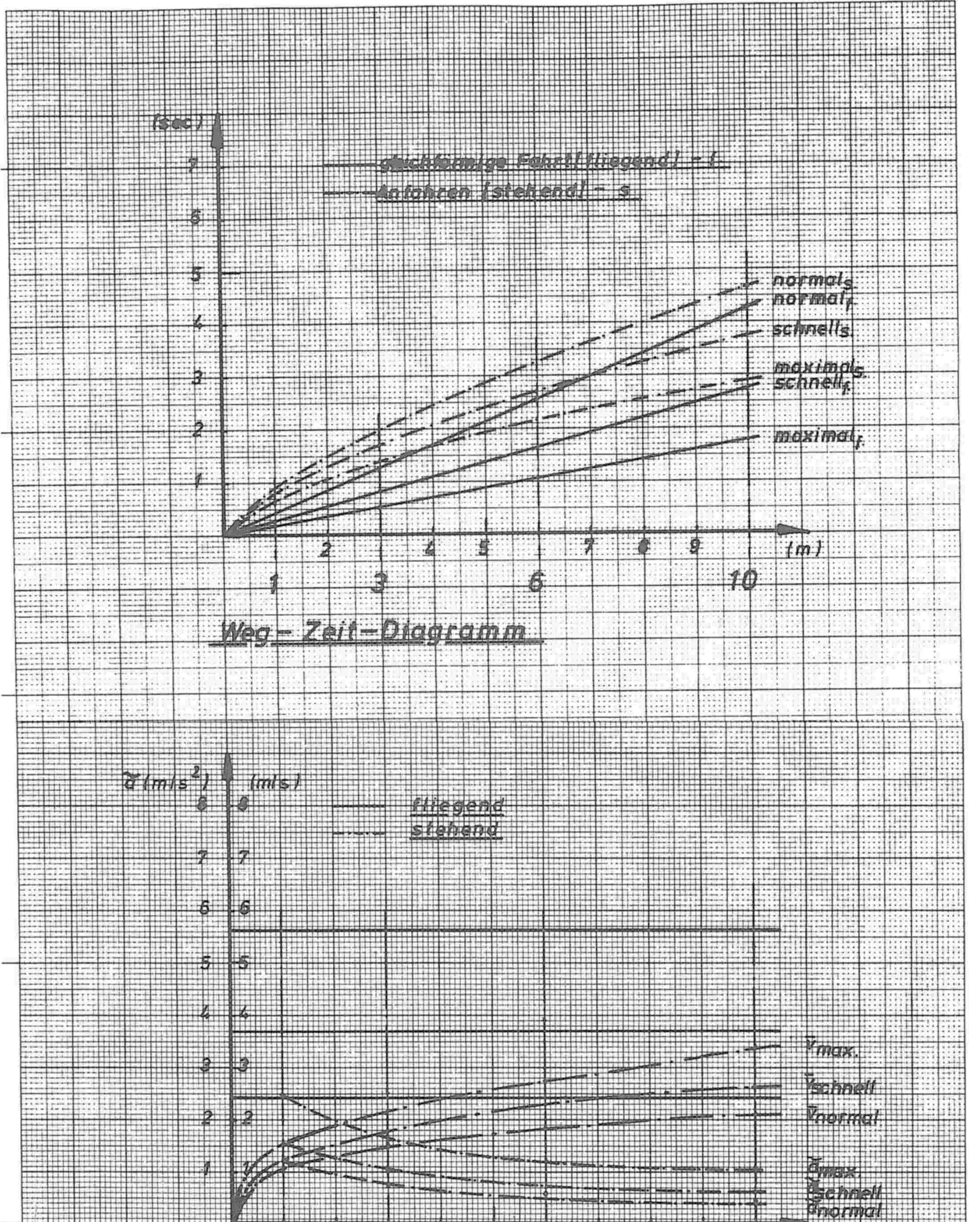
7.5 Kinderfahrrad

Reifengröße:	16 x 1,75"
Zähnezahl vom Kettenblatt:	3o
Zähnezahl vom Zahnkranz:	14
Übersetzungsverhältnis:	2,14 : 1
Tretkurbellänge:	11o mm
Rahmenhöhe:	6oo mm
Reifenart:	Luftreifen
Gangschaltung:	--
Reifendurchmesser:	4oo mm



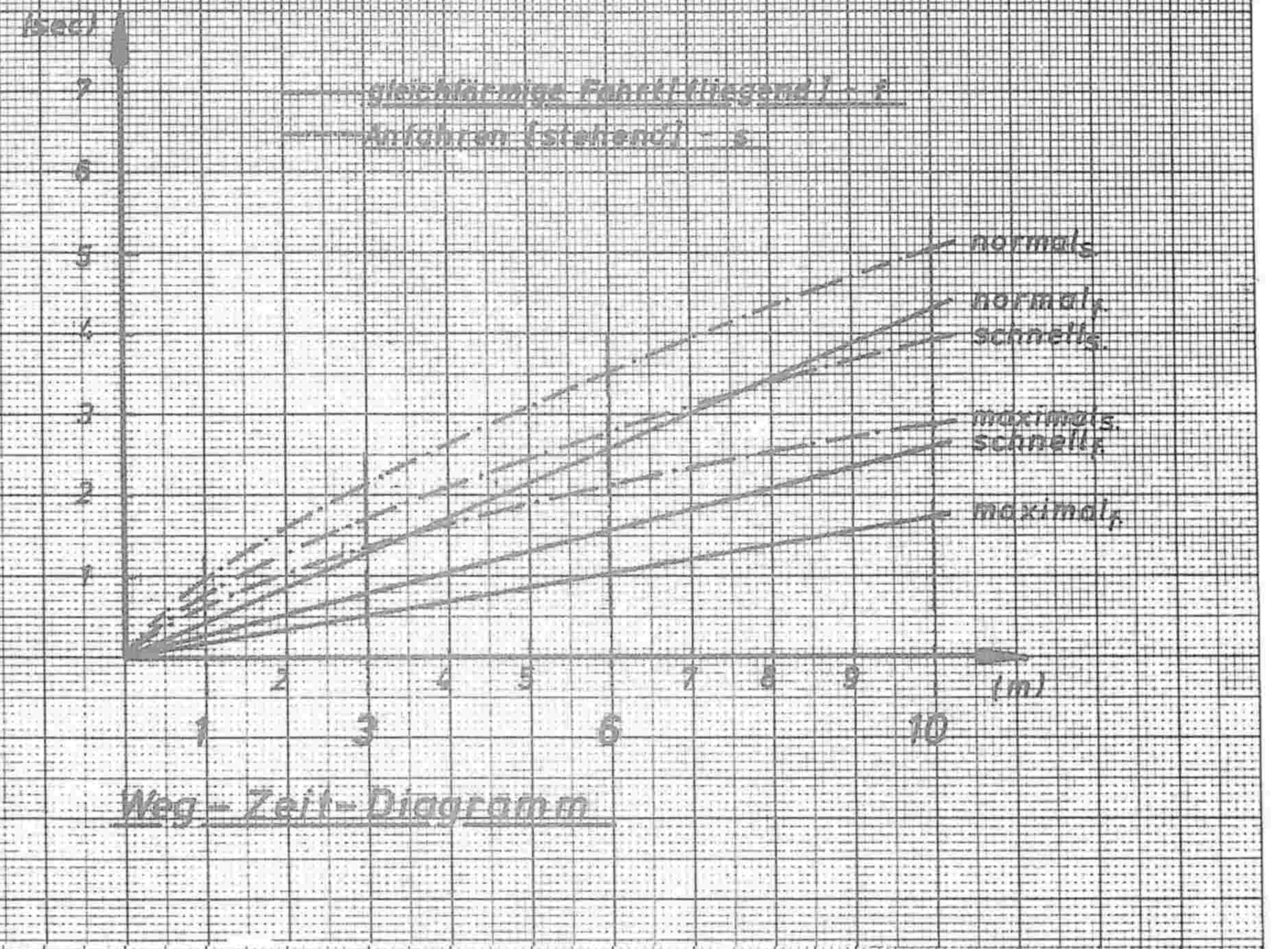
Weg – Zeit – Diagramm

Weg – Geschwindigkeit (v̄) – Beschleunigung (ā)

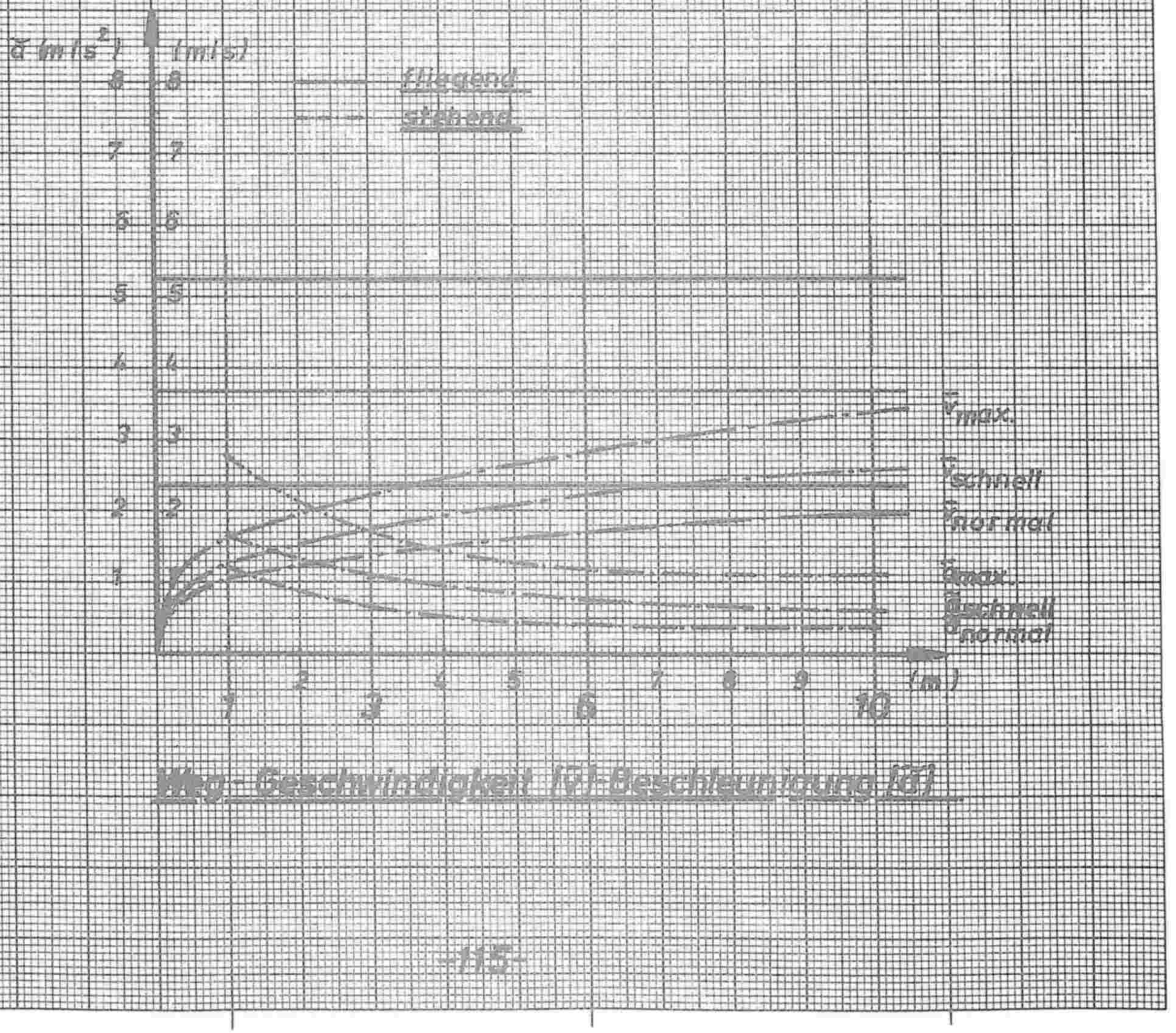


Weg – Zeit – Diagramm

Weg – Geschwindigkeit (v̄) – Beschleunigung (ā)



Weg - Zeit - Diagramm



v- Geschwindigkeit / a- Beschleunigung / t

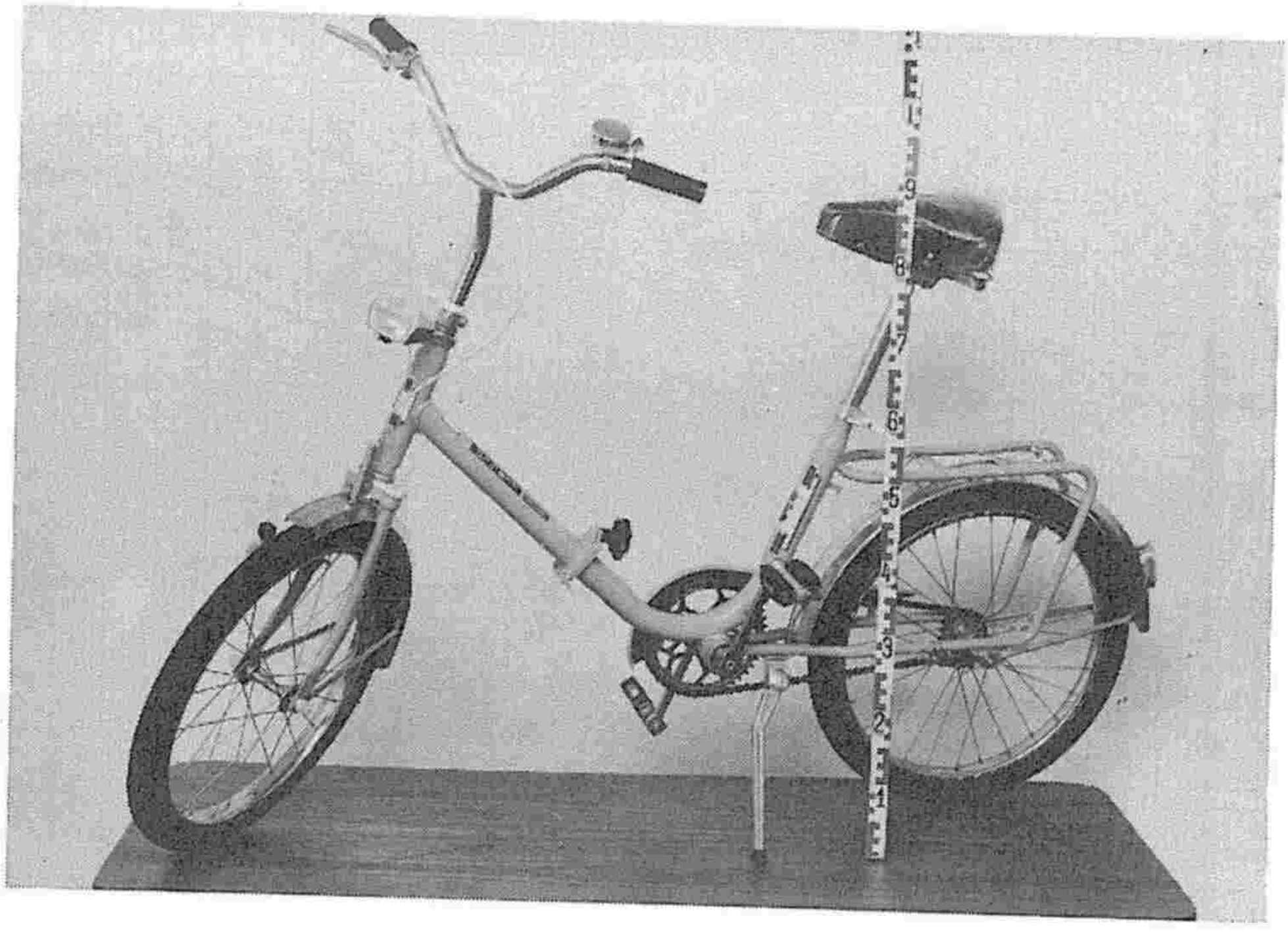


7.7 Jugendfahrrad

Reifengröße:	18 x 1,75
Zähnezahl vom Kettenblatt:	3o
Zähnezahl vom Zahnkranz:	14
Übersetzungsverhältnis:	2,14 : 1
Tretkurbellänge:	11o mm
Rahmenhöhe:	65o mm
Reifenart:	Luftreifen
Gangschaltung:	--
Reifendurchmesser:	45o mm

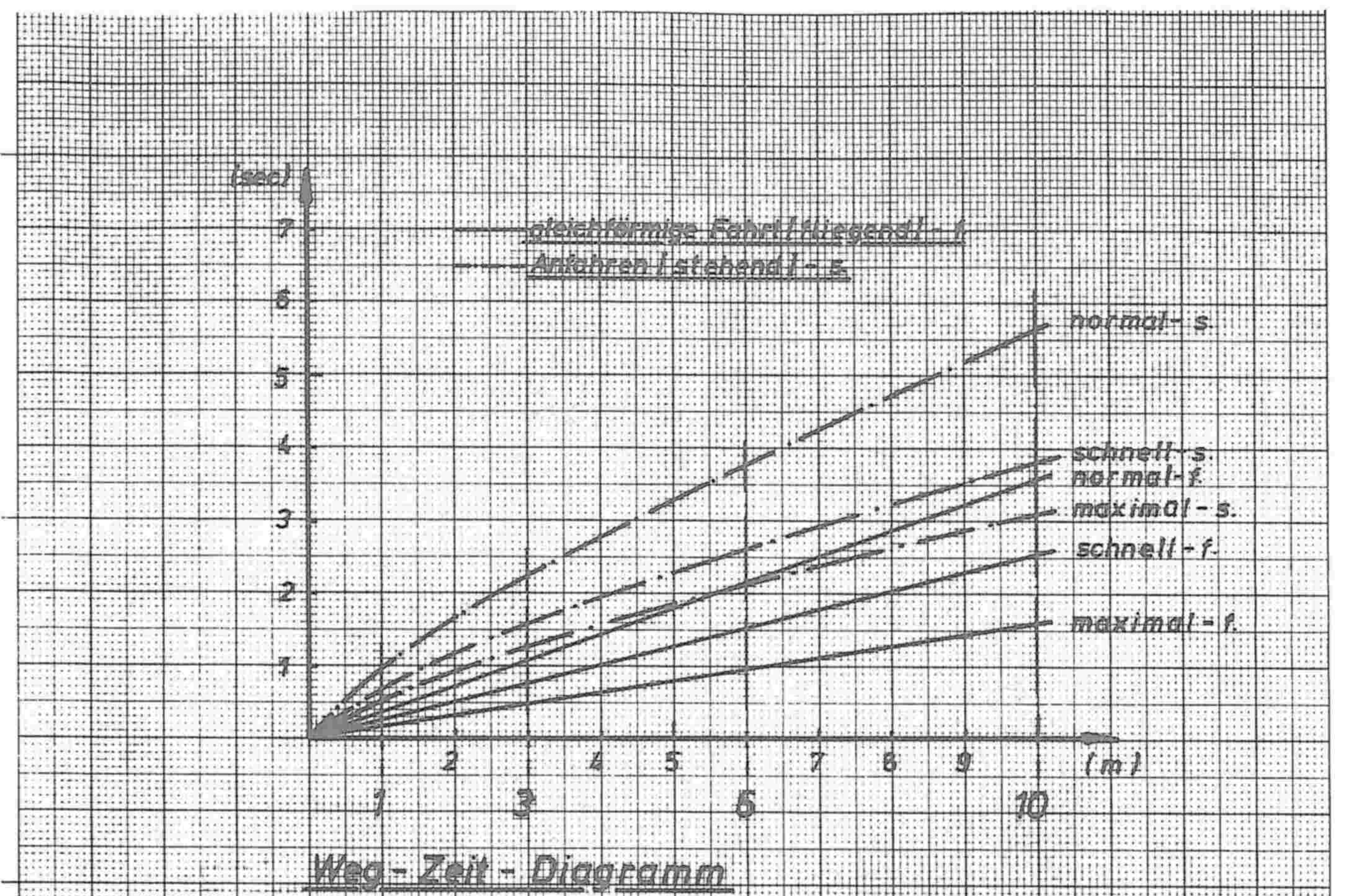
Weg – Zeit – Diagramm

Weg – Geschwindigkeit ($\vec{v}$) – Beschleunigung ($\vec{a}$)

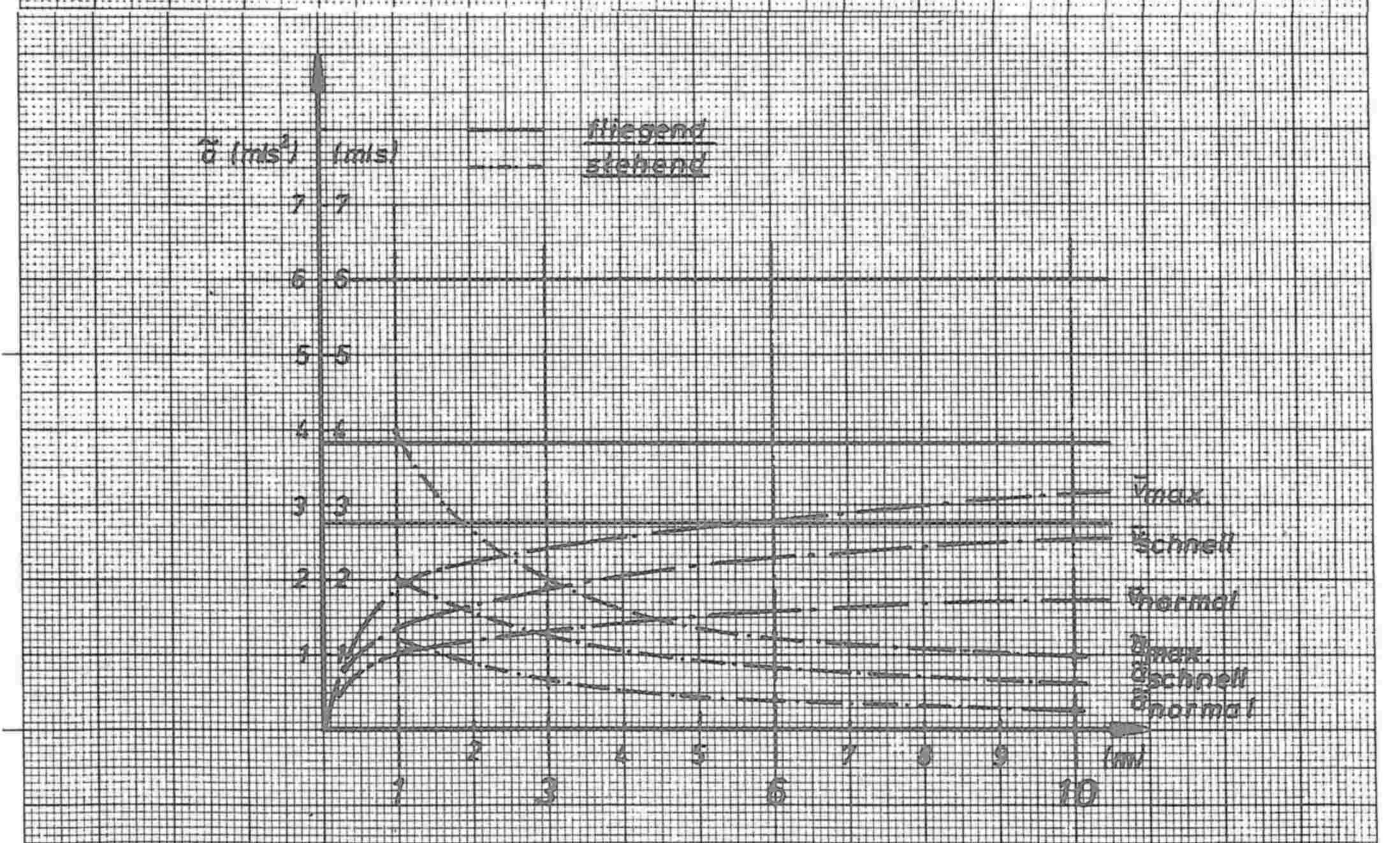


7.8 Klappfahrrad

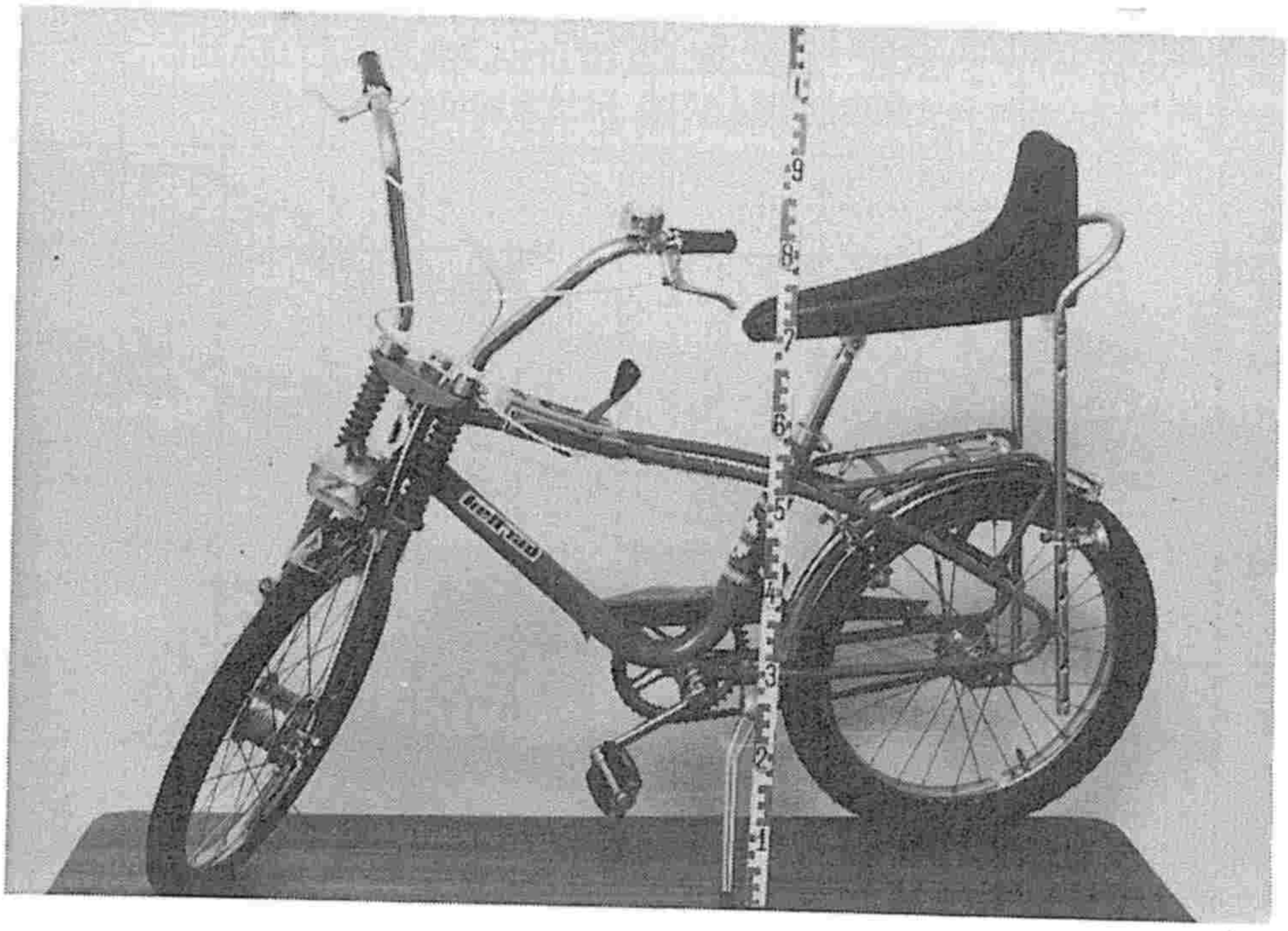
Reifengröße:	2o x 1,75"
Zähnezahl vom Kettenblatt:	44
Zähnezahl vom Zahnkranz:	18
Übersetzungsverhältnis:	2,44 : 1
Tretkurbellänge:	165 mm
Rahmenhöhe:	6oo mm
Reifenart:	Luftreifen
Gangschaltung:	--
Reifendurchmesser:	45o mm



Weg - Zeit - Diagramm

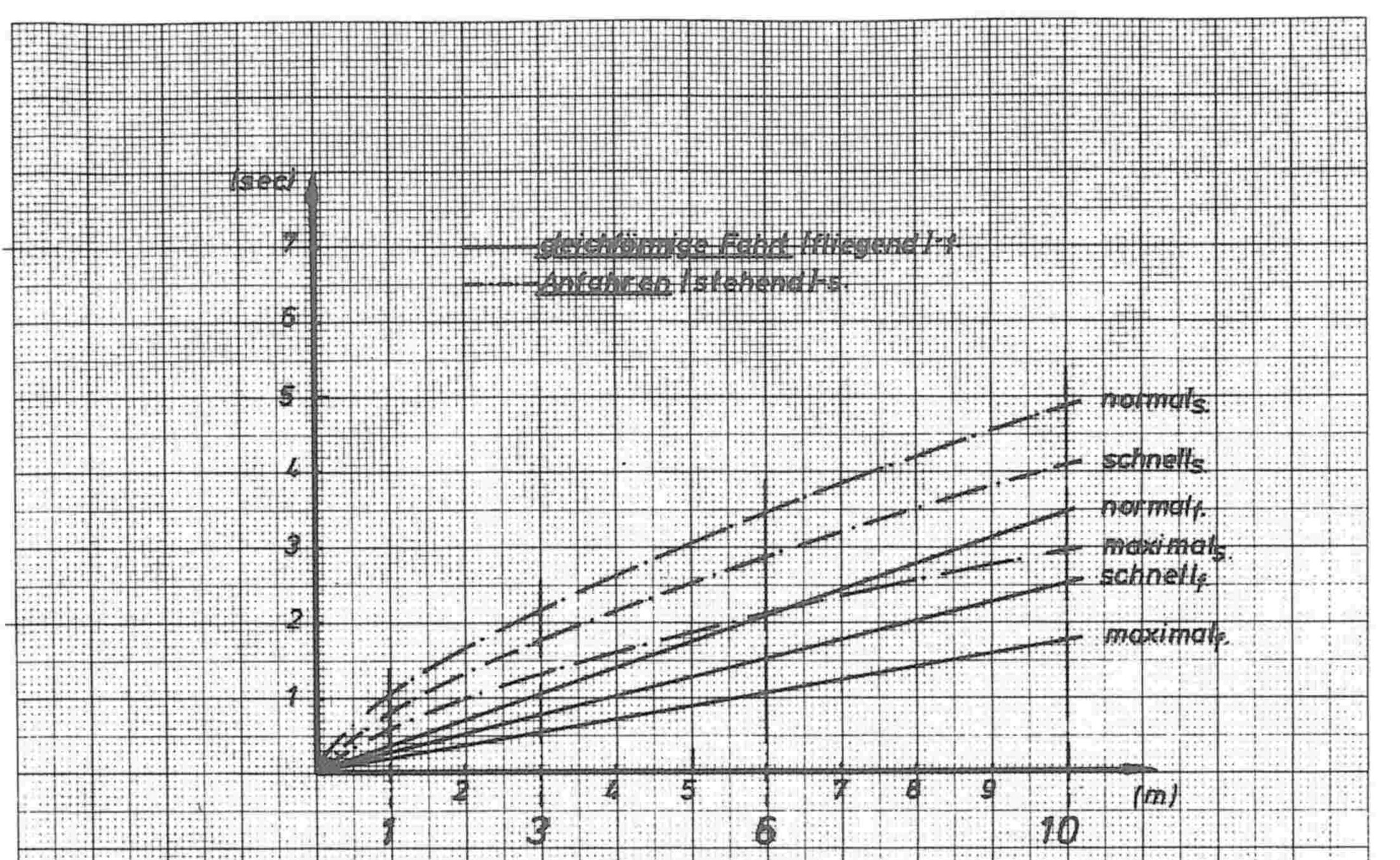


Weg-Geschwindigkeit(v)-Beschleunigung(ā)

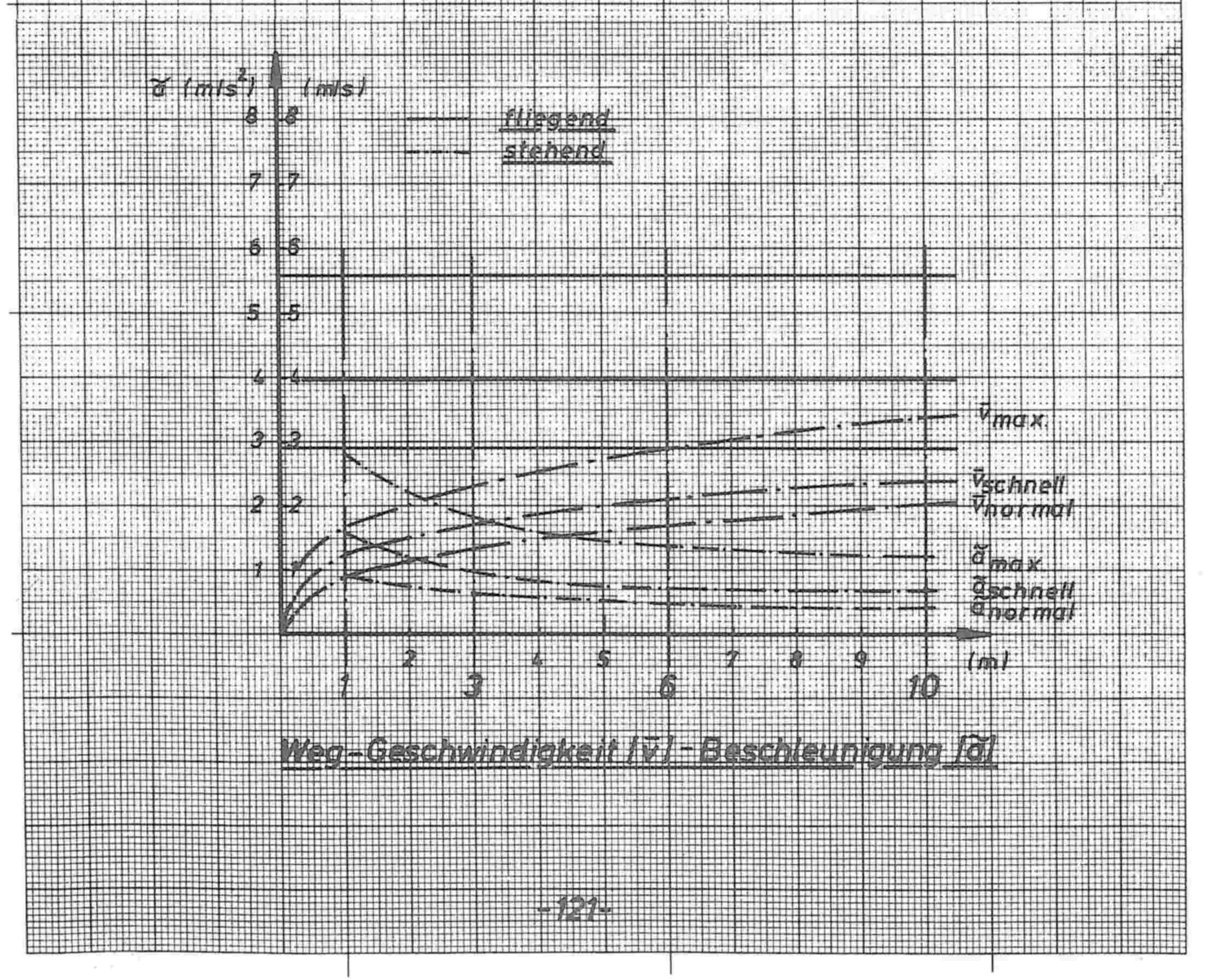


7.9 Sportrad (3 Gänge)

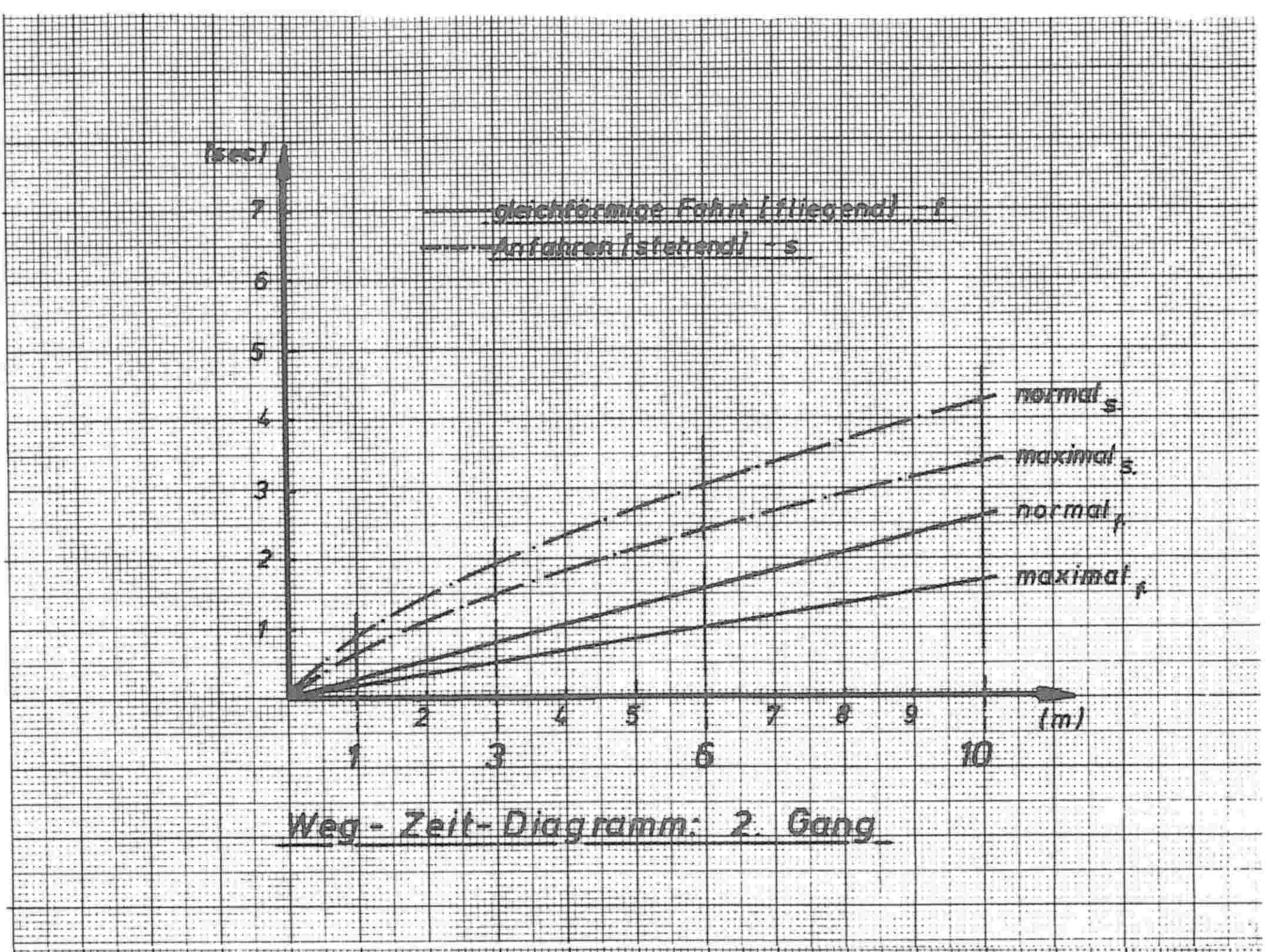
Reifengröße:	2o x 2,125"
Zähnezahl vom Kettenblatt:	44
Zähnezahl vom Zahnkranz:	18
Übersetzungsverhältnis:	2,44 : 1
Tretkurbellänge:	15o mm
Rahmenhöhe:	71o mm
Reifenart:	Luftreifen
Gangschaltung:	3 Gänge
Reifendurchmesser:	5oo mm



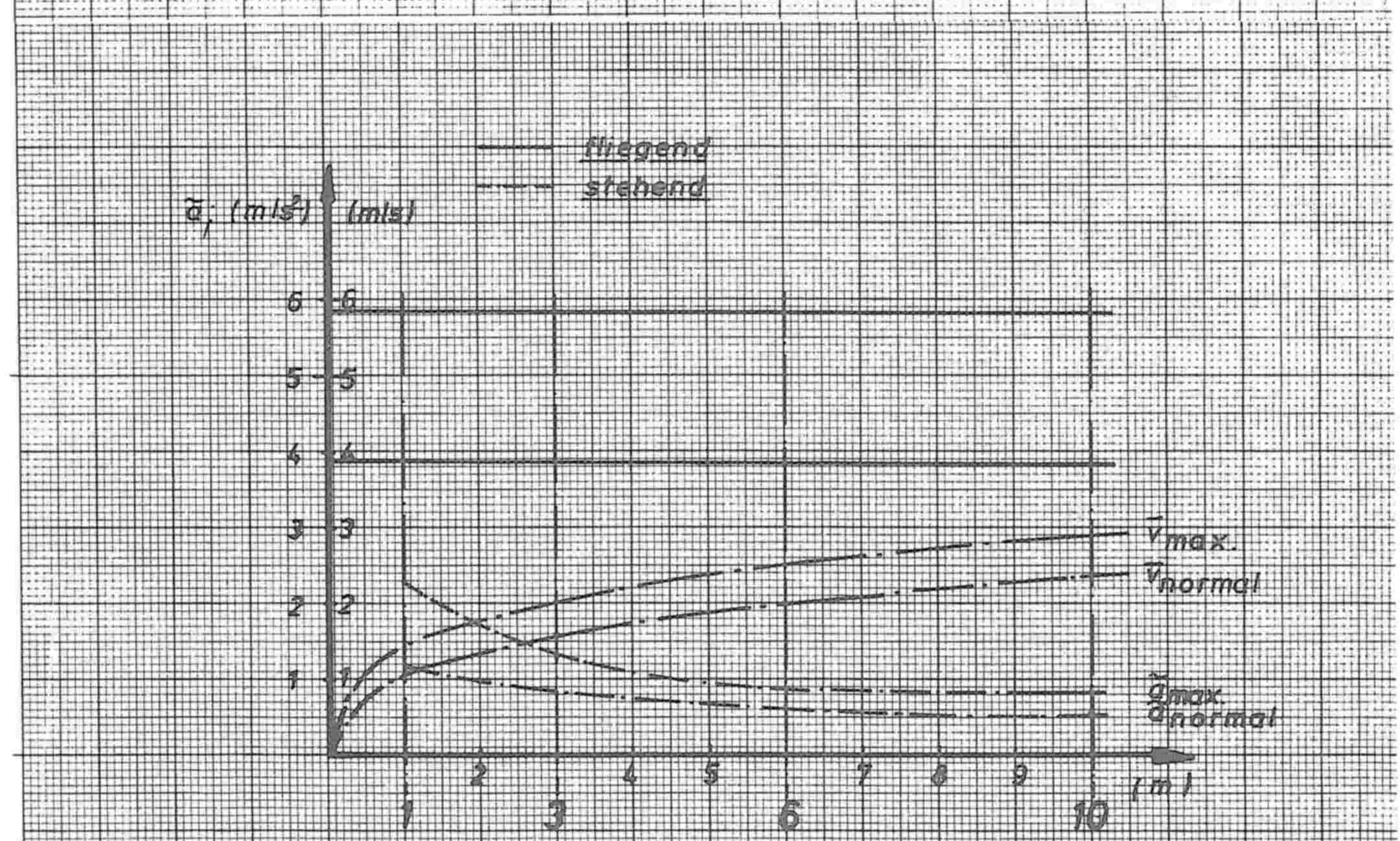
Weg - Zeit - Diagramm: 1 Gang



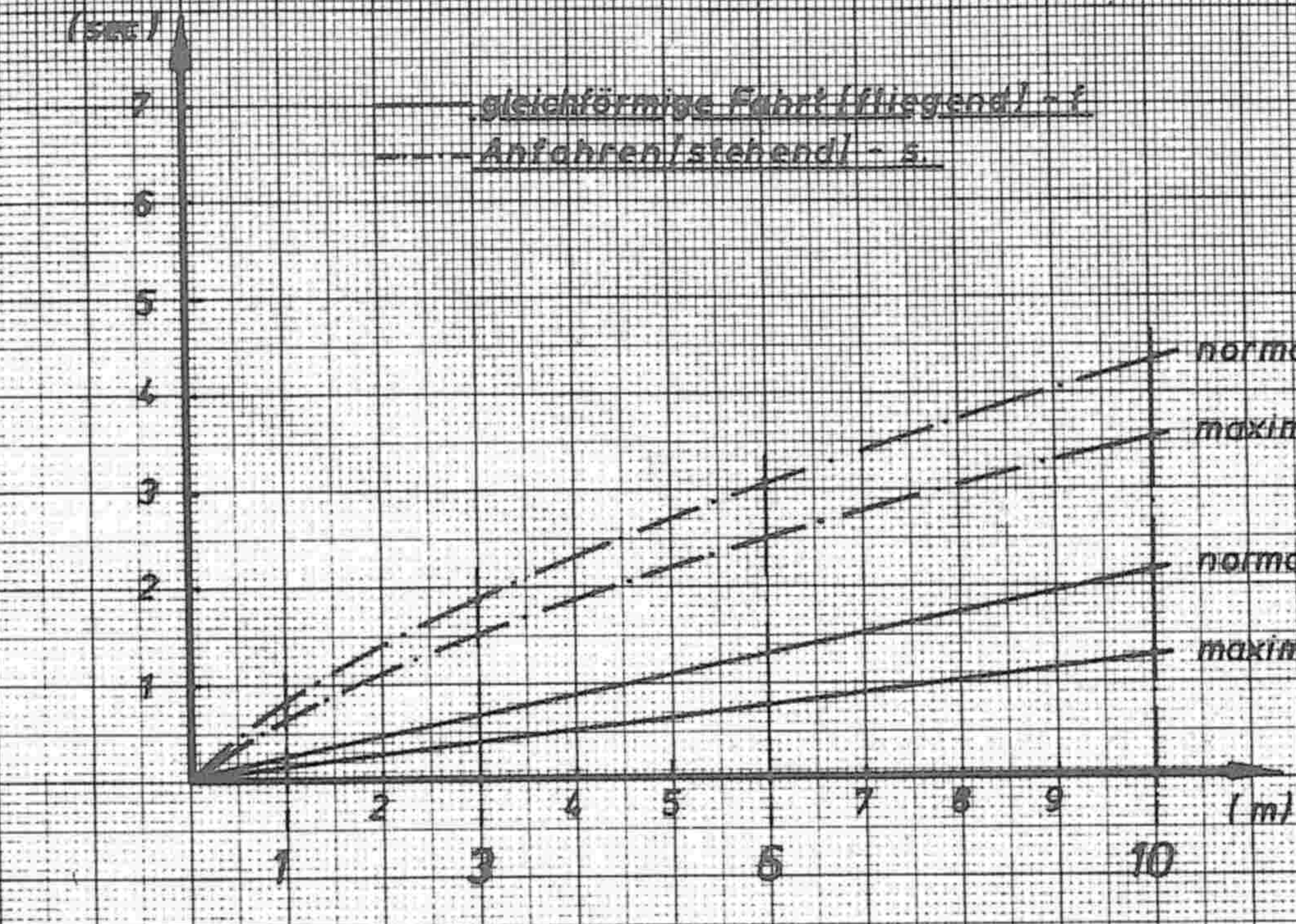
Weg-Geschwindigkeit (v̄) - Beschleunigung (ā)



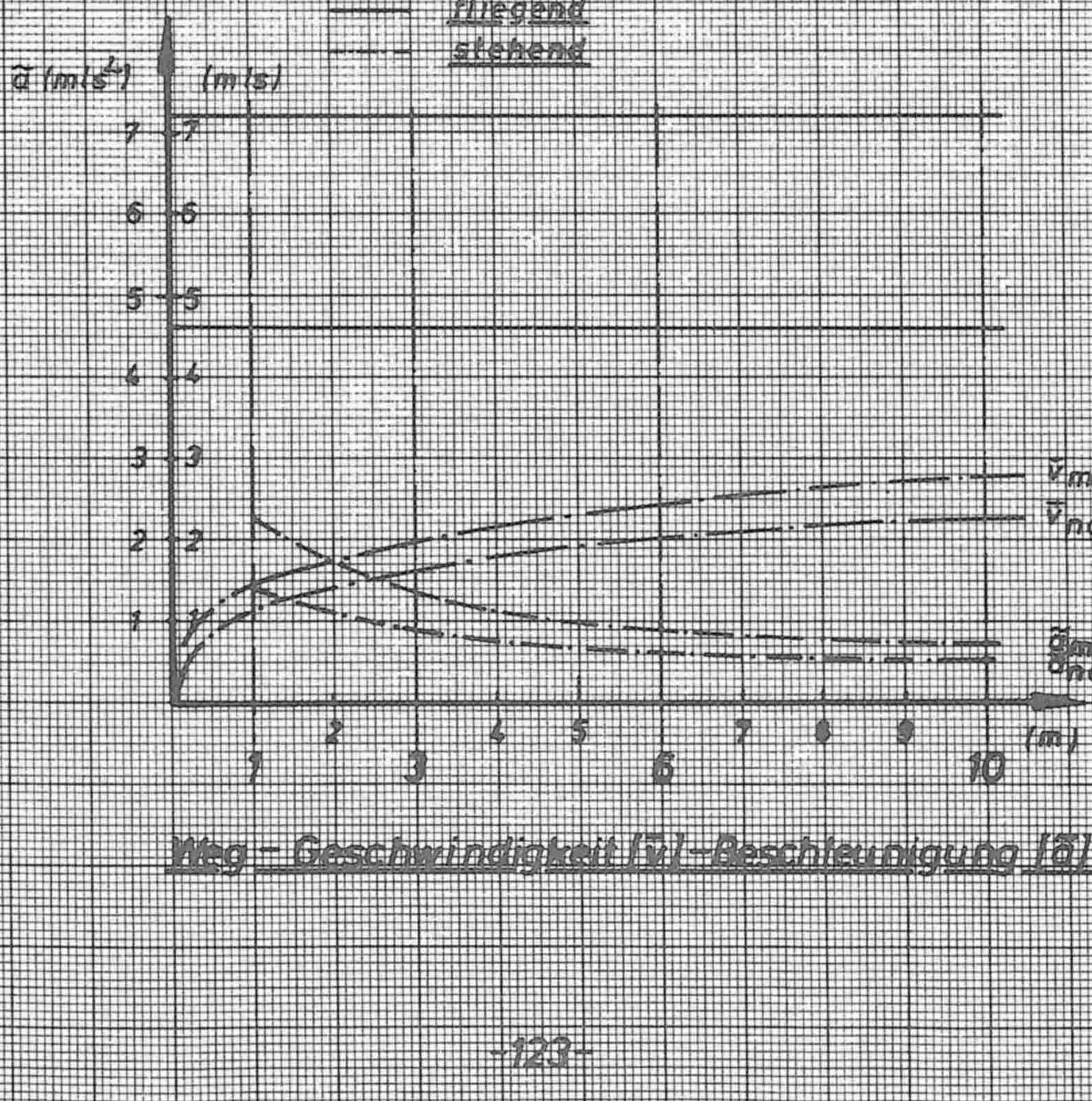
Weg - Zeit - Diagramm: 2. Gang



Weg - Geschwindigkeit [v] - Beschleunigung [a]



Weg - Zeit - Diagramm: 3. Gang

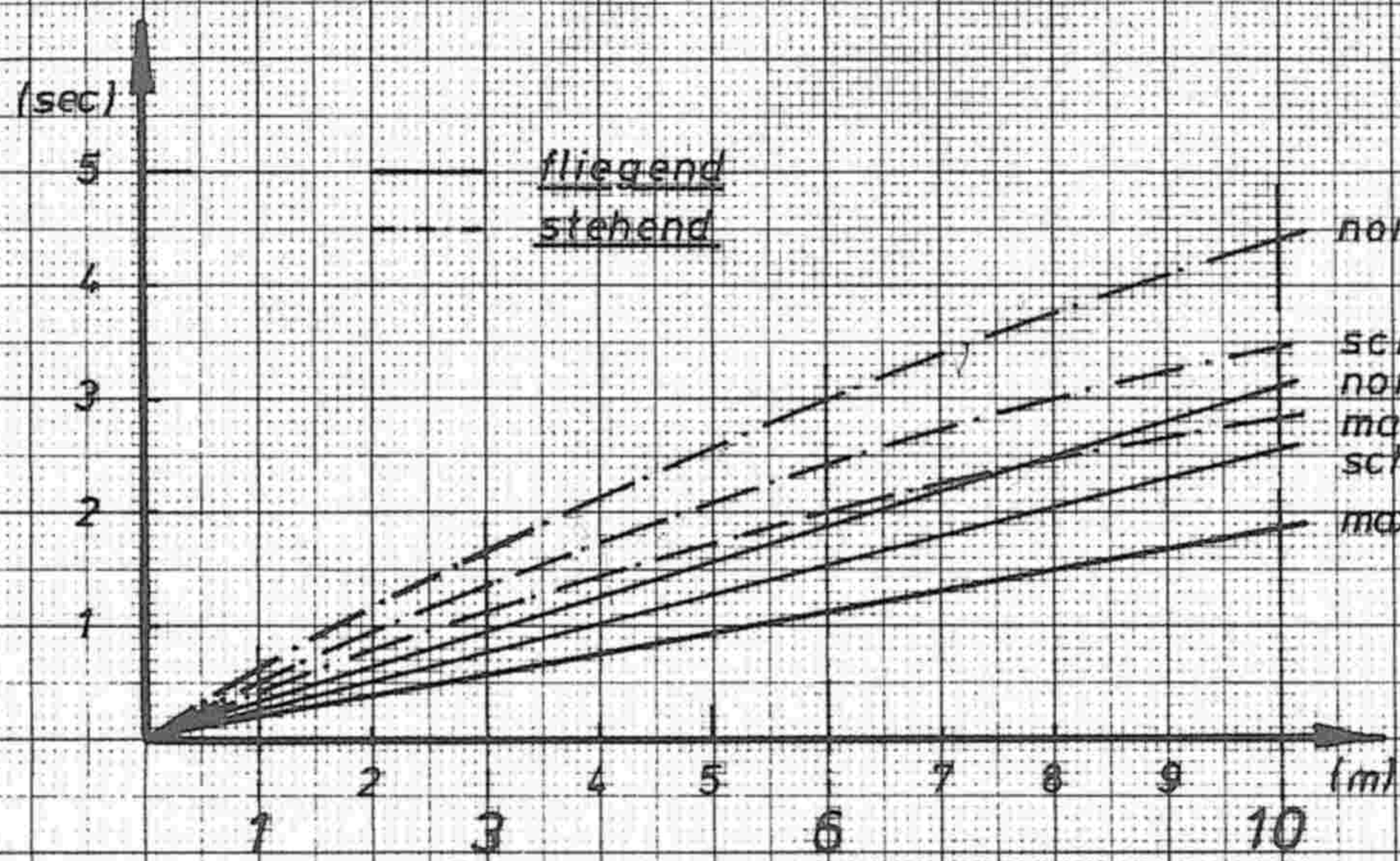


Weg - Geschwindigkeit (v) - Beschleunigung (a)

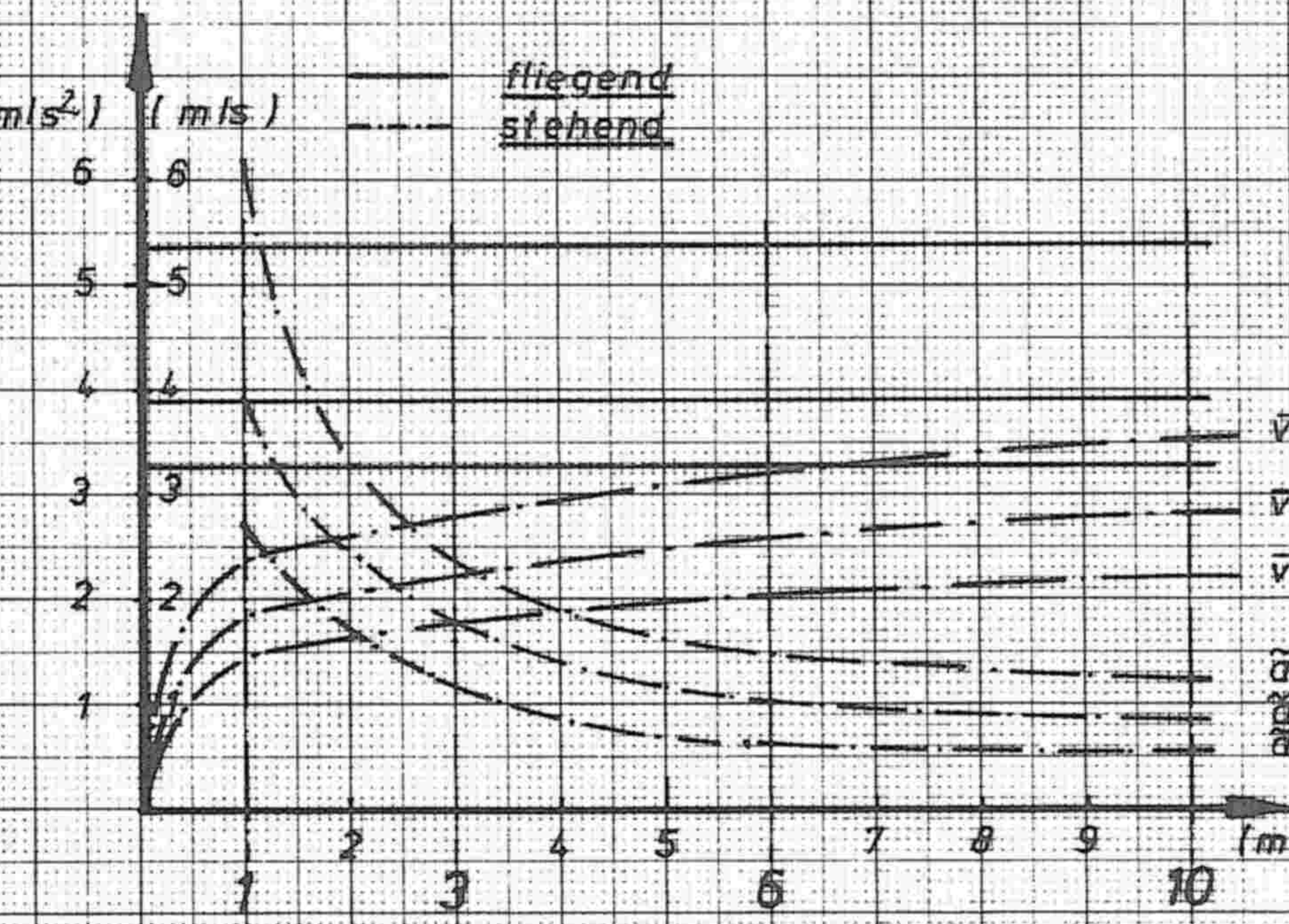


7.1o Damenfahrrad

Reifengröße:	26 x 1,75 x 2
Zähnezahl vom Kettenblatt:	46
Zähnezahl vom Zahnkranz:	18
Übersetzungsverhältnis:	2,67 : 1
Tretkurbellänge:	17o mm
Rahmenhöhe:	66o mm
Reifenart:	Luftreifen
Gangschaltung:	--
Reifendurchmesser:	57o mm



Weg – Zeit – Diagramm



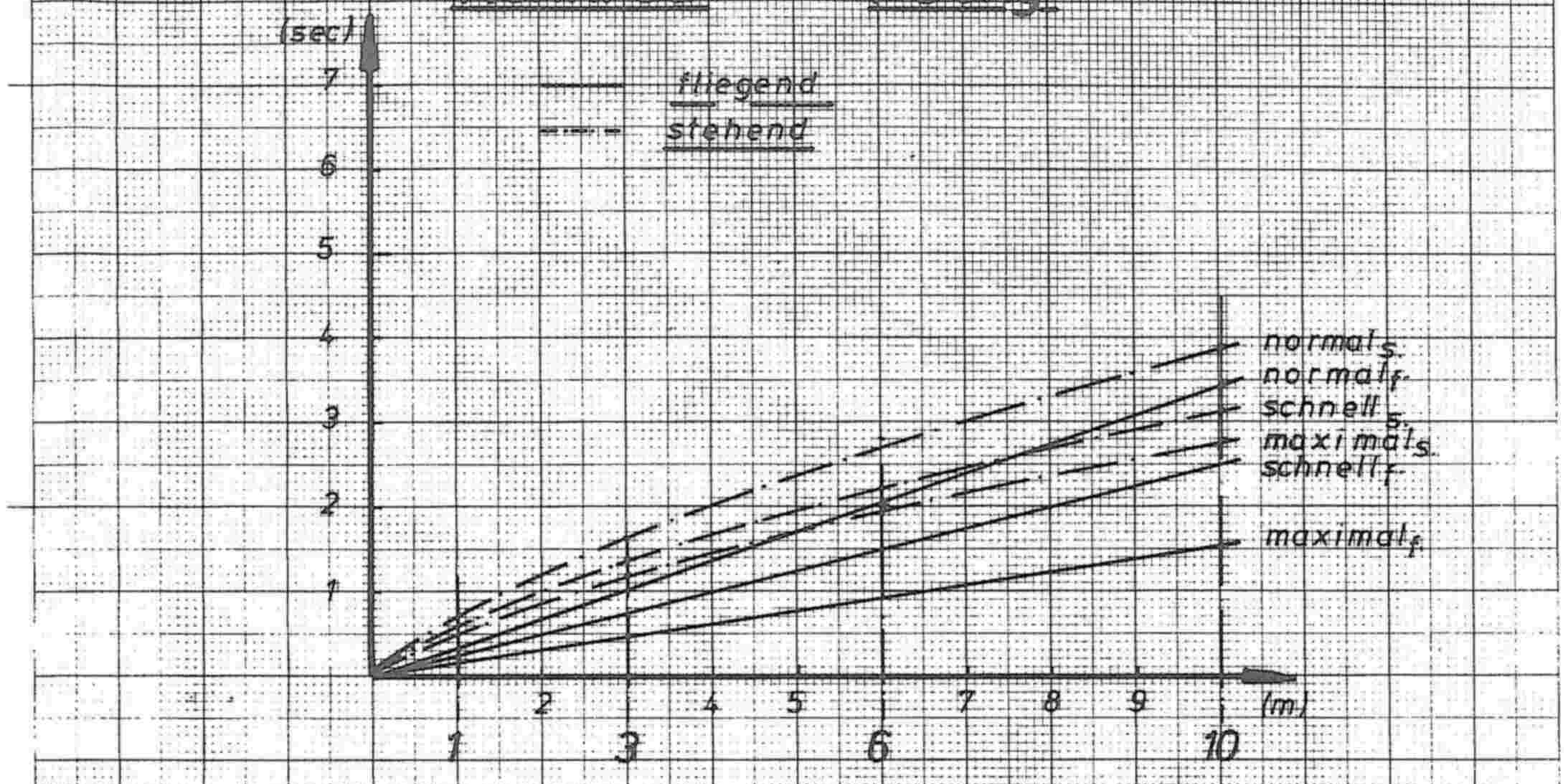
Weg-Geschwindigkeit [v̄]- Beschleunigung [ã]



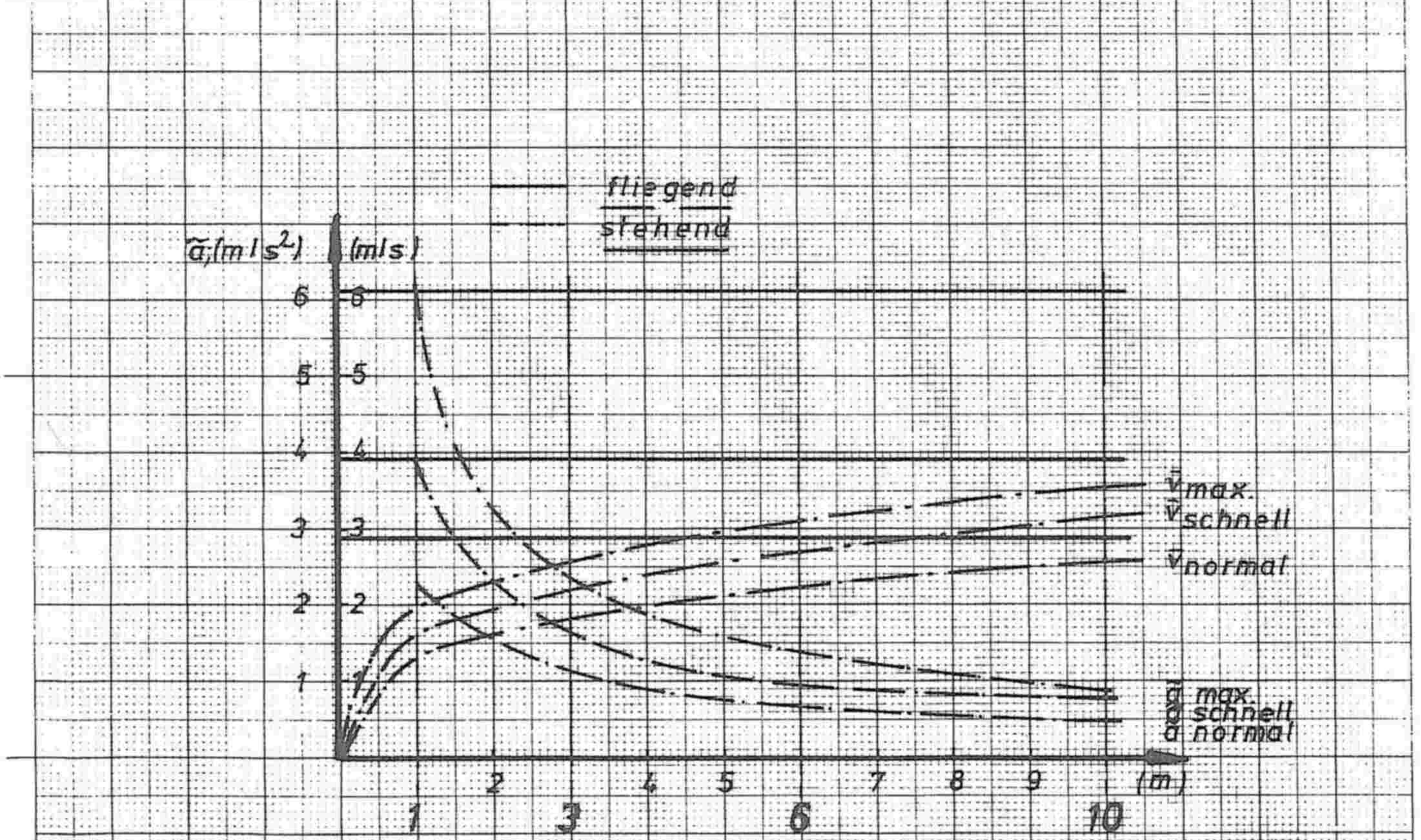
7.11 Rennrad

Reifengröße:	28 x 1,375"
Zähnezahl vom Kettenblatt:	52
	47
Zähnezahl vom Zahnkranz:	14
	17
	19
	21
	23
Gangschaltung:	1o Gänge
Reifenart:	Luftreifen

Rennrad 1. Gang



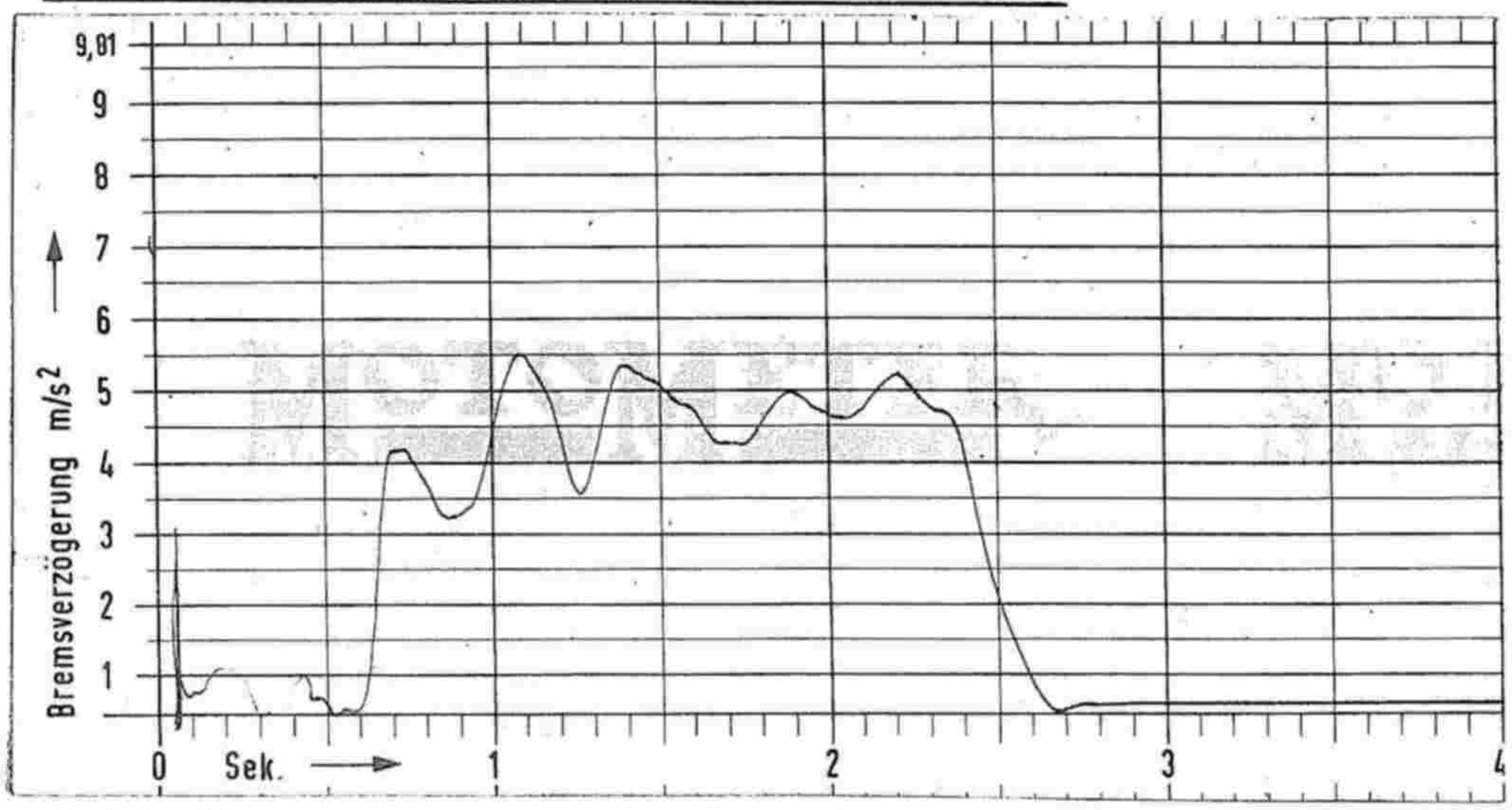
Weg - Zeit - Diagramm



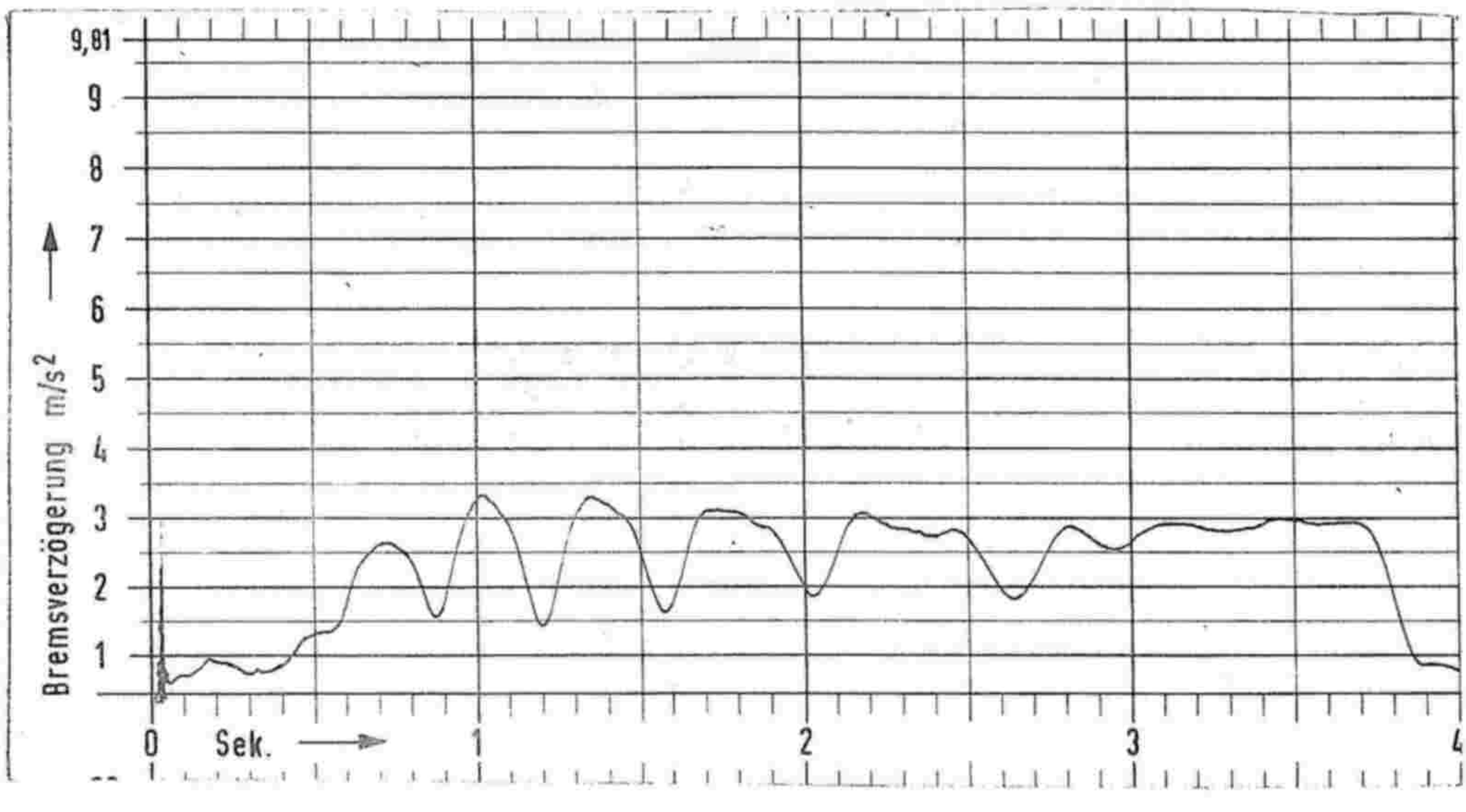
Weg - Geschwindigkeit - [$\bar{v}$] Beschleunigung [$\tilde{a}$]

8. Bremsversuche m. Fahrrädern

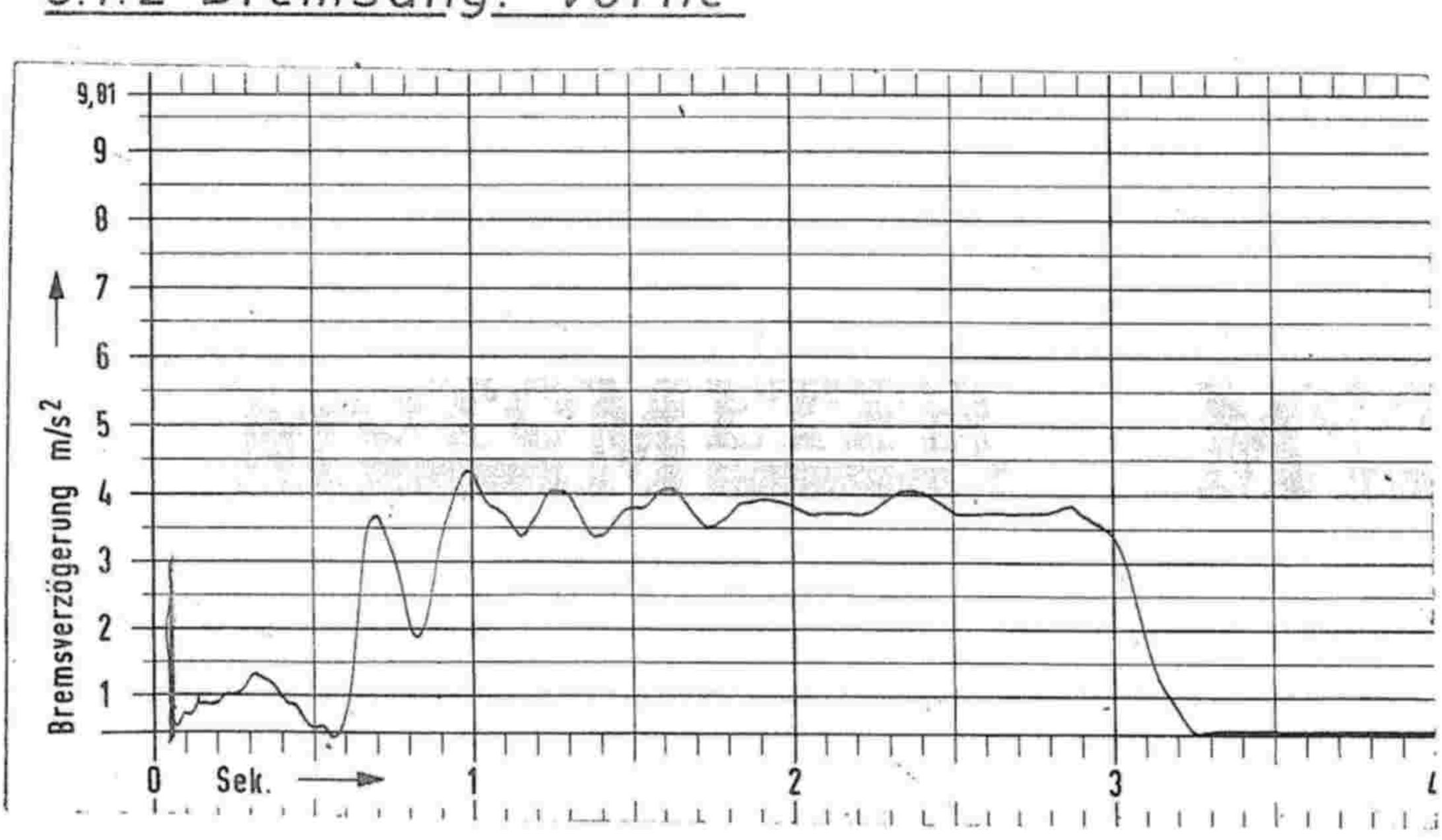
8.1 Rücktritt u. Kabelstoßbremse



8.1.1 Bremsung: vorne u. hinten

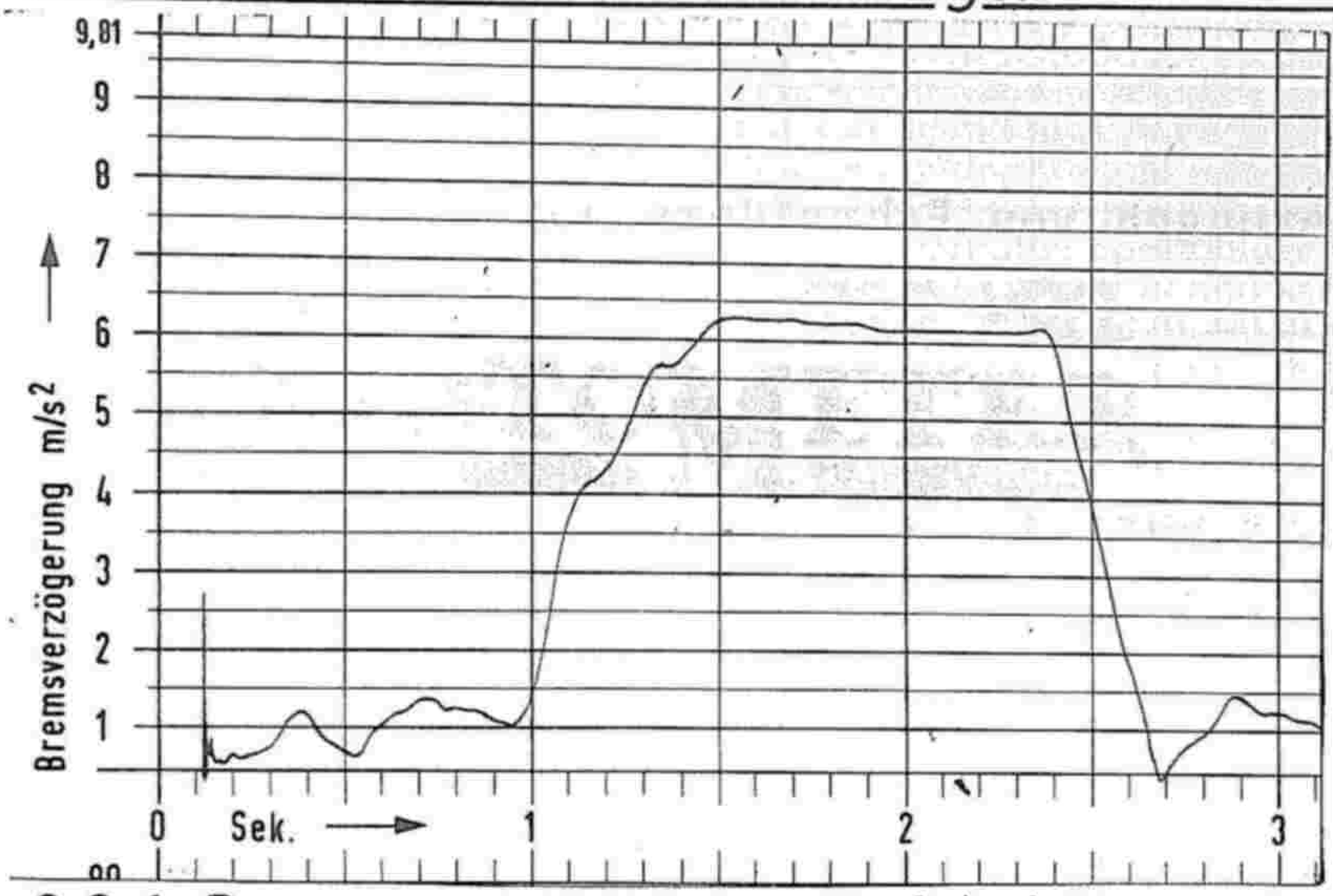


8.1.2 Bremsung: vorne

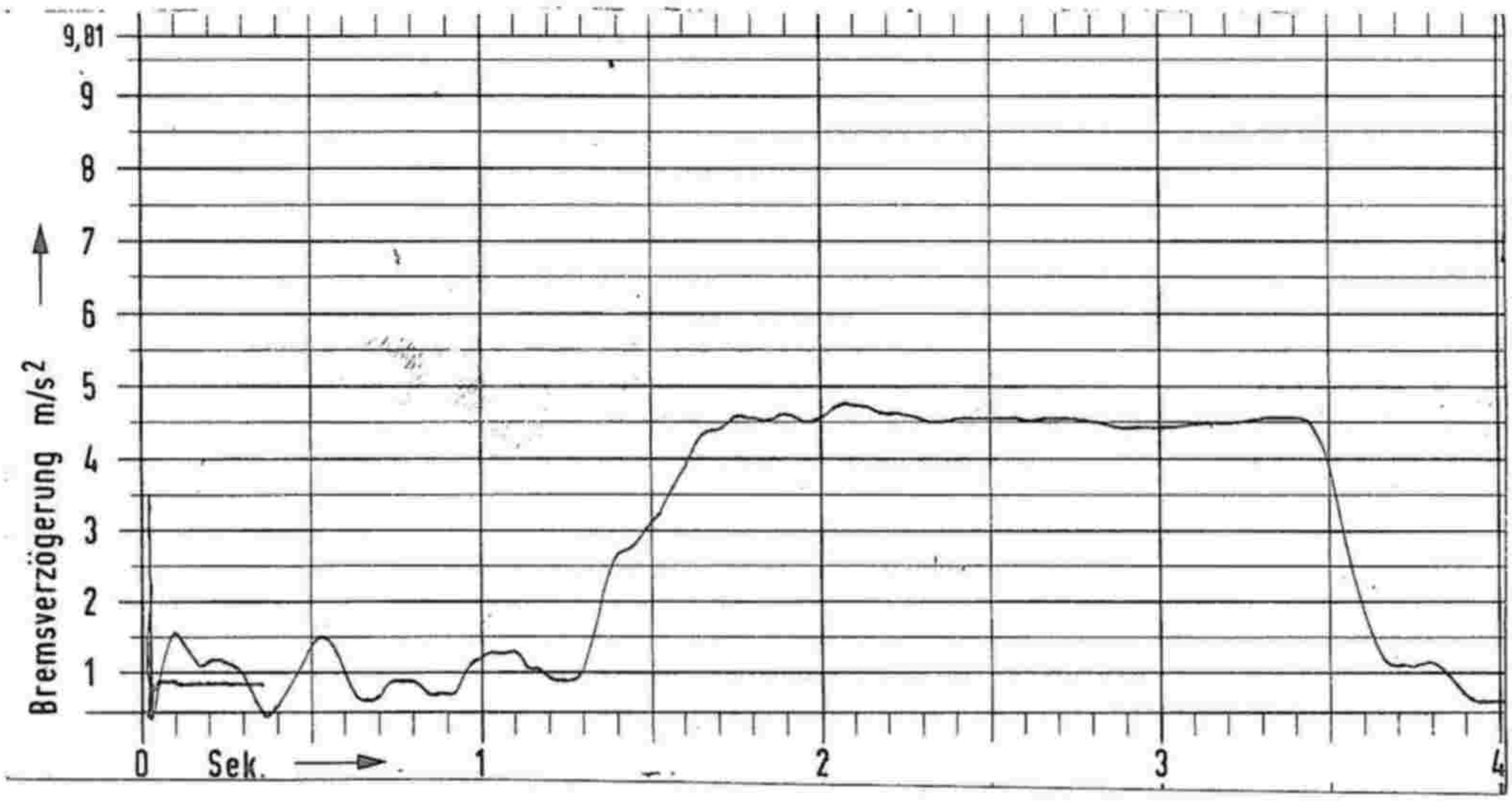


8.1.3 Bremsung: hinten

8.2 Bremsarme auf beide Felgen wirkend



8.2.1 Bremsung: vorne u. hinten



8.2.2 Bremsung: vorne

8.2.3 Bremsung: hinten

9. Gleitverzögerungen von Fahrrädern auf Asphalt

Die Gleitversuche wurden auf einer ebenen Fahrbahnoberfläche mit mittlerer Mikro- und Makrorauhigkeit durchgeführt.

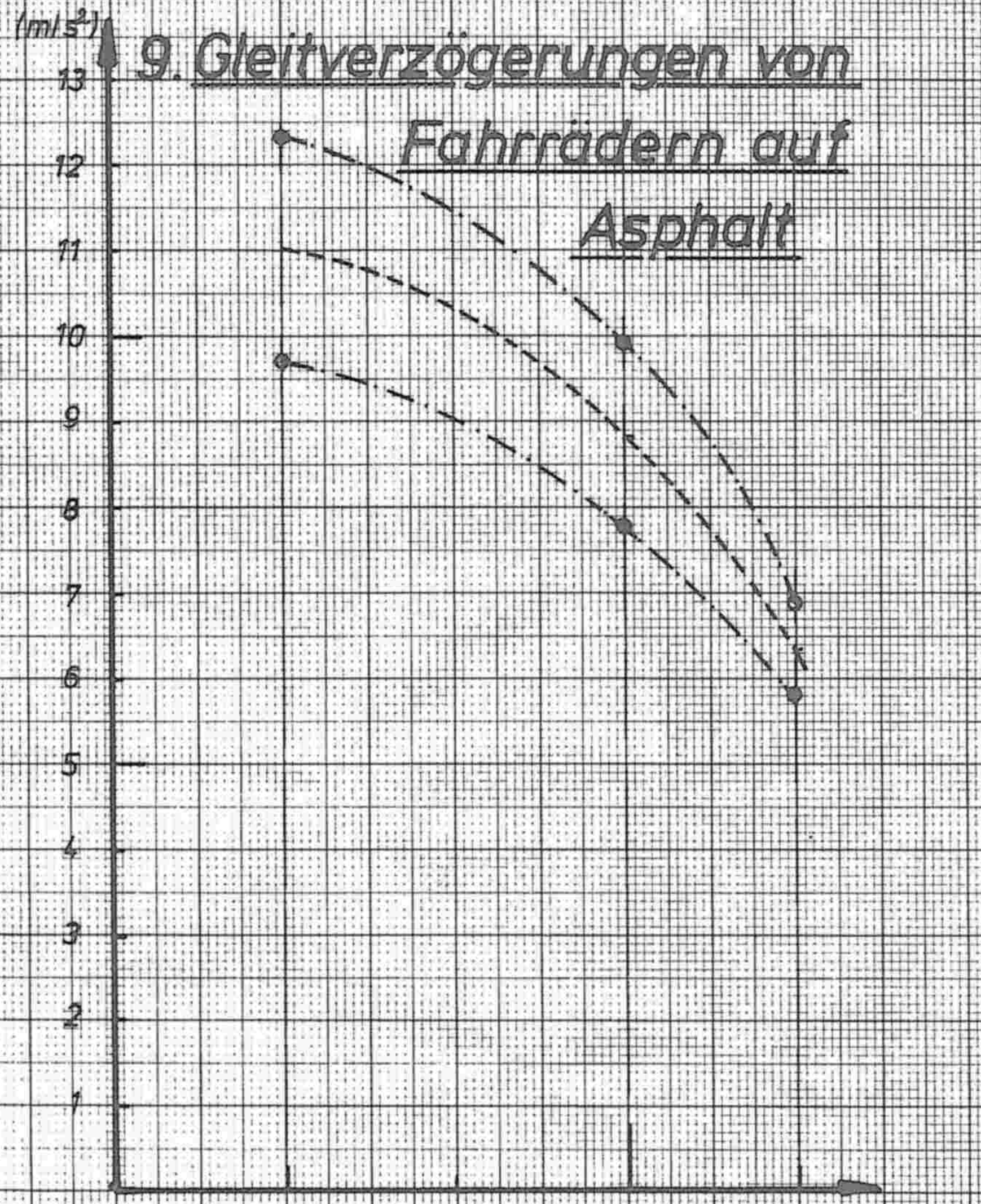
Zur Ermittlung der Verzögerungswerte wurde das benutzte Fahrrad an einem Fahrzeug zwangsgeführt und zu Fall gebracht bzw. aus einem Fahrzeug in horizontaler Lage auf die Fahrbahn abgeworfen. Über die dabei gemessenen Verzögerungsstrecken (erster Aufschlagpunkt bis Endlage) und die jeweilige Versuchsgeschwindigkeit wurde dann auf die Gleitverzögerung zurückgerechnet.

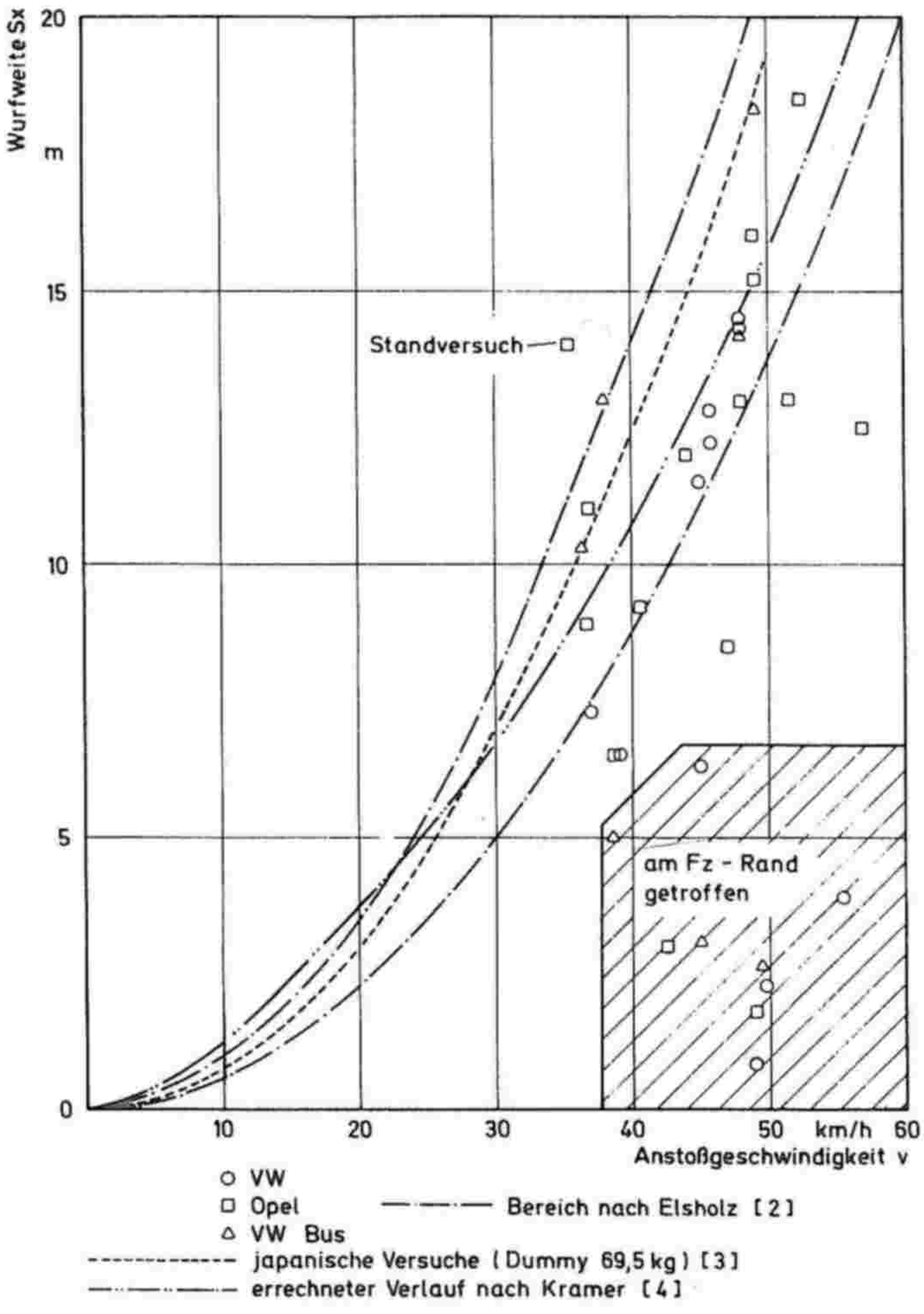
Die Versuchsgeschwindigkeit des Fahrzeuges wurde bei jedem Versuch durch eine elektronische Zeitmessung über einer festgelegten Wegstrecke (s = 1 m) gemessen.

Das nachfolgende Diagramm zeigt, daß die Gleitverzögerungskennlinie bei zunehmender Ausgangsgeschwindigkeit stark abfällt. Dies dürfte darauf zurückzuführen sein, daß das Fahrrad bei höheren Geschwindigkeiten nach dem Aufschlag längere Flugphasen bis zum nächsten Bodenkontakt hatte.

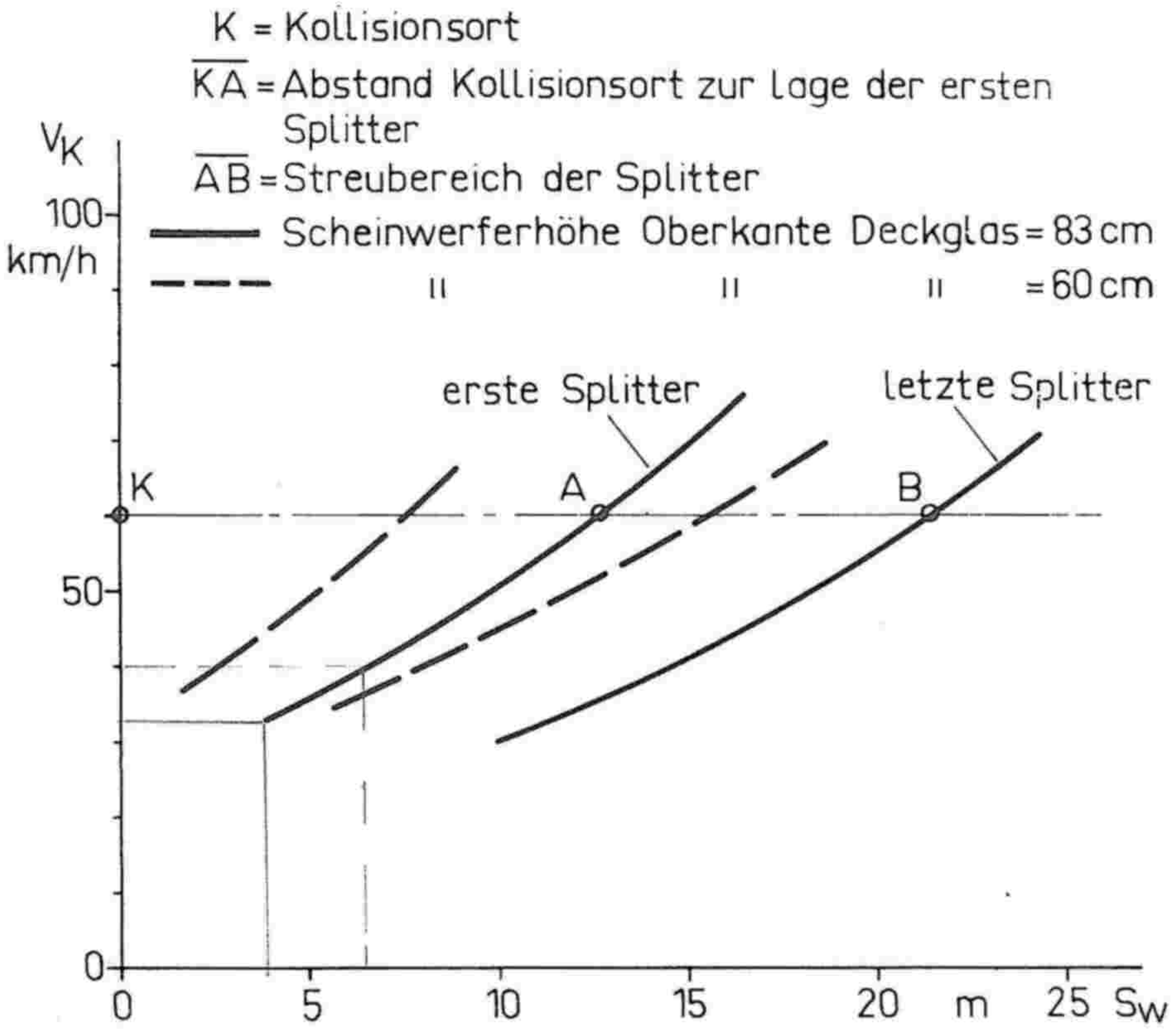
Die einzelnen Aufschläge des Fahrrades stellten sich als mehr- oder minder tiefe Kratzer im Teerbelag dar, die auf große Scherspannungen schließen lassen, was auch letztlich durch die gemessenen Gleitverzögerungswerte bestätigt wird.

9. Gleitverzögerungen von Fahrrädern auf Asphalt





10. Fußgängerwurfweiten nach [4]



11. Streubereiche v. Glassplittern

(Scheinwerfer) in Abhängigkeit von $V_{Kollision}$

12. SCHLUSSWORT

Die dargestellten Ergebnisse resultieren aus mehr als 5ooo Einzelversuchen. Diese Zahl von Versuchen war nötig, um für alle beschriebenen Bewegungsarten statistisch brauchbare Mittelwerte der Bewegungsgeschwindigkeit bilden zu können. Diese Untersuchung der Bewegungsgeschwindigkeit soll die bereits vorliegenden Veröffentlichungen durch reale Abbildungen möglicher Unfalldarstellungen ergänzen. Im einzelnen sollten folgende Ziele erreicht werden:

- Aus der Vielzahl der Bewegungsarten sollte ein möglichst großes Spektrum aufgezeigt werden, wobei auch solche Bewegungen berücksichtigt wurden, die wegen ihres seltenen Auftretens nur eine geringere Rolle spielen.

- Es sollte ein Nachschlagewerk für den forensisch tätigen Kfz.-Sachverständigen zur Festigung eigener Erfahrungen einerseits sowie zur Vermeidung aufwendiger Eigenversuche andererseits, die im Einzelfall mitunter wegen der ungenügenden Aufarbeitung dieser Problematik in der Fachliteratur erforderlich sein können, erstellt werden.

- Zuletzt sollte dem Juristen eine objektive Orientierung ermöglicht werden, um Zeugenaussagen und

Sachverständigen-Gutachten einer persönlichen kritischen Würdigung unterziehen zu können.

- Als sehr wesentliches Ergebnis darf herausgestellt werden, daß bei Aufforderung zu einer bestimmten Bewegungsart von allen miteinander vergleichbaren Personen eine in Grenzen übereinstimmende Bewegungsgeschwindigkeit erreicht wurde. Dies widerspricht keineswegs der Veröffentlichung des DEKRA über "Fußgängergeschwindigkeiten und Zeugenaussagen", da das Handlungsempfinden vom Beobachtungsempfinden durchaus abweichen kann.

- Neben den Ergebnissen der Bewegungsgeschwindigkeitsuntersuchungen ist ein weiteres Resultat unserer Bemühung darin zu sehen, daß der Beulenversatz am Fahrzeugvorbau auch von der Körperneigung bei der jeweiligen Bewegungsart mitbeeinflußt ist. Die Feststellungen der TU Berlin bezüglich der Bewegungsrichtung aus dem Beulenversatz am Fahrzeugvorbau werden durch unsere Versuche gestützt.

Die von uns durchgeführten Versuche erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit; jedoch mit Sachverstand auf die jeweilige Unfallsituation angewandt, können sie sowohl dem Juristen als auch dem Sachverständigen eine gute Hilfe bei der Unfallaufklärung sein.

13. LITERATURHINWEISE

(1) DEKRA: Fußgängergeschwindigkeiten und Zeugenaussagen,
DEKRA Fachschriftenreihe 8/76

(2) Lochner, R.: Tabelle von Laufgeschwindigkeiten in: Handbuch für Verkehrsstrafsachen, Fachverlag N. Stoytscheff, Darmstadt

(3) Lange, H. u. W, Hankel, J.: Bewegungsgeschwindigkeiten von Personen, insbesondere von Kindern, Information 4 (1969), Heft 33, sowie Information (197o), Heft 75, S. 6 - 7

(4) Kühnel, A., Rau, H.: Einfluß der Eigenbewegung eines Fußgängers auf die Verformung des Fahrzeugvorbaues beim Zusammenstoß Fahrzeug - Fußgänger, Forschungsbericht Nr. 183, TU Berlin

(5) Schneider, H.: Experiment und Unfallwirklichkeit beim Fußgängerunfall, Information 1975, Heft 8