

**Experimentelle Bestimmung der „Verrechnungs“-
Zeiten beim Stereosehen anhand der verzögert
wahrgenommenen Tiefenumkehr von bewegten,
teilweise verdeckten Objekten**

Dissertation zur Erlangung des
naturwissenschaftlichen Doktorgrades
der Bayerischen Julius-Maximilians-Universität Würzburg

vorgelegt von
Rainer Rosenzweig
aus Nürnberg

Würzburg 2002

Eingereicht am:

Mitglieder der Promotionskommission:

Vorsitzender:

Gutachter: Dr. habil. Rainer Wolf

Gutachter: Prof. Dr. Otto Heller

Tag des Promotionskolloquiums:

Doktorurkunde ausgehändigt am:

1 Zusammenfassung

Wie viel Zeit benötigt unser 3D-Sehen?

Bei pseudoskopischer Betrachtung eines undurchsichtigen Objekts („Zweig“), das räumlich vor einer zufallsgemusterten Fläche („Hecke“) liegt, erscheint das Objekt in einem Ausschnitt hinter dieser Fläche. Bewegt sich das Muster der *Hecke*, das räumlich vor diesem Ausschnitt wahrgenommen wird, vertikal, so nimmt man an der in Bewegungsrichtung vorderen Kante des Rechtecks eine illusionäre „Lücke“ wahr, in der die Tiefenposition des bewegten Musters undefiniert ist. Dieses Phänomen wird als *Delayed Stereopsis Illusion* (DSI) bezeichnet.

Die „DSI-Lücke“ trägt das Muster der bewegten Fläche, ihre räumliche Tiefe wird aber irgendwo zwischen Objekt und Flächenebene wahrgenommen. Analog zu Bela Julesz' topologischen „Niemandsländern“ an den beiden vertikalen Rändern des Quadrates, wird diese DSI-Lücke als „*rechen*“-zeitbedingtes *Niemandsländ* bezeichnet. Denn anhand der Breite dieser Lücke kann man die 3D-Ermittlungszeit bestimmen, die das Gehirn für die Bestimmung der Tiefenposition des aus dem „Nichts“ auftauchenden Musters benötigt.

Messdaten wurden psychophysisch mit einem Computer-generierten Modellsystem gewonnen. In drei Experimentalserien E1-E3 haben insgesamt 14 Versuchspersonen die wahrgenommene Breite der DSI-Lücke unter definierten Versuchsbedingungen mit zwei unterschiedlichen Messmethoden angegeben. Dabei wurden insgesamt 881 Einzelmessungen durchgeführt, davon 212 Einzelmessungen in E1, 384 in E2 und 285 in E3. Die Messdaten von E1 und E2 ließen anfangs vermuten, dass es beim 3D-Sehen zwei verschiedenen schnelle Verarbeitungswege für langsame und schnelle Bewegungen gibt. Diese Annahme wurde aber durch die Ergebnisse von E3 widerlegt: Die 3D-Ermittlungszeit hängt nicht von der Geschwindigkeit des bewegten Musters ab, sondern hat einen konstanten Wert, der – von Person zu Person unterschiedlich – **zwischen 50 und 80 ms** liegt.

Lerneffekte und Mustereigenschaften wie z.B. Raumfrequenzen haben keinen messbaren Einfluss auf die Breite der DSI-Lücke und damit auf die 3D-Ermittlungszeit.

Unter Berücksichtigung der wahrgenommenen Ortsverschiebung bewegter Muster nach de Valois und de Valois (1991) wird eine entsprechende Korrektur der aus den DSI-Lücken erschlossenen Zeiten diskutiert. In jedem Fall aber ist auch die korrigierte 3D-Ermittlungszeit wesentlich länger als die Mindestzeit von 17 ms, die nach Julesz zur Wahrnehmung *dynamischer Random-dot-Stereogramme* nötig ist: 17 ms sind viel zu kurz, um die Tiefenpositionen in jedem Einzelbild zu ermitteln. Unser 3D-System scheint in diesem Fall also nur zu prüfen, dass sich an den Tiefenpositionen nichts geändert hat, und hält so lange die Tiefenwahrnehmung des schwebenden Objekts konstant.

[Die Untersuchung wurde von der Deutschen Forschungsgemeinschaft unterstützt.]

Abstract

How much time does our visual system need to perform stereopsis?

Viewed pseudoscopically, an opaque square floating above a random-dot pattern appears as a rectangular cut-out. When the pattern moves vertically upwards, an illusory gap with undefined depth position is perceived at the upper edge of the square. This phenomenon is called *Delayed Stereopsis Illusion* (DSI).

The „DSI-gap“ carries the pattern of the moving plane, its spatial depth, however, is perceived somewhere between the moving pattern and the cut-out. In analogy with Julesz's „no-man's-land“ we called this DSI-gap „trailing-edge no-man's-land“. Its width indicates the 3-D computation time needed to determine spatial depth of the pattern, which virtually appears „from nowhere“.

Data were gathered psychophysically with a computer generated model system. In three experimental series E1-E3 14 subjects marked the width of the DSI-gap under various well-defined conditions with two different methods. A total of 881 single measurements were performed, 212 of them in E1, 384 in E2 and 285 in E3. The results indicate interindividually different 3-D computation times between **50 and 80 ms**.

Learning, and pattern parameters like spatial frequency did not significantly influence the perceived width of the DSI-gap.

Regarding the perceived shift of moving patterns according to de Valois and de Valois (1991), an adequate correction of the delays concluded from the measured DSI gaps is discussed. In any case, the minimum presentation time of 17 ms, at which Julesz' dynamic random-dot-stereograms are just recognizable, is much too short to determine the position in depth in each single frame. The 3-D system rather seems to check that the depth situation has not changed, and maintains the percept of the floating square.

[Supported by the Deutsche Forschungsgemeinschaft.]

Inhaltsverzeichnis

1	ZUSAMMENFASSUNG	5
	INHALTSVERZEICHNIS	7
2	EINLEITUNG	11
2.1	Historisches	11
2.2	Delayed Stereopsis Illusion	12
3	ZUM TIEFENSEHEN	13
3.1	Okulomotorische Tiefenkriterien	13
3.1.1	Vergenz	13
3.1.2	Akkommodation	13
3.1.3	Tiefenindikation durch Akkommodation und Vergenz	14
3.2	Monokulare Tiefenkriterien	14
3.2.1	Verdeckung von Objekten	14
3.2.2	Relative Größe im Blickfeld	14
3.2.3	Relative Höhe im Blickfeld	15
3.2.4	Atmosphärische Perspektive	15
3.2.5	Gewohnte Größe von Gegenständen	15
3.2.6	Lineare Zentralperspektive	15
3.2.7	Texturgradient	15
3.2.8	Schattenwurf	16
3.3	Bewegungsinduzierte Tiefenkriterien	16
3.3.1	Bewegungsparallaxe	16
3.3.2	Fortschreitendes Zu- oder Aufdecken von Flächen	16
3.4	Binokulares Tiefensehen	17
3.4.1	Querdisparation	17
3.4.2	Pulfrich-Effekt	18
4	FRAGESTELLUNG	19
4.1	Vorbemerkung	19
4.2	Herleitung und Einordnung der Fragestellung	19
4.3	Theoretischer Bezugsrahmen	20
4.4	Operationalisierung und Modellsystem	22
4.4.1	Modellreduktion	22
4.4.2	Versuchsmodi	23
4.4.3	Experimentalserien	23

5	METHODISCHER ZUGRIFF	24
5.1	Überblick über die Methodik der Experimente	24
5.2	Vorversuche	24
5.3	Versuchsplan	26
5.3.1	Variablen der Untersuchung und deren Variation	27
5.3.2	Erfassung der abhängigen Variable	29
5.3.2.1	Vorkehrungen zur Kontrolle von Störvariablen	30
5.3.3	Versuchsgruppen	30
5.3.3.1	Versuchspersonen	31
5.3.3.2	Versuchsgruppenplan	31
5.4	Versuchsaufbau	32
5.4.1	Versuchsanordnung, apparative Hilfsmittel	32
5.4.2	Aufgaben der Versuchspersonen	33
5.4.3	Versuchsablauf und Instruktion der Versuchspersonen	33
5.4.4	Verlauf der Experimentalserien	37
6	EXPERIMENTALSERIEN E1 UND E2: ERGEBNISSE UND AUSWERTUNG	38
6.1	Ergebnisse von E1	38
6.1.1	Grafische Darstellung der experimentell erzielten Resultate	40
6.1.2	Zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse	48
6.1.2.1	Zusammenfassung nach Methode	48
6.1.2.2	Zusammenfassung nach Versuchspersonen	53
6.1.2.3	Tabellarische Zusammenfassung der relevanten Werte	62
6.1.3	Besprechung der Ergebnisse von E1	65
6.2	Ergebnisse von E2	67
6.2.1	Grafische Darstellung der experimentell erzielten Resultate	68
6.2.2	Zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse	95
6.2.2.1	Zusammenfassung nach Messreihen	95
6.2.2.2	Zusammenfassung selektierter Versuchspersonen	102
6.2.2.3	Weitere Zusammenfassung aller relevanten Ergebnisse	105
6.2.2.4	Weitere Zusammenfassung und Selektion von Versuchspersonen	108
6.2.2.5	Tabellarische Zusammenfassung der Ergebnisse von E2	111
6.2.3	Lerneffekte	112
6.2.4	Besprechung der Ergebnisse von E2	114
6.3	Zusammenfassung der Ergebnisse von E1 und E2	117
6.3.1	Grafische Darstellung der experimentell erzielten Resultate	117
6.3.2	Besprechung der Ergebnisse E1 und E2 im Zusammenhang	119

7	EXPERIMENTALSERIE E3: ERGEBNISSE UND AUSWERTUNG	121
7.1	Vorbemerkung	121
7.2	Ergebnisse von E3	121
7.2.1	Grafische Darstellung der Messergebnisse	122
7.2.2	Zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse	127
7.2.3	Besprechung der Ergebnisse von E3	129
7.3	Darstellung aller Ergebnisse von E1, E2 und E3	130
8	DISKUSSION	131
8.1	Inhaltliche Deutung der Ergebnisse	131
8.2	Verallgemeinerung der Ergebnisse	143
8.3	Kritik des Versuchsplans bzgl. Störfaktoren	144
8.4	Der de Valois'sche „Verschiebungseffekt“	146
8.5	Ausblick	150
9	LITERATURVERZEICHNIS	153
10	ANHANG	157
10.1	Glossar und Abkürzungsverzeichnis	157
10.2	Versuchsprotokolle, Rohdaten	159
10.2.1	Experimentalserie E1 Rohdaten	159
10.2.2	Experimentalserie E1 Zusammenfassung	168
10.2.3	Experimentalserie E2 Rohdaten	176
10.2.4	Experimentalserie E2 Zusammenfassung I	201
10.2.5	Experimentalserie E2 Zusammenfassung II	210
10.2.6	Experimentalserie E2 Lerneffekte	211
10.2.7	Experimentalserie E3 Rohdaten	212
10.2.8	Experimentalserie E3 Zusammenfassung	222
11	DANKSAGUNG	227
12	LEBENS LAUF	229
13	PUBLIKATIONS LISTE	230
14	EHRENWÖRTLICHE ERKLÄRUNG	233

2 Einleitung

2.1 Historisches

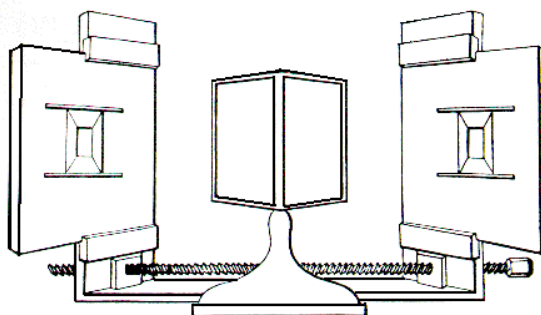
Erste theoretische Betrachtungen zum binokularen Tiefensehen beim Menschen finden sich bereits bei Euklid (ca. 330-275 v.u.Z.) in den Bänden 11-13 seiner mathematischen Abhandlung „Die Elemente“. Er erkannte und beschrieb als erster, dass der Mensch mit zwei Augen in der Schwelt auch Tiefe wahrnehmen kann und beim Sehen mit nur einem Auge dies nicht in gleicher Weise der Fall ist. Euklid klammerte zwar Aspekte, die nicht geometrisch behandelt werden können, aus seinen Betrachtungen aus, radikalisierte und vereinfachte jedoch Platons Sehstrahltheorie – nach der vom menschlichen Auge Sehstrahlen ausgehen, die auf Objekte treffen – in einem geometrisch-axiomatischen Ansatz.

In den Büchern II und III seiner Abhandlung beschäftigt sich Claudius Ptolemäus (87 – 150 n.u.Z.) mit dem binokularen Sehen. Er vermutete, dass wir die zwei Augen und die damit verbundenen Doppelbilder dazu nutzen, um die visuellen Achsen auf ein Objekt unseres Interesses zu lenken. Bei Ptolemäus findet sich noch keinerlei Hinweis darauf, dass binokulares Sehen irgend etwas mit Tiefenwahrnehmung zu tun haben könnte (vgl. Howard, 2002, S. 47).

Eine detaillierte Beschreibung über das räumliche Sehen gab der römische Arzt Claudius Galenus (ca. 129-200 n.u.Z.). Er beschrieb die (bereits von Aristoteles bemerkte) Beobachtung, dass beim einäugigen Betrachten einer Säule eine unterschiedliche Abbildung des fixierten Gegenstandes festzustellen ist, je nachdem, ob er vom linken oder rechten Auge gesehen wird und zog daraus Schlüsse auf die dreidimensionale Wahrnehmung. Auf Grund seiner genauen und richtigen Darlegung kann man ihn als Entdecker des räumlichen Sehens betrachten. Später entwickelte der arabische Physiker Alhazen (Abu-'Ali Al-Hasan Ibn Al-Haytham, ca. 965-1039) auf dieser Grundlage in seinem Werk „Kitab-al-Manazir“ – zu deutsch „Schatz der Optik“ – eine geometrische Theorie des binokularen Sehens (vgl. Howard, 2002 p50ff), den Grundstein für das optische Verständnis im Mittelalter.

Leonardo da Vinci (1452-1519) hatte um 1500 in seiner „Abhandlung über die Malerei“ beschrieben, dass ein Gemälde Räumlichkeit durch perspektivisches Malen nur vortäuschen kann. Er befasste sich u.a. mit dem Phänomen, dass man durch das Schauen mit zwei Augen gewissermaßen um einen Gegenstand herum schauen kann. Mit hochgehaltenem Daumen vor diesem Text im mittleren Abstand Auge/Text kann der Text lückenlos weitergelesen werden. Der eine Daumen erscheint wie zwei durchsichtige.

Es ist jedoch erstaunlich, dass ganz einfache aber entscheidende Erkenntnisse über das dreidimensionale Sehen erst vor etwa 160 Jahren bekannt wurden (vgl. Howard, 2002 S. 46ff). So veröffentlichte Sir Charles Wheatstone (1802-1875), Professor für experimentelle Naturwissenschaften am King's College in London, im Jahre 1838 seine ersten Forschungsergebnisse über dreidimensionales Sehen. Wheatstone erkannte, dass die zwei unterschiedlichen Halbbilder, die beim räumlichen Sehen in



Spiegelstereoskop, entwickelt von Wheatstone
aus: <http://www.stereoskopie.de/Geschichte.html>

jedem Auge erzeugt werden, auch künstlich hergestellt werden können. Führt man jedem Auge das zugehörige Halbbild getrennt zu, ergibt sich ein natürlicher räumlicher Seheindruck. Er berechnete und zeichnete Stereobildpaare und konstruierte für deren Betrachtung einen Apparat, das nach ihm benannte Wheatstonesche Spiegelstereoskop, bei dem der Blick des Betrachters durch Spiegel auf die Halbbilder umgelenkt wurde. Seine Erkenntnisse führten zum Konzept der Querdisparation (vgl. 3.4.1).

Bela Julesz gelang es 1959 zum ersten Mal mit einem Zufallspunktemuster (Random-dot-Stereogramm) die binokulare Disparität getrennt von den anderen Tiefenindikatoren (vgl. 3.1-3.3) zu untersuchen. Neuere Forschungen zur Wahrnehmungs-„Zensur“ von tiefenverkehrt betrachteten, vertrauten Gegenständen (beispielsweise Gesichtern) weisen auch bei der binokularen Tiefenwahrnehmung auf Top-Down-Verarbeitungsprozesse hin (Wolf und Wolf 1995, Wolf 1998).

2.2 *Delayed Stereopsis Illusion*

Dem in dieser Arbeit untersuchten Phänomen liegt eine Initialbeobachtung zugrunde, die im folgenden kurz beschrieben wird (vgl. Wolf, Wolf, 1995; Wolf, 1998):

Im Herbst des Jahres 1995 setzte sich ein experimentierfreudiger Mensch mit einer schweren Prismenbrille bewaffnet auf seine Terrasse und beobachtete den Garten. Die Brille war so gestaltet, dass sie die Umgebung pseudoskopisch, also „tiefenverkehrt“ abbildet (vgl. Wolf, 1985, Wolf, Wolf, 1994; Wolf, Wolf, 1995). Er verfolgte damit keinen Plan, hatte kein wissenschaftliches Ziel, keine Hypothese. Er beobachtete einen Kirschbaumzweig im Vordergrund vor einer Hecke im Hintergrund. Der pseudoskopische Blick durch die Prismenbrille erzeugt folgendes Wahrnehmungsergebnis: Durch die Tiefenumkehr wird die im Hintergrund liegende Hecke „vorne“ wahrgenommen, der im Vordergrund liegende Zweig ein Stück dahinter. In der Hecke muss sich somit in der Wahrnehmungsinterpretation des Gehirns ein Loch befinden, durch das der „hinten“ liegende Zweig sichtbar ist. Die Bezeichnungen „vorne“ und „hinten“ sind in diesem Zusammenhang relativ zueinander zu interpretieren.

Als dann ein Windstoß den Zweig bewegte, bemerkte der Beobachter ein unerwartetes Phänomen: Das „Loch“ in der Hecke, durch das der („hinten“ wahrgenommene) Zweig gesehen wird, hinkte in der Bewegung des Zweigs nach, d.h. es vergrößerte sich an dem in Bewegungsrichtung nachfolgenden Rand des bewegten Zweigs. Dort entstand eine Art „Tiefenlücke“ zwischen Zweigrand und neu auftauchendem Heckenmuster.

Der experimentierfreudige Mensch war Projektgruppenleiter Rainer Wolf. Nachdem er zusammen mit den Mitgliedern der Projektgruppe, Matthias Schuchardt und dem Autor dieser Arbeit, den beobachteten Effekt diskutierte und die Literatur vergeblich nach einer Beschreibung des Effektes durchsuchte, war ein neues Phänomen geboren. Wir nannten es „Illusion durch verzögertes Tiefensehen“: „Delayed Stereopsis Illusion“, abgekürzt DSI.

3 Zum Tiefensehen

Die gewohnte Umwelt des Menschen, der „Mesokosmos“ (Vollmer, 1983), ist räumlich, dreidimensional. Unsere Augen projizieren je ein zweidimensionales Abbild dieser Welt auf deren Netzhaut. Aus diesen Daten ermittelt unser Gehirn dann ein Bild, mit dem wir uns in dieser Welt zurecht finden und überleben müssen.

Für die Wahrnehmung räumlicher Tiefe, das 3D-Sehen, gibt es eine Reihe von Kriterien (Theorie der mehrfachen Tiefenkriterien), die für die weiteren Betrachtungen in dieser Arbeit berücksichtigt werden müssen. Diese können wie folgt kategorisiert werden:

- Okulomotorische Tiefenkriterien
- Monokulare Tiefenkriterien
- Bewegungsinduzierte Tiefenkriterien
- Binokulares Tiefensehen

Im folgenden seien diese Kriterien kurz erläutert (Darstellung nach Goldstein, 1997 und von Campenhausen, 1993). Der wahrnehmungsökologische Ansatz von J.J. Gibson (vgl. Goldstein, 1997) wird hier nicht näher ausgeführt.

3.1 Okulomotorische Tiefenkriterien

Okulomotorische Tiefenkriterien beruhen auf motorischen Signalen, die bei der Steuerung von Augenbewegungen bzw. Formveränderungen der Linsen entstehen. Relevant für diese Art von Tiefensehen sind Vergenz und evtl. auch Akkommodation.

3.1.1 Vergenz

Der Winkel zwischen den beiden horizontalen Augenachsen wird Vergenzwinkel genannt. Er wächst mit Annäherung des Fixationspunktes. Als Konvergenz bezeichnet man den Vorgang, wenn die Augen einwärts gedreht werden, um Objekte in der Nähe zu erfassen, ihr Bild also in den Foveabereich zu verschieben. Bewegt man die zu fixierenden Objekte von den Augen weg, so spricht man von Divergenzbewegung.

3.1.2 Akkommodation

Als Akkommodation bezeichnet man beim Auge die Fähigkeit, die Brechkraft der optischen Elemente im Auge zu ändern. Der Bereich der Schärfentiefe wird durch Brennweite und Pupillengröße bestimmt. Die Scharfstellung des Bildes wird in den Augen von niederen Wirbeltieren in der Regel – wie beim Fotoapparat – durch Verschieben der Linsen bewerkstelligt.

Beim Menschen dagegen erfolgt die Akkommodation durch unterschiedliche Krümmung der Linse. Die Linse ist ein kristallklarer Körper, dessen Vorderfläche etwas schwächer gekrümmt ist als die Hinterfläche. Sie liegt hinter der Pupille in einer tellerförmigen Grube des Glaskörpers. Die Linse ist durch einen Kranz von Aufhängefäden, den sogenannten Zonulafasern, an einem Muskel, dem Strahlenkörper (Ziliarmuskel), aufgespannt. Die Linse bricht das Licht in exakt berechneter Weise. Durch die Aufhängung am Ziliarmuskel kann sie ihre Form verändern und stellt das Auge auf Fernsicht oder Naheinstellung scharf. Zieht sich der Ziliar-

muskel zusammen, so lässt der Zug der Zonulafasern auf die Linse nach und diese wölbt sich infolge ihrer eigenen Elastizität stärker. Dadurch nimmt die Linse mehr die Form einer Kugel an, und Ihre Brechkraft steigt: Das Auge stellt sich auf die Nähe ein. Bei Fernakkommodation ist der Ziliarmuskel entspannt – im Ruhezustand ist die Akkommodation etwa auf Armeslänge eingestellt (Schober, 1954).

Das Akkommodationssystem braucht zur Scharfstellung wenigstens eine Sekunde und ermüdet schnell. Im Dunkeln läuft der Akkommodationsvorgang langsamer ab. Die Fähigkeit der Nahakkommodation hängt vom Alter ab. Zwischen 50 und 60 Jahren lässt die Akkommodationsfähigkeit stark nach, so dass Normalsichtige ohne Brille nur noch in der Ferne gut sehen können („Altersweitsichtigkeit“). Die Ursache dafür ist die abnehmende Elastizität der Linse.

3.1.3 Tiefenindikation durch Akkommodation und Vergenz

Bei der aktiven Einstellung von Konvergenz bzw. Divergenz generiert das Gehirn eine Entfernungsinformation: Es ist über den Konvergenzwinkel durch neuronale Signale (Efferenzkopie) informiert, die gleichzeitig mit der motorischen Erregung (Efferenz) für die inneren und äußeren Augenmuskeln gebildet werden. Die Rolle der Akkommodation als Tiefenindikator ist derzeit noch umstritten (Howard, Rogers, 1995, S. 427f). Grund hierfür ist die enge Koppelung von Konvergenz und Akkommodation bei gesunden Personen. Daher ist es schwer, Akkommodation zu kontrollieren und Vergenz zu variieren. Grundsätzlich wäre die Entfernungsinformation des Fixierpunktes durch die Akkommodation, also den Grad der Spannung des Ziliarmuskels, jedoch verfügbar (vgl. Spillmann, Werner 1990 S. 330ff).

Vergenz – und ggf. Akkommodation – können also als Signale für räumliche Tiefe dienen, weil die Augenstellung und die Linsenform mit dem Abstand des beobachteten Objekts zusammen hängen. Diese Tiefenkriterien sind jedoch nur bei Distanzen wirksam, die kleiner als etwa anderthalb bis drei Meter sind (Leibowitz, Shina und Hennessy, 1972).

3.2 *Monokulare Tiefenkriterien*

Monokulare Tiefenkriterien sind Quellen für diejenige Information räumlicher Tiefe, die sich einem (zweidimensionalen) Bild entnehmen lässt, etwa dem Netzhautbild.

3.2.1 Verdeckung von Objekten

Das Kriterium des Verdeckens von Objekten durch Überschneidungen allein liefert keine genaue Entfernungsinformation, sondern nur eine Annahme über die relative räumliche Tiefe von zwei oder mehr Objekten. Wenn ein Objekt A einen Teil eines anderen Objekts B verdeckt, weist dies darauf hin, dass Objekt A vor B liegt. Dies wird entsprechend wahrgenommen, auch wenn eine andere Interpretation möglich wäre.

3.2.2 Relative Größe im Blickfeld

Das Tiefenkriterium relative Größe im Blickfeld wurde von Adelbert Ames Jr. nachgewiesen, der seine Probanden beleuchtete Ballons in einem verdunkelten Raum einäugig beobachten ließ. Als er einen Ballon vergrößerte, gaben die Beobachter an, dass der sich ausdehnende

Ballon näher zu kommen schien. Wenn alle anderen Bedingungen gleich sind, wirkt ein größeres Objekt räumlich näher.

3.2.3 Relative Höhe im Blickfeld

Objekte, die sich im Blickfeld weiter oben, also *höher* befinden, werden gewöhnlich als *weiter entfernt* gesehen. Diese Regel gilt für Objekte *unterhalb* der Horizontlinie. Objekte (wie die Wolken), die *über* der Horizontlinie liegen, erscheinen *entfernter*, wenn sie im Blickfeld *niedriger* stehen.

3.2.4 Atmosphärische Perspektive

Die atmosphärische (oder Luft-) Perspektive basiert auf der Tatsache, dass wir entfernte Objekte kontrastärmer (und etwas farbverschoben) sehen, weil wir dabei durch die Luft und darin befindliche Wasser-, Staub- oder sonstige Schmutzpartikel schauen müssen, die das Licht streuen. Je weiter ein Objekt entfernt ist, desto mehr Luft und Partikel liegen auf unserer Sichtlinie. Daher wirken weit entfernte Gegenstände kontrastärmer (und etwas bläulicher) als nahe.

3.2.5 Gewohnte Größe von Gegenständen

Das Kriterium der gewohnten Größe beeinflusst unser Urteil über die Entfernung bzw. die räumliche Tiefe. Ein Experiment von William Epstein (1965) zeigt, dass unser Wissen über die Größe eines Objekts unter bestimmten Bedingungen beeinflusst, wie weit entfernt wir dieses Objekt wahrnehmen. Die Probanden in Epsteins Experiment hatten monokular die Entfernung von Fotos zu beurteilen, auf denen verschieden große Geldmünzen gleich groß abgebildet waren. Sie schätzten die in Wirklichkeit größeren Münzen tatsächlich als weiter entfernt ein. Die Urteile der Beobachter waren eindeutig von ihrer Kenntnis der wahren Größe der Münzen beeinflusst. Dieses Ergebnis stellte sich dagegen nicht ein, wenn die Beobachter die Vorlage binokular sahen. Das Tiefenkriterium der gewohnten Größe ist daher am effektivsten, wenn andere Tiefeninformationen fehlen.

3.2.6 Lineare Zentralperspektive

Im Jahre 1435 beschrieb Leon Battista Alberti (1404-1472) in seinem Buch *De Pictura* die Prinzipien des Zeichnens mit linearer Perspektive, womit sich auf einer zweidimensionalen Fläche räumliche Tiefe überzeugend darstellen lässt (vgl. Hagen 1979, 1986; Kubovy 1986, White, 1968 sowie Alberti et al., 2002). Die lineare Zentralperspektive realisiert die Abbildung einer dreidimensionalen Szene auf eine zweidimensionale Projektionsfläche und repräsentiert somit – im Gegensatz zur Parallelperspektive, die von Malern vor der Renaissance generell eingesetzt wurde – die Projektion der Welt auf die Netzhaut eines Auges.

Wenn ein Bild linearperspektivisch gezeichnet ist, konvergieren die Linien, die in der wirklichen Szene parallel verlaufen, in der Ferne. Je größer die Entfernung, desto stärker nähern sie sich einander, bis sie sich „im Unendlichen“ in einem Fluchtpunkt vereinen. Diese Konvergenz, die Tiefeninformation enthält, bezeichnet man als das Tiefenkriterium der linearen Zentralperspektive.

3.2.7 Texturgradient

Elemente ähnlicher Größe, die in einer Szene gleich weit voneinander entfernt sind, erscheinen mit zunehmendem Abstand als immer kleiner und dichter beieinander liegend. Die Ent-

fernungsinformation des Texturgradienten bleibt konstant, egal an welcher Stelle des Gradienten der Beobachter sich aufhält.

3.2.8 Schattenwurf

Eine weitere Quelle für Tiefeninformation ist das Vorhandensein von Voll- oder Halbschatten. Größe und Lage eines Schattens gibt Aufschluss darüber, wie ein Objekt geformt und wie weit es von seiner Umgebung oder einer Projektionsfläche entfernt ist, sofern der Ort der Lichtquelle bekannt ist.

3.3 *Bewegungsinduzierte Tiefenkriterien*

Alle bisher beschriebenen Tiefenkriterien wirken, auch wenn der Beobachter an derselben Stelle bleibt. Wenn wir uns bewegen, tauchen neuartige Tiefenkriterien auf, die unsere Wahrnehmung räumlicher Tiefe noch effektiver machen.

3.3.1 Bewegungsparallaxe

Bereits Helmholtz (1866) führte näher aus, wie sich Bewegung auf die Wahrnehmung räumlicher Tiefe auswirkt: Weit entfernte Dinge scheinen sich langsam zu bewegen, Dinge in der Nähe schnell. Dieser Geschwindigkeitsunterschied heißt Bewegungsparallaxe, sie dient uns als Kriterium zur Wahrnehmung räumlicher Tiefe auf der Basis der relativen Geschwindigkeit zwischen uns und den Objekten.

3.3.2 Fortschreitendes Zu- oder Aufdecken von Flächen

Befinden sich zwei Flächen in unterschiedlichen Entfernungen vom Beobachter, so bewirken Ortsänderungen in der Regel, dass sie als relativ zueinander bewegt gesehen werden. Die hintere wird von der vorderen zunehmend verdeckt, wenn sich der Beobachter in die eine Richtung bewegt, und aufgedeckt, wenn der Beobachter sich in die andere Richtung bewegt. Dieses Tiefenkriterium ist besonders wirksam bei der Wahrnehmung räumlicher Tiefe an Kanten (Kaplan 1969).

3.4 Binokulares Tiefensehen

Alle bisher beschriebenen Tiefenkriterien (mit Ausnahme der Konvergenz) würden auch wirksam sein, wenn wir nur mit einem Auge sehen würden. Die wichtigste Information für die Tiefenwahrnehmung im Nahbereich liefert das Stereo-Sehen: Die beiden Augen übermitteln dem Gehirn zwei verschiedene Ansichten derselben Szene.

3.4.1 Querdisparation

Wie ermittelt nun unser Gehirn den Eindruck räumlicher Tiefe aus den beiden leicht unterschiedlichen Netzhautbildern? Jedem Punkt der einen Netzhaut entspricht ein Punkt auf der anderen. Diejenigen Stellen auf jeder der beiden Netzhäute, die mit derselben Stelle im visuellen Kortex verbunden sind, bezeichnet man als korrespondierende Netzhautpunkte. Der Querdisparationswinkel, oder die (binokulare) Disparität, ist nun als Winkel in der horizontalen Ebene zwischen korrespondierendem Netzhautpunkt und tatsächlicher Netzhautabbildung definiert.

Querdisparation ist ein binokulares Tiefenkriterium, weil notwendigerweise beide Augen an ihr beteiligt sind. Für das auf diese Weise entstehende dreidimensionale Sehen prägte Charles Wheatstone die Bezeichnung Stereopsis oder stereoskopisches Sehen. Vertauscht man nun die beiden unterschiedlichen Netzhautbilder (etwa durch eine Prismenbrille, siehe Schuchardt, 2003), so spricht man von pseudoskopischem Sehen, die wahrgenommene dreidimensionale Schwelt wird tiefenverkehrt abgebildet, vorne und hinten also vertauscht.

Wie wird die Querdisparation neuronal verarbeitet? H. Barlow et al. (1967) fanden im visuellen Kortex der Katze Zellen, die optimal reagieren, wenn ein Lichtstrahl auf Punkte fällt, die auf beiden Netzhäuten durch einen bestimmten Querdisparationswinkel getrennt sind. R. Blake und H. Hirsch (1975) schlossen aus Verhaltensexperimenten, dass diese Zellen auch tatsächlich für die Wahrnehmung räumlicher Tiefe verantwortlich sind.

Im Jahre 1959 zeigte Bela Julesz, dass Disparitäten, die man in Random-dot-Muster einbaut, sogenannte Random-dot-Stereogramme, vollständig unsichtbar sein können, wenn man die

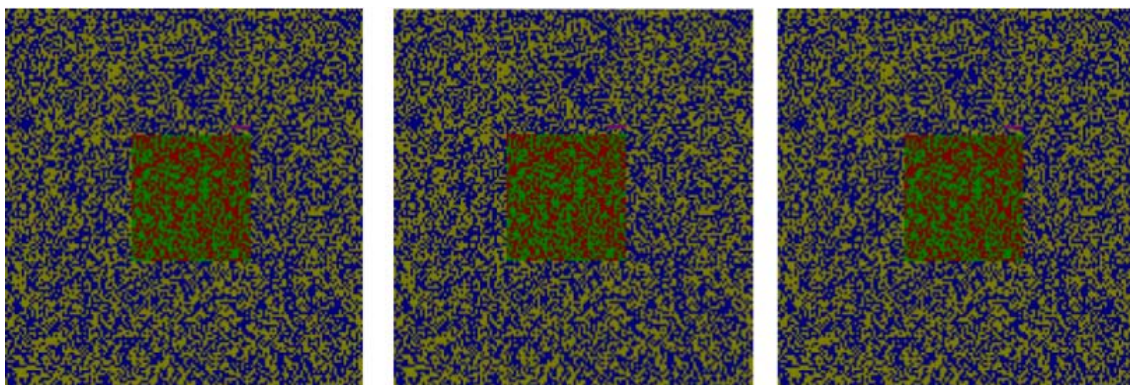


Abbildung 3.4.1: Demonstration der „topologischen“ Niemandsländer nach Julesz: Zusammenschieben oder -starren benachbarter Random-dot-Muster ergibt ein Quadrat, das vor bzw. hinter der Fläche „schwebt“. Die topologischen Niemandsländer liegen rechts und links neben dem schwebenden Quadrat. Sie sind jeweils 3 Musterelemente breit und machen den Ausschnitt bei tiefenverkehrter Ansicht zum Rechteck.

Muster mit einem oder mit beiden Augen anschaut. Bei dichoptischer Betrachtung aber rufen sie die Wahrnehmung stereoskopischer Tiefe hervor (s. Abb. 3.4.1). Die Punkte werden nach einem übergeordneten Prinzip, der globalen Stereopsis, so zugeordnet, dass sie in unterschiedlichen Flächen zu liegen scheinen und Formen, wie das Quadrat aus Abbildung 3.4.1 als zusammenhängende Ebene räumlich hervortreten lassen. Man kann davon ausgehen, dass viele Kombinationen von Bildpunkten in den beiden Augen versucht und dann wieder verworfen werden, bis die endgültige Zuordnung gefunden, das Korrespondenzproblem gelöst ist.

Die Gesamtheit der korrespondierenden Punkte, die als gleich weit vom Beobachter entfernt wahrgenommen werden (Horopter), liegt im Sehraum in der horizontalen Ebene theoretisch auf dem Vieth-Müller-Kreis, der durch die beiden Augenlinsen und den Fixierpunkt eindeutig bestimmt ist. Der tatsächliche Horopter weicht geringfügig vom theoretischen Vieth-Müller-Kreis ab (Hering-Hillebrand-Abweichung, siehe Howard, Rogers, 1995, S. 58). Je weiter ein Objekt vom Horopter entfernt ist, desto größer ist also der Betrag der Disparität.

Zu jedem Punkt auf der Netzhaut eines Auges korrespondiert im anderen Auge nicht nur ein Punkt, sondern ein ganzes Flächenstück, das als „Panum'sches Fusionsareal“ bezeichnet wird. Innerhalb dieses Areals kann man tatsächlich den Reizpunkt in einem Auge verschieben, ohne dass in der Wahrnehmung Doppelbilder auftreten. Dabei ändert sich allerdings der Eindruck stereoskopischer Tiefe, aber die Fusion bleibt erhalten. Der Horopter für das Einfachsehen befindet sich somit innerhalb eines Tiefenbereichs, in welchem Reizpunkte keine Doppelbilder erzeugen.

3.4.2 Pulfrich-Effekt

Hält man einen Lichtfilter, etwa das Glas einer Sonnenbrille, vor ein Auge, so ist der Lichtfluss in diesem Auge abgeschwächt und die Erregungsvorgänge werden in diesem Auge zeitlich verzögert. Durch diese Erregungsverzögerung in einem Auge kann man an seitwärts bewegten Objekten ebenfalls Tiefenwahrnehmung erzeugen, was man als Pulfrich-Effekt bezeichnet (vgl. Howard, Rogers 1995, S. 535ff; Howard, Rogers, 2002, S. 495ff). Die physiologische Ursache für die Verzögerung ist nicht genau bekannt. Eine mögliche Erklärung wird in Schuchardt (2003) diskutiert. Dabei sind sorgfältig zu unterscheiden einerseits der Pulfrich-Effekt selbst, also die Entstehung einer Disparität durch Erregungsverzögerung in einem Auge und andererseits die *Ursache* für den Pulfrich-Effekt, also die Erregungsverzögerung durch Abdunkelung. Letzteres spielt in einer speziellen Betrachtung in Schuchardts Analyse der DSI (2003) eine Rolle.

4 Fragestellung

4.1 Vorbemerkung

In dieser Arbeit geht es darum, die in 2.2 beschriebene Initialbeobachtung systematisch zu untersuchen, theoretisch einzuordnen und zu deuten. Das beobachtete Phänomen wurde als (Delayed Stereopsis) „Illusion“ bezeichnet, da die wahrgenommene Lücke in der objektiv messbaren „Außenwelt“ nicht vorhanden, vom Gehirn also konstruiert ist. Nicht selten ist es der Fall, dass Täuschungen Hinweise auf die Arbeit und Funktionsweise des Gehirns geben können (vgl. Wolf 1987). Es besteht somit die begründete Hoffnung, durch die systematische Untersuchung der DSI in einer Quantifizierung des Phänomens mit psychophysischen Methoden Rückschlüsse darauf zu ziehen, wie unser Gehirn 3D-Wahrnehmung zeitlich organisiert. Hierzu wird zunächst die in dieser Arbeit zu untersuchende Fragestellung hergeleitet, mit bekannten Phänomenen verglichen und in den Kontext der stereoskopischen Tiefenwahrnehmung eingeordnet. Anschließend wird ein theoretischer Bezugsrahmen für die systematischen Messungen formuliert und festgelegt, um dann kurz auf die Operationalisierung der relevanten Parameter und das benutzte Modellsystem einzugehen.

4.2 Herleitung und Einordnung der Fragestellung

Zu Beginn eine genaue Beschreibung des beobachteten Phänomens: Die in Bewegungsrichtung nachfolgende DSI-Lücke trägt alle Mustereigenschaften der Hecke (Farbe, Raumfrequenz etc.). Diese Mustereigenschaften werden wahrgenommen, sobald der verdeckende Zweig sie für den Blick frei gibt. Es ist also nicht so – wie etwa beim Pulfrich-Effekt –, dass der Effekt durch (wie auch immer) „verzögertes Sehen“ zustande kommt. Die Region in dieser „Lücke“ unterscheidet sich von der übrigen Hecke allein durch die stereoskopisch wahrgenommene räumliche Tiefenposition. Während die Hecke eine klar definierte Tiefe besitzt, wird die räumliche Tiefenposition innerhalb dieser „Lücke“ nach übereinstimmendem Urteil der Versuchspersonen undeutlich und „schwammig“ wahrgenommen. Warum ist das so?

Bei tiefenrichtiger Beobachtung eines bewegten Zweiges vor einer ruhenden Hecke wird das Phänomen nicht wahrgenommen (eine differenzierte Ausnahme hiervon wird in Kap. 6.2 (Nullversuche) diskutiert). Es entspricht den gewöhnlichen Wahrnehmungen im alltäglichen Leben: Ein Objekt (hier: Zweig), das sich vor einem Hintergrund (hier: Hecke) bewegt, verdeckt Teile des Hintergrundes und gibt in Bewegungsrichtung nachfolgend andere Teile des verdeckten Hintergrundes frei. Die frei werdenden Teile des Hintergrundes liegen in aller Regel in der gleichen Tiefenebene wie der Rest des Hintergrundes. Die Tiefenposition der bisher verdeckten, nun frei werdenden Textur kann das Gehirn aus der Tiefenposition des nicht verdeckten Hintergrundes rasch extrapolieren. Zur Ermittlung der Tiefenverhältnisse ist also eine neue Tiefenberechnung hier nicht notwendig. Anders ist es bei pseudoskopischer Beobachtung derselben Szene. Der Zweig kann nun nicht als „Verdecker“ interpretiert werden, da er in diesem Fall *hinter* der Hecke wahrgenommen wird. Am in Bewegungsrichtung nachfolgenden Rand des Zweiges wird somit eine Textur der Hecke frei, die scheinbar „aus dem Nichts“ entsteht und – nach einer Weile – wieder vorne in der Tiefenebene der Hecke wahrgenommen wird. Die Tiefenebene des unmittelbar hinter dem bewegten Zweig frei werdenden Heckenmusters kann offenbar – anders als im tiefenrichtigen Fall – nicht einfach ext-

rapoliert werden. Sie ist somit vorläufig unbestimmt und muss vom Gehirn erst aus den ständig neu vorliegenden Disparitätsdaten ermittelt werden. Die Zeit, die das Gehirn für diese Leistung benötigt, wird in dieser Arbeit als „3D-Ermittlungszeit“ bezeichnet. Sie ergibt sich aus der Breite dieses in der Tiefe unbestimmten Teils der Hecke.

4.3 Theoretischer Bezugsrahmen

Bela Julesz (1960) – vgl. auch: Julesz (1971) – führte den Begriff des „Niemandlandes“ (no-man’s land) beim stereoskopischen Sehen ein. Damit bezeichnete er den linken und rechten Rand des „schwebenden Quadrates“ in Stereogrammen mit Zufallspunktemuster (Random-dot-Stereogramm). Diese Niemandsländer kommen dort zustande, wo ein gewisser Bereich des dreidimensionalen Bildes für ein Auge verdeckt ist, aber von dem anderen Auge gesehen werden kann. Nach Julesz (1960) werden diese Niemandsländer immer in der hintersten Tiefenebene wahrgenommen, was man besonders deutlich an der (zu Abb. 3.4.1 analogen) folgenden Abbildung erkennen kann, in der die „schwebenden Quadrate“ weiß eingefärbt sind:

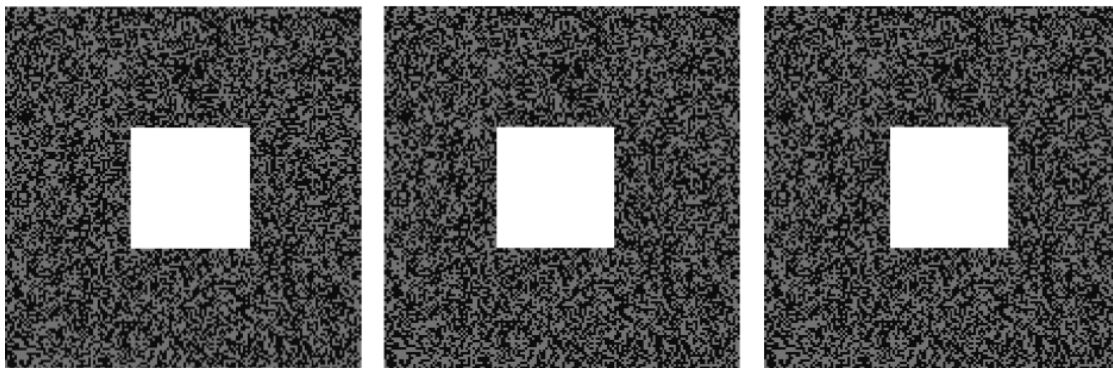


Abbildung 4.3: Demonstration der Tiefenlage der „topologischen“ Niemandsländer nach Julesz: Sie werden in der hintersten Tiefenebene wahrgenommen.

Analog zu diesen „topologischen“ Niemandsländern (tNI) von Julesz bezeichnen wir die in der DSI beobachtete Lücke, das „Nachzieh-Loch“ als „rechen“-zeitbedingtes Niemandland (rNI). Im Sinne von Gibsons Ökologischer Optik (Gibson, 1973) ist der Begriff „rechen“ hier nicht als formaler Algorithmus zu deuten. Deshalb wird in dieser Arbeit von einer „3D-Ermittlungszeit“ gesprochen und nicht von einer „Verrechnungszeit“. Der Begriff „rechen“-zeitbedingtes Niemandland (rNI) wird aus Anschaulichkeitsgründen weiter benutzt.

Wenn die in 4.2 skizzierte Deutung des beobachteten Phänomens (siehe 2.2) zutrifft, so ergeben sich daraus überprüfbare Vorhersagen. Ist die 3D-Ermittlungszeit für das DSI-Phänomen ursächlich, so ist bei höheren Geschwindigkeiten ein breiteres rNI zu erwarten. Geht man von der Annahme aus, dass es ein einheitliches Verarbeitungssystem für die 3D-Wahrnehmung im Gehirn gibt, so ist eine konstante Ermittlungszeit zu erwarten. Aus dieser Annahme ergibt sich die erste zu prüfende Hypothese:

H1: Die Breite des beobachteten „rechen“-zeitbedingten Niemandlandes ist direkt proportional zur Bewegungsgeschwindigkeit. Der Proportionalitätsfaktor entspricht der Zeit, die das Gehirn zur Ermittlung der Tiefenposition des frei werdenden Musters benötigt.

In Theorien über die visuelle Wahrnehmung spielt die Raumfrequenz eine Rolle. Die Raumfrequenz-Theorie gründet auf der Annahme, dass unser Sehsystem funktionell eine Art mathematische Fourier-Analyse durchführt. Hubel und Wiesel fanden in der primären Sehrinde Zellen, die auf bestimmte Frequenzen und Phasen (Orientierungen) spezialisiert sind (Hubel, Wiesel, 1979). Insofern ist die Raumfrequenz bei der visuellen Wahrnehmung ein Faktor, der die DSI quantitativ beeinflussen könnte. Im Verlauf der Experimente (E1 und E2) wurde daher die Beschaffenheit des Random-dot-Musters in zwei Variablen (Raumfrequenz und Anzahl der Ankerpunkte) variiert. Hierzu werden folgende Nullhypothesen getestet:

$H_0(\text{RF})$: Raumfrequenz RF der Muster von *Hecke* und *Zweig* hat keinen Einfluss auf die DSI.

$H_0(\text{AP})$: Die Anzahl der Ankerpunkte AP der Random-dot-Muster von *Hecke* und *Zweig* hat keinen Einfluss auf das rNI. Diese Anzahl wird durch das Häufigkeitsverhältnis zwischen weißen und schwarzen Musterelementen bei einem zweifarbigen Random-dot-Muster festgelegt (siehe 5.3.1).

Reduziert man die Gesamthelligkeit der beobachteten Szene, so könnte ein Effekt zum tragen kommen, der für den oben angedeuteten Pulfrich-Effekt ursächlich ist. Geht man davon aus, dass der Pulfrich-Effekt durch verzögerte Wahrnehmung des abgedunkelten Auges zustande kommt, so würde man – übertragen auf die in dieser Arbeit dargestellten Situation – erwarten, dass das rNI sich bei Abdunkelung verbreitert. Die dazu gehörige Nullhypothese, die es nach dieser Erwartung zu widerlegen gilt, lautet:

$H_0(\text{L})$: Die Gesamthelligkeit hat keinen Einfluss auf das rNI.

Diese Hypothese wird in Schuchardt (2003) gründlich getestet. In der vorliegenden Arbeit werden im Rahmen eines Vorversuchs in Experimentalserie E2 Daten erhoben, die aber zur Entscheidung über die Hypothese $H_0(\text{L})$ nicht herangezogen werden können. Die vorliegenden Daten können aber als Vorversuch für die Untersuchung in Schuchardt (2003) angesehen werden.

Hauptziel dieser Arbeit ist es, die Hypothese H1 zu untersuchen und gegebenenfalls weiter zu entwickeln. Daneben wurden in den Experimentalserien E1 und E2 in dieser Arbeit auch $H_0(\text{RF})$ sowie in E2 auch $H_0(\text{AP})$ untersucht. Experimentalserie E3 dient zur Präzisierung einer modifizierten Variante von H1, die im Anschluss an E1 und E2 formuliert wird (vgl. 6.3).

Weitere Untersuchungen und zusätzliche Hypothesen schildert Schuchardt (2003).

4.4 Operationalisierung und Modellsystem

Ausgehend von der pseudoskopischen Ursprungsbeobachtung (vgl. 2.2) ist es missverständlich, von „Objekt und *Hintergrund*“ zu sprechen, da der Hintergrund (*Hecke*) ja *vor* dem *Zweig* wahrgenommen wird. Es hat sich daher als sinnvoll erwiesen, auch im weiteren Verlauf dieser Arbeit – beziehungsweise zu der Ausgangsbeobachtung, geschildert unter 2.2 – die Bezeichnungen *Hecke* und *Zweig* beizubehalten, unabhängig von der Art der beobachteten Objekte.

4.4.1 Modellreduktion

Um die Wahrnehmungsexperimente unter definierten Bedingungen reproduzieren zu können, geht es zunächst darum, die unter 4.1. geschilderte Ursprungsbeobachtung in Modellen unter kontrollierbaren Bedingungen zu simulieren. Die Situation wird dazu reduziert auf die dreidimensionale Beobachtung eines gemusterten Objektes („*Zweig*“), das räumlich hinter einer ebenfalls mit einem Muster versehenen Fläche („*Hecke*“) liegt, und zwar durch eine Versuchsperson, deren Augen den Abstand r von der als „*Hecke*“ bezeichneten Fläche haben.

Die in dieser Modellstufe zu realisierenden relevanten Parameter sind:

- die Beobachtungsentfernung r zwischen Versuchsperson und *Hecke*
- der Tiefenabstand x des *Zweiges* von der *Hecke*, repräsentiert durch die äquivalente Größe Disparität D (wobei D abhängig vom Beobachtungsabstand r ist)
- die Raumfrequenz RF des Musters von *Hecke* und *Zweig*
- die Anzahl der Ankerpunkte im Random-dot-Muster von *Hecke* und *Zweig*: Variiert wird das Anzahlverhältnis AP der Musterelemente mit Farbe 1 zu denen mit Farbe 2 (in der vorliegenden Arbeit ist Farbe 1: schwarz, Farbe 2: weiß)

Der zu ermittelnde Parameter ist die Breite des rNI (zu dessen Erfassung vgl. 5.3.2).

Die Operationalisierung dieser Parameter wird in 5.3.1 dargestellt.

Das Projektteam hat dies zunächst in einem „realen Modell“ (rM) realisiert, das von M. Schuchardt aufgebaut wurde. Das rM besteht aus einem „*Zweig*“ in Form eines schmalen Kreissektors, der vor einer kreisförmigen *Hecke* befestigt ist. Diese Situation ist mit tiefenumkehrenden Prismengläsern zu beobachten. Sowohl *Zweig* als auch *Hecke* können unabhängig voneinander in Rotation um einen gemeinsamen Mittelpunkt versetzt werden. Eine genaue Beschreibung des rM findet sich in Schuchardt (2003).

In der Versuchspraxis stellten sich neben einigen technischen Schwierigkeiten die Nachteile des rM heraus: Die Parameter ließen sich nur mit größerem Aufwand kontrolliert variieren. Nähere Erläuterungen zur Kritik des rM siehe Schuchardt (2003).

Diese Unzulänglichkeiten des rM veranlassten den Autor dieser Arbeit dazu, die Simulation des Phänomens per Computer vorzuschlagen. Im Wintersemester 1998/99 und im Sommersemester 1999 wurde darauf hin unter Mitwirkung des Projektleiters R. Wolf und des Autors dieser Arbeit am Lehrstuhl für Informatik II der Universität Würzburg im Rahmen einer Studienarbeit eine Software „Bino2.4“ erstellt, die das Modell auf dem PC simuliert (Scheiner, 1999). (Zur weiteren Erläuterung von „Bino2.4“ vgl. 5.4.1.) Diese Software liegt den in dieser Arbeit geschilderten Experimenten zugrunde.

4.4.2 Versuchsmodi

Das Programm Bino2.4 simuliert die dreidimensionale Situation auf einem handelsüblichen (zweidimensionalen) Monitor auf zwei verschiedene Weisen:

1. 2RD-Modus (2RD): In dieser Einstellung werden jeweils zwei Random-dot-Stereogramme als nebeneinander liegende Halbbildern auf dem Bildschirm dargestellt (*Hecke*). Darin befinden sich zwei quadratische, seitlich versetzte, korrespondierende Pixelfelder (*Zweig*). Den Tiefeneindruck erlangt die Versuchsperson durch Fusion der Bildpaare mittels der Schiel- oder Starr-Methode (Wolf, Wolf, 1994).
2. Shutter-Modus (S): In diesem Modus wird ein einziges Random-dot-Muster auf dem Bildschirm dargestellt (*Hecke*). Die beiden korrespondierenden Pixelfelder, die den *Zweig* darstellen, werden per synchronisiertem Bildwechsel innerhalb der *Hecke* so dargestellt, dass sie mit Hilfe einer Shutterbrille (bei geeigneter Einstellung) in der Tiefe wahrgenommen werden. Die Taktfrequenz ist dabei halb so hoch wie beim 2RD-Modus. Sie ist Hardware-abhängig und ergibt sich aus der jeweils zu Beginn des Kapitels angegebenen Hardware-Auflistung (vgl. 6.1. bzw. 6.2).

In beiden Modi werden zwei unterschiedliche Halbbilder erzeugt, je eines für eines der beiden Augen der Vpn. Zu jedem Zeitpunkt liegen dabei die Musterelemente, die die *Hecke* repräsentieren, auf dem Monitor an korrespondierenden Orten, während die beiden Halbbilder sich in der Position des den *Zweig* repräsentierenden quadratischen Pixelfeldes unterscheiden.

Die beiden Modi unterscheiden sich allein darin, wie *Hecke* und *Zweig* technisch dargeboten werden. Alle folgenden Aussagen sind somit jeweils auf die beiden Modi analog zu beziehen und für beide Modi gleichermaßen zutreffend, wie Vorversuche (vgl. 5.2) gezeigt haben. Die Nomenklatur (*Zweig*, *Hecke*, Halbbilder) gilt für beide Versuchsmodi analog.

Der Vorteil von Modus 2 gegenüber Modus 1 besteht in der umfassenderen Anwendbarkeit. Nur wenige Vpn. beherrschen die Schiel- oder Starr-Methode problemlos. Das Anlernen dieser Methode – vor allem die Entkopplung von Akkommodation und Konvergenz – ist zwar möglich, allerdings auch zeitaufwändig. Mit der Shutterbrille ist eine solche Fähigkeit nicht notwendig, und keine einzige Vp. berichtete über Schwierigkeiten, den gewünschten Tiefeneffekt zu erhalten. Daher wurden die meisten Experimente unter Modus 2 durchgeführt.

Modus 1 hat gegenüber Modus 2 allerdings den Vorteil, ohne zusätzliche apparative Hilfsmittel (Shutterbrille) auszukommen. Versuchspersonen, die die Schiel- bzw. Starr-Methode problemlos beherrschen, erzielten das gleiche Wahrnehmungsergebnis wie bei Modus 2. Darüber hinaus kann man im Modus 1 leicht die Augenbewegungen der Vpn. untersuchen (vgl. Abschnitt 8.5), da die Augen im anderen Fall während des Experiments durch die Shutterbrille abgedunkelt sind und von vorne kaum eingesehen werden können.

4.4.3 Experimentalserien

In dieser Arbeit werden drei verschiedene Experimentalserien – Blöcke zusammenhängender Experimente – beschrieben. Die drei Experimentalserien sind historisch nummeriert, d.h. Experimentalserie E1 wurde zeitlich vor E2 durchgeführt, diese wiederum zeitlich vor E3. Dies bedeutet, dass der Experimentalserie E3 die Erkenntnisse aus E2 und E1, der Experimentalserie E2 die aus E1 zur Verfügung standen. Jede Experimentalserie orientiert sich somit an einer etwas modifizierten Fragestellung, die sich aus den Erkenntnissen der vorhergehenden Experimentalserie ergibt.

5 Methodischer Zugriff

5.1 Überblick über die Methodik der Experimente

Nach Überprüfung und Validierung des DSI-Phänomens in mehreren Vorversuchsreihen, beschrieben in 5.2, wurde ein Versuchsplan (vgl. 5.3) erstellt, mit dem das DSI-Phänomen quantitativ erfasst werden sollte. In drei Experimentalserien wurden Experimente durchgeführt, in denen Versuchspersonen die Größe des beschriebenen Effektes psychophysisch anzugeben hatten. Relevant hierbei ist die Abhängigkeit der Breite z des „rechen“-zeitbedingten Niemandslandes von der Geschwindigkeit v der bewegten *Hecke*. Dies wurde mit zwei verschiedenen Methoden erfasst: Einerseits durch Verstellen einer Markierung und andererseits durch ein Abgleichverfahren der beiden unterschiedlichen Arten von Niemandsländern (vgl. 5.3.2).

Die Experimente wurde mit Hilfe einer Darstellung des Phänomens auf dem PC unter Benutzung einer Shutter-Brille durchgeführt (vgl. 5.4.1) – eine quantitative Analyse des Phänomens per realem Modell findet sich in Schuchardt (2003). Die Versuchspersonen erhielten während der Experimente eine detaillierte Instruktion (vgl. 5.4.3), die sie in die Lage versetzte, die Messungen durchzuführen.

Als Ergebnis der Experimente erhält man abhängige Werte für v und z , die in Kap. 6 und 7 jeweils in v - z -Diagrammen dargestellt werden. Sie zeigen den Verlauf des „rechen“-zeitbedingten Niemandslandes z in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit v der bewegten *Hecke* auf.

Für die tabellarische Darstellung und die Berechnung der relevanten Werte wurde Microsoft® Excel 2000 verwendet, die Darstellung der Graphen erfolgte mit Microcal™ Origin®, Version 6,0. Die Arbeit wurde verfasst unter Microsoft® Word 2000.

Eine zusammenfassende und abschließende Diskussion der Ergebnisse dieser Arbeit findet sich in Kap. 8.

5.2 Vorversuche

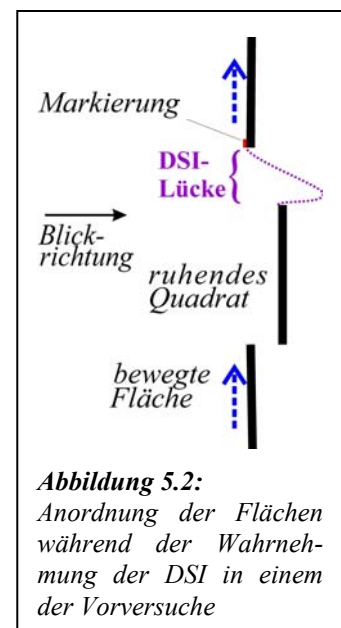
Die unter 2.2 geschilderte Ausgangsbeobachtung war der erste „Vorversuch“, der dieser Arbeit zugrunde liegt. Um das Phänomen zu reproduzieren, folgten eine Reihe von introspektiven Vorversuchen unter ähnlichen Voraussetzungen: Die drei Projektbeteiligten R. Wolf, M. Schuchardt und der Autor dieser Arbeit beobachteten mit einer Prismenbrille (zur genauen Beschreibung der Funktionsweise siehe Schuchardt, 2003) eine natürliche Szene ähnlich der Ausgangsbeobachtung: Ein sich bewegendes Objekt (*Zweig*) vor einem ruhenden Hintergrund (*Hecke*). Das Phänomen konnte in dieser unsystematischen Versuchsreihe (VV1) zweifelsfrei beobachtet und somit qualitativ bestätigt, wenn auch noch nicht quantitativ vermessen werden.

Die zweite Vorversuchsreihe (VV2) wurde bereits am realen Modell rM (vgl. 4.4.1) durchgeführt. In diesen ebenfalls unsystematischen Beobachtungen wurde die Vermutung, das rNl verbreitete sich mit wachsender Geschwindigkeit, bestätigt. Versuchspersonen waren ebenfalls die drei Projektbeteiligten.

Dass es sich bei dem Phänomen der DSI um einen schwer zu fassenden (engl.: „elusive“) Effekt handelt, zeichnete sich bei den ersten Messungen ab. Nachdem er anfangs keinerlei Probleme hatte, das Phänomen des rNI zu beobachten, also zu qualitativ zu erfassen, hatte der Autor dieser Arbeit nach Beobachtungen, die über mehrere Wochen hinweg zur Kalibrierung des rM immer wieder durchgeführt wurden, plötzlich große Schwierigkeiten, den Effekt überhaupt zu beobachten. Es gelang ihm nicht mehr, *Hecke* und *Zweig* in ihrer tiefenverkehrten Anordnung wahrzunehmen, sobald die *Hecke* in Bewegung versetzt wurde (Wahrnehmungs-„Zensur“ nach dem Motto: Es kann nicht etwas aus dem Nichts auftauchen). Diese Unterdrückung der Tiefenumkehr prägte sich stark in die Wahrnehmung ein und hielt einige Wochen an (zur Diskussion möglicher Ursachen vgl. 8.3). Erst nach langer mühevoller Übung gelang die Tiefenumkehr wieder, und im selben Moment konnte auch das DSI-Phänomen wieder – wie anfänglich – beobachtet werden.

Zu Beginn der Versuchsreihe VV2 nahm der Autor dieser Arbeit eine Besonderheit des DSI-Phänomens wahr: Das rNI begann unmittelbar neben dem *Zweig* räumlich deutlich hinter der Tiefenebene des *Zweiges*, um dann steil auf die Tiefenebene der *Hecke* anzuheben und damit in die *Hecke* einzumünden (Abbildung 5.2). Dieses Phänomen wird in Schuchardt (2003) eingehend diskutiert.

Die nächste Vorversuchsreihe VV3 wurde an einem Modell durchgeführt, das für die erste öffentliche Präsentation des DSI-Phänomens 1996 auf der ECVP in Strassburg angefertigt wurde (Wolf, Schuchardt, Rosenzweig, 1996). Eine genaue Beschreibung des Modells, das aus einem mechanisch vertikal beweglichen „*Zweig*“ vor einer ruhenden „*Hecke*“ besteht, findet sich in Schuchardt (2003). In den ebenfalls unsystematischen Vorversuchen wurde u.a. die räumliche Tiefenlage der DSI-Lücke erfasst. Vpn. waren neben den Projektmitarbeitern somit auch zahlreiche (nicht im Einzelnen erfasste) Besucher der Tagung, die den DSI-Effekt auf dem dort ausgestellten Poster mit dem beschriebenen Modell beobachteten und bestätigten, dass sie eine DSI-Lücke wahrnehmen.



Die unsystematischen Vorversuche VV1, VV2 und VV3 stellten die Existenz des DSI-Phänomens sicher. Es handelt sich somit nicht um ein durch (Auto-)Suggestion bedingtes Wahrnehmungsartefakt, wie man – wie bereits erwähnt – aufgrund der angedeuteten zeitweiligen Reproduktions-Schwierigkeiten des Autors bei VV2 hätte vermuten können.

Nach diesen Vorversuchen VV1-3 wurden erste quantitative Versuche am rM unternommen. Diese sind in Schuchardt (2003) beschrieben. Da sie das gleiche Phänomen (DSI) betreffen, können diese Experimente als vierte Vorversuchsreihe VV4 für diese Arbeit angesehen werden.

Als letzte Vorversuchsreihe (VV5) seien an dieser Stelle Experimente genannt, die zum Testen der in Entstehung befindlichen PC-Software „Bino2.4“ durchgeführt wurden. Vpn. waren die drei Projektmitarbeiter selbst sowie zwei Personen aus dem Bekanntenkreis des Autors. In diesen unsystematischen Experimenten konnte überprüft werden, ob das Phänomen bei Simulation auf dem Bildschirm unter den beiden einstellbaren Versuchsmodi weiterhin qualitativ vorhanden ist und ob es Unterschiede in der Wahrnehmung zur realen Situation im rM gibt. In VV5 wurden keinerlei Unterschiede zur Situation im rM festgestellt. Die im PC-simulierten Modell gewonnenen Ergebnisse scheinen somit mit den Ergebnissen, die im rM gewonnen wurden (Schuchardt, 2003) konsistent zu sein (zur Problematik dieser Sichtweise: vgl. 8.3). Darüber hinaus konnten drei der fünf Vpn. dieser Vorversuchsreihe feststellen, dass

es in der Größe des Effekts wie erwartet keine Unterschiede zwischen den Versuchsmodi (S) und (2RD) gibt, beide somit wohl gleichberechtigt angewendet werden dürfen (das gleiche Ergebnis liefert E1 – vgl. 6.1). Die Messergebnisse der Vorversuchsreihe sind in Schuchardt, Rosenzweig, Wolf (1998) zusammengefasst.

Alle Beobachtungen, die in den Vorversuchen gemacht wurden, weisen darauf hin, dass der Faktor „Disparität“ keinen Einfluss auf die Breite des rNI hat. Dies gilt natürlich nur für den Bereich, innerhalb dessen die Disparität als Tiefe interpretiert werden kann und kein Doppelbild entsteht. Dieser Umstand wird später dazu benutzt, eine zweite Messmethode (VN) einzuführen (vgl. 5.3.2).

5.3 Versuchsplan

Der Hauptversuch zum Test der Hypothese H1 ist zunächst einfaktoriell (basierend auf einer unabhängigen Variable v) mit mehreren Stufen der unabhängigen Variable v (Geschwindigkeitswerte, an denen z erfasst wurde) und univariat (eine abhängige Variable z wird gemessen) mit abhängigen Versuchsgruppen – d.h. alle Versuchspersonen durchlaufen die gleichen Stufen der unabhängigen Variable v . Bezieht man die Versuche in E1 und E2 mit ein, in denen auch die Parameter „Raumfrequenz von *Hecke* und *Zweig*“ bzw. „Anzahl der Ankerpunkte des Musters“ untersucht werden, so ist der Versuchsplan mehrfaktoriell.

Insgesamt wurden fünf Vorversuchsreihen (VV1-VV5) und drei Experimentserien (E1-E3) durchgeführt. Die Vorversuchsreihen sind unter 5.2 beschrieben.

Die Experimentalserie E1 fand in der Zeit zwischen 14.08.2000 und 21.09.2000 statt. Zugrunde lag die unter 6.1 beschriebene Hardware. Durch Verbesserung der Hardware konnte der Bereich der unabhängigen Variable (UV) „Geschwindigkeit“ in der Experimentalserie E2 deutlich erhöht werden (vgl. 6.2). Die Experimentalserie E2 fand in der Zeit zwischen 23.08.2001 und 06.09.2001 statt. Zugrunde lag die unter 6.2 beschriebene Hardware.

Nach einer ersten Auswertung der Ergebnisse von E1 und E2 wurde die Experimentalserie E3 aufgenommen (vgl. Kap. 7). Sie fand in der Zeit zwischen 03. und 18.06.2002 statt. Zugrunde lag die gleiche Hardware wie unter E2. Experimentalserie E3 war rein einfaktoriell und univariat, und diente allein zur Prüfung der anhand E2 formulierten Präzisierung der Ausgangshypothese H1 (vgl. 7.1).

Neben dem Test der qualitativen Hypothese H1 ging es in der vorliegenden Untersuchung darum, die zugrunde liegende Ermittlungszeit zu ermitteln und den Einfluss weiterer Parameter auf das zu untersuchende Phänomen der DSI zu testen, so dass der Versuchsplan formal mehrfaktoriell wird:

Hypothese $H_0(\text{RF})$ wird in E1 und E2 durch Variation der unabhängigen Variable „RF“ (Raumfrequenz) getestet.

Hypothese $H_0(\text{AP})$ wird in E2 durch Variation der unabhängigen Variable „AP“ (Anzahl der Ankerpunkte) getestet.

Hypothese $H_0(\text{L})$ – Abhängigkeit der DSI-Lücke von der Beleuchtungsstärke – wird in E2 durch einen Vorversuch („zweiter Testlauf“ – vgl. 6.2) marginal getestet, näheres dazu siehe Schuchardt (2003).

5.3.1 Variablen der Untersuchung und deren Variation

Breite des rNI z: Dieser Parameter soll in den Experimentalserien ermittelt werden, die Bestimmung seiner Größe (in Abhängigkeit von v) ist das Ziel dieser Arbeit. Bei der unter 5.3.2 (1. Methode) beschriebenen Standardmessmethode dient er folglich auch als abhängige Variable (AV) und wird erfasst durch die Stellung der Markierung (vgl. 5.3.2, 1. Methode). Bei der zweiten in den Experimenten benutzten Methode („Vergleich tNI mit rNI“), kommt er indirekt als unabhängige Variable (UV) ins Spiel (vgl. 5.3.2, 2. Methode). Eine detaillierte Beschreibung der Erfassungsmethode kann dort nachgelesen werden.

Bewegungsgeschwindigkeit v der Hecke: Das Heckenmuster kann in „Bino2.4“ (in beiden Halbbildern praktisch synchron) vertikal von unten nach oben bewegt werden. Per Tastatur wird ein Wert für die Geschwindigkeit des Heckenmusters eingestellt („F1“: langsamer, „F2“: schneller). Vorversuche mit dem rM haben ergeben, dass es wie erwartet für die quantitative Messung des Effekts keine Rolle spielt, ob sich im Modell der *Zweig* bewegt und die *Hecke* ruht (wie bei der unter 4.1 dargestellten Ursprungsbeobachtung) oder ob sich umgekehrt die *Hecke* bewegt und der *Zweig* ruht (Schuchardt, 2003). Letzteres hat den messtechnischen Vorteil, dass die Vpn. die Messungen nicht an einem bewegten Objekt durchführen müssen, sondern ihren Blick auf eine fest definierte Stelle richten können. Die Erfassung verspricht so, zuverlässiger zu sein. Daher wurde in den hier dargestellten Experimenten mit bewegter *Hecke* gearbeitet.

Die Geschwindigkeit in Pixel/s wird während des Experiments in einer Kommentarzeile für den Versuchsleiter (VL.) – und die Vpn. – sichtbar angezeigt. Die maximale Bewegungsgeschwindigkeit ist abhängig von der benutzten Hardware (vgl. 6.1, 6.2 bzw. 7.1). Die Angabe der Geschwindigkeit in Grad pro Sekunde kann unter Einbeziehung des Beobachtungsabstandes nach der Formel

$$v[\text{Grad}/s] = \arctan\left(\frac{v[\text{mm}/s]}{r}\right) \cdot \frac{360^\circ}{2\pi}$$

erfolgen. In der Regel (Standardmessmethode – vgl. 5.3.2, 1. Methode) dient v als UV. Bei der zweiten in den Experimenten benutzten Methode (Vergleich tNI mit rNI), wird v von den Vpn. als AV eingestellt (vgl. 5.3.2, 2. Methode). Der Defaultwert liegt bei $v=0$.

Der **Beobachtungsabstand r** der Vp. ist der Abstand der Augen vom Bildschirm. Der Beobachtungsabstand r repräsentiert somit die Entfernung zwischen Beobachter und *Hecke*. In den geschilderten Experimenten wurde der Beobachtungsabstand grob per Zollstock ausgemessen und insbesondere nicht – etwa durch ein Beißbrett für die Vpn. – fixiert. Letzteres hätte zu Unannehmlichkeiten für die Vp. führen können, die sich auf deren Konzentration beim Messen negativ auswirken könnte. Allerdings ist dadurch auch eine mögliche Störvariable entstanden, die das Ergebnis möglicherweise unsystematisch oder systematisch verfälschen könnte – zur weiteren Diskussion von Störfaktoren vgl. 8.3.

Vorversuche zeigten, dass das rNI mit dem Beobachtungsabstand in der erwarteten Weise korreliert, so dass dieser Parameter in den Experimenten nicht gezielt und kontrolliert variiert wurde. Dennoch wurden nicht in allen Experimenten die gleichen Werte für r benutzt, was in der Suche nach der optimalen Beobachtungsentfernung begründet liegt. Beim Vergleich der Messwerte, die mit unterschiedlichen Beobachtungsentfernungen gewonnen wurden, ist darauf zu achten, dass anstelle der bildschirmbezogenen Maßeinheit Pixel die Vp.-bezogene Maßeinheit Grad verwendet wird. Zur Umrechnung: Sei $y[\text{Grad}]$ und $y[\text{mm}]$ der Wert von y in der entsprechenden Einheit und r in [mm], so gilt:

$$y[\text{Grad}] = \arctan\left(\frac{y[\text{mm}]}{r}\right) \cdot \frac{360^\circ}{2\pi}$$

Die **Disparität** D des *Zweiges* kann innerhalb von „Bino2.4“ per Tastatur (Tasten F5/F6) während des laufenden Experiments verändert werden, indem sich die beiden Halbbilder gegenläufig zueinander in horizontaler Richtung verschieben. So ist es möglich, den *Zweig* virtuell in verschiedene Entfernungen vor und hinter die *Hecke* zu positionieren, also den imaginären Abstand x von *Zweig* und *Hecke* zu verändern. Pro Tastendruck bewegt sich das linke Halbbild des *Zweiges* um ein Pixel nach rechts und gleichzeitig das rechte Halbbild um ebenfalls einen Pixel nach links – oder umgekehrt. Der eingestellte Wert W_d wird auf dem Bildschirm für den Versuchsleiter sichtbar angezeigt.

Sei d die (betragsmäßige) Anzahl der Pixelschritte, die die beiden Halbbilder des *Zweiges* – relativ zur *Hecke* gemessen – zueinander verschoben sind. d gibt damit die Breite des tNI in Pixeln an. Mit anderen Worten: Legt man die beiden Halbbilder aufeinander, so kann man ein Halbbild in das andere überführen, indem man das den *Zweig* repräsentierenden Quadrat um d Pixel horizontal verschiebt. Mit jedem Tastendruck (F5/F6) wird also der Wert d um 2 Pixel verändert. Der **imaginäre Zweigabstand** x ergibt sich dann aus:

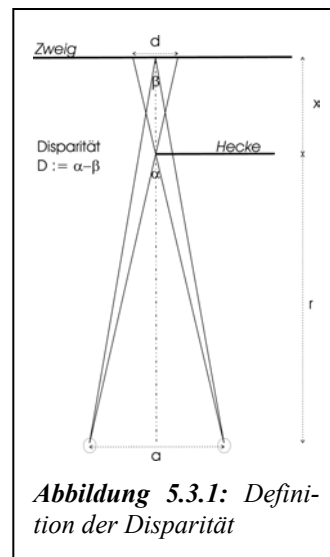
$$x = \frac{r \cdot d}{a}, \text{ wobei } a: \text{ Augenabstand der Vp. (vgl. Abbildung).}$$

Das Vorzeichen von d sei nun so gewählt, dass x positiv ist, wenn der *Zweig* hinter der *Hecke* liegt. Die Disparität ergibt sich dann in Abhängigkeit vom Beobachtungsabstand wie folgt (vgl. Mallot, 2000):

$$D = \alpha - \beta = 2 \cdot \arctan\left(\frac{a}{2r}\right) - 2 \cdot \arctan\left(\frac{a}{2(r+x)}\right).$$

Bei der Meßmethode „Vergleich tNI mit rNI“ (vgl. 5.3.2, 2. Methode) dient die Variation dieser Größe zur indirekten Manipulation der UV „Breite des rNI“. Der Defaultwert beträgt hier $d = 10$.

Anzahlverhältnis der Ankerpunkte AP im Random-dot-Muster von *Hecke* und *Zweig*: Alle verwendeten Random-dot-Muster sind zweifarbig. In dieser Arbeit werden nur schwarz-weiße Muster verwendet. Für weiterführende Untersuchungen – vgl. Ausblick 8.5 – sind mit dem Programm „Bino2.4“ unterschiedliche Farbgebungen möglich (Scheiner, 1999), womit auch die Abhängigkeit des DSI-Effekts vom Kontrast zwischen den beiden Musterelement-Typen untersucht werden kann. Die Anzahl der Ankerpunkte im Random-dot-Muster von *Hecke* und *Zweig* kann mit „Bino2.4“ verändert werden, indem man das Darstellungsverhältnis von schwarzen zu weißen Musterelementen variiert. Dieser Wert wird vom VL vor dem Versuch eingestellt und kann während des laufenden Experiments nicht verändert werden. AP wird angegeben in einer Verhältniszahl „k:100-k“, $k = 0, \dots, 100$, wobei k die Häufigkeit der schwarzen Musterelemente bezeichnet. Defaultwert von AP ist $k=50$ („50:50“): gleich viele schwarze wie weiße Musterelemente ($k=100$, „100:0“ wären nur schwarze, $k = 0$, „0:100“, nur weiße Musterelemente).



Raumfrequenz RF der Muster von *Hecke* und *Zweig*: Die Größe der einzelnen Musterelemente kann ebenfalls variiert werden. Möglich sind Werte von ganzzahligen Vielfachen der darstellbaren Pixelgröße, abhängig von der jeweils benutzten Hardware (vgl. 6.1, 6.2 bzw. 7.1): Je größer die Musterelemente, desto kleiner die Raumfrequenz. Auch dieser Parameter ist vor dem Versuch einzustellen und kann während des laufenden Experiments nicht verändert werden. Defaultwert der Raumfrequenzen von *Zweig*- und *Hecke*-Muster: 2x2 Pixel, d.h. ein schwarzes bzw. ein weißes Musterelement des Random-dot-Musters besteht aus 2x2 Pixel.

Aus trigonometrischen Gründen geht der **Augenabstand** a der Versuchspersonen in die Berechnung der wahrgenommenen Disparität mit ein (vgl. Abbildung 5.3.1) und wurde daher vor den Versuchen erfasst. Alter und Geschlecht der Versuchspersonen wurden zwar erfasst, ihr möglicher Einfluss auf den DSI-Effekt in der Arbeit jedoch nicht systematisch untersucht.

5.3.2 Erfassung der abhängigen Variable

Zwei Messmethoden wurden eingesetzt, um die Hypothese H1 (vgl. 4.3) qualitativ und quantitativ durch die Vpn. bestimmen zu lassen:

1. Markierungsmethode (M): An der rechten oberen Ecke des *Zweiges* befindet sich in beiden Halbbildern eine zwei Pixel hohe und 16 Pixel breite farbige Markierung (vgl. Abbildung 5.3.2). Die Farbe der Markierung ist per Software einstellbar, Default-Einstellung: rot – in dieser Einstellung wurden alle hier beschriebenen Experimente durchgeführt. Die Default-Position der Markierung beim Start der Software und zu Beginn jeder Messung ist unmittelbar (ohne Abstand) oberhalb des oberen *Zweig*-Randes. Diese Einstellung wird im folgenden mit „Markierung auf Null“ bezeichnet. Diese Markierung kann von der Versuchsperson per Tastendruck nach oben und unten mit den Cursor-Tasten Up/Down eingestellt werden – vgl. 5.4.3. Dabei ist die Software so programmiert, dass die Markierung nicht auf Positionen unterhalb des oberen *Zweig*randes eingestellt werden kann, was nach dem Ziel der Experimente nicht nur nicht erforderlich ist, sondern im umgekehrten Fall eher verwirrend sein könnte. Die Versuchspersonen wurden instruiert, den unteren

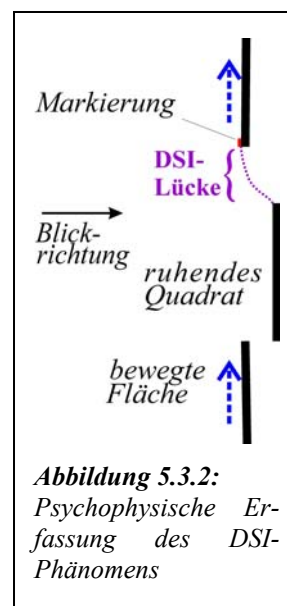


Abbildung 5.3.2:
Psychophysische Erfassung des DSI-Phänomens

Rand der Markierung *auf* den oberen Rand der wahrgenommenen DSI-Lücke einzustellen (vgl. 5.4.3, Punkt 15). Der eingestellte Wert kann auf zwei Arten abgelesen werden: Entweder nach Beenden des Programms durch Betätigen der „Return“-Taste: Der eingestellte Wert W_z wird dann in einem Fenster in Zehntel mm angezeigt, wobei die Größe des verwendeten Monitors automatisch berücksichtigt wird. Oder durch Abzählen der Einstellschritte bei der Rücksetzung der Markierung „auf Null“ durch den VL., was die Position der Markierung in Pixel angibt. Ersteres wurde in der Experimentserie E1 benutzt, während letzteres – der schnelleren Handhabbarkeit wegen – in E2 und E3 zum Einsatz kam.

Abhängige Variable AV bei dieser Methode ist die Breite des rNI, die die Versuchsperson auf diese Weise nach ihrem subjektiven Eindruck einzustellen hat. Benutzt wird hierbei die Einkreisemethode – vgl. 5.4.3, Punkt 15. Unabhängige Variable UV ist nach der formulierten Hypothese H1 die Bewegungsgeschwindigkeit v der *Hecke*. Diese wird vom Versuchsleiter zu Beginn der Messung auf vorher definierte diskrete Werte eingestellt.

2. Abgleichmethode (VN), Vergleich der tNI mit dem rNI: Nach den Vorversuchen ist die abhängige Variable, die Breite des rNI, unabhängig von der Disparität des *Zweiges* (vgl. 5.2). Bei der Abgleichmethode (VN) wird die Vp. unter verschiedenen Einstellungen der Disparität des *Zweiges* gebeten, die Bewegungsgeschwindigkeit der *Hecke* mit den Tasten F1 bzw. F2 so einzustellen, dass die tNI am linken und rechten Rand des *Zweiges* subjektiv die gleiche Breite besitzen wie das rNI (vgl. 5.4.3, Punkt 39). Die UV „Breite des rNI“ wird somit indirekt über die Größe d , also über die Disparität, manipuliert. AV ist in diesem Fall die von der Vp. eingestellte Geschwindigkeit.

Der Großteil der Experimente wurde mit der Markierungsmethode (M) durchgeführt, da hiermit der zu untersuchende Parameter z direkt erfasst wird und nicht durch zusätzliche Störeinflüsse belastet ist. Wie sich im Verlauf der Experimente zeigt, sind die Ergebnisse der mit Abgleichmethode (VN) gewonnenen Messdaten in der Tat schwerer interpretierbar – vgl. 6.1.3, 6.2.4 Punkt 6 und 8.1.

5.3.2.1 Vorkehrungen zur Kontrolle von Störvariablen

Theoretisch gibt es systematische und unsystematische Störvariablen. Die Minimierung von unsystematischen Störvariablen wie Motivation, Konzentration etc. der Versuchspersonen ist schwierig. Hier wurde darauf geachtet, dass die Versuchspersonen die Möglichkeit hatten, den Versuch abzubrechen, wenn sie sich nicht mehr dazu in der Lage sahen, das Experiment auszuführen. In der Instruktion wurde mehrfach rückgefragt, ob die Versuchspersonen den Versuch verstanden haben, um so Störeffekte zu minimieren, die darauf beruhen, dass die Versuchspersonen ihre Aufgabe nicht verstanden haben (und „irgend etwas“ angeben).

Um Störfaktoren zu minimieren, die von Lichtreflexionen oder Störhelligkeit aus der Umgebung kommen, wurde der Raum, in dem die Experimente stattfanden, völlig verdunkelt.

Zu systematischen Störfaktoren:

Markierungsmethode (M):

Um den Effekt auszuschalten, dass Vpn. die Hypothese ahnen und sozial erwünschte Ergebnisse liefern, wurde die Darbietungsreihenfolge der verschiedenen Werte der UV „Bewegungsgeschwindigkeit der *Hecke*“ randomisiert.

Abgleichmethode (VN):

Auch hierbei wurde die Darbietungsreihenfolge der verschiedenen Werte der UV „Disparität“ randomisiert, um den Bias durch sozial erwünschte Antworten zu minimieren.

Zur weiteren Diskussion um den Einfluss von Störfaktoren siehe 8.3.

5.3.3 Versuchsgruppen

In allen Experimenten durchliefen die beteiligten Versuchspersonen die verschiedenen Stufen der unabhängigen Variable. In den Experimentalserien E2 und E3 wurde sicher gestellt, dass die Stufen der unabhängigen Variable für alle beteiligten Versuchspersonen identisch, die experimentell ermittelten Daten somit direkt vergleichbar waren.

5.3.3.1 Versuchspersonen

Die Versuchspersonen der ersten Experimentserie E1 (vgl. 6.1) waren zwei Mitarbeiter des Projekts selbst und eine Person aus dem Bekanntenkreis des Autors. Alle drei Vpn. haben Hochschulabschluss, sind männlich und stereotüchtig. Die Versuchspersonen werden wie folgt alphabetisch durchnummeriert:

A (Augenabstand: 66 mm), männlich, 31 Jahre

B (Augenabstand: 66 mm), männlich, 36 Jahre

C (Augenabstand: 65 mm), männlich, 34 Jahre

Für Experimentalserie E2 wurde die „Versuchspersonen-Datenbank“ des Max-Planck-Instituts für biologische Kybernetik in Tübingen herangezogen. Die alphabetische Nummerierung der Versuchspersonen wird wie folgt fortgesetzt:

D (Augenabstand: 65 mm), männlich, 26 Jahre

E (Augenabstand: 62 mm), weiblich, 24 Jahre

F (Augenabstand: 65 mm), männlich, 22 Jahre

G (Augenabstand: 58 mm), weiblich, 24 Jahre

H (Augenabstand: 62 mm), männlich, 28 Jahre

I (Augenabstand: 60 mm), weiblich, 27 Jahre

J (Augenabstand: 60 mm), weiblich, 34 Jahre

K (Augenabstand: 62 mm), weiblich, 20 Jahre

L (Augenabstand: 60 mm), weiblich, 20 Jahre

M (Augenabstand: 65 mm), weiblich, 22 Jahre

N (Augenabstand: 65 mm), weiblich, 23 Jahre

Für Experimentalserie E3 wurden drei Versuchspersonen gewählt, die zum einen bereits erfolgreich an einem der Experimente in E1 oder E2 teilgenommen hatten und somit Erfahrung mit DSI gesammelt haben, zum anderen ausreichend stereoerfahren sind und zusätzlich aus dem Bekanntenkreis des Autors stammen, somit also ausreichend motiviert waren, sich dem mühsamen Versuch zu unterziehen. Nach diesen Kriterien wurden die Versuchspersonen A (Experiment 3, zum Zeitpunkt von E3 33 Jahre alt), I (Experiment 2, zum Zeitpunkt von E3 28 Jahre alt) und J (Experiment 1, zum Zeitpunkt von E3 35 Jahre alt) ausgewählt.

In der Experimentserie E1 lieferten alle drei Vpn. verwertbare Ergebnisse. In E2 lieferten drei (D, G und H) von elf Vpn. keine verwertbaren Ergebnisse – zur Diskussion dazu vgl. 6.2.4 Punkt 1. In der Experimentserie E3 lieferten alle drei Vpn. verwertbare Ergebnisse.

5.3.3.2 Versuchsgruppenplan

In den Experimenten wird mit abhängigen Versuchsgruppen (verbundene Stichprobe) gearbeitet, d.h. jede Vp. nimmt an allen Stufen der UV teil. Dies ist aufgrund der kleinen Stichprobengröße sinnvoll. Bei unabhängigen Versuchsgruppen besteht die Gefahr, dass ein etwaiger Unterschied der AV nicht auf die Variation der AV, sondern auf die Unterschiedlichkeit der verschiedenen Versuchsgruppen zurückzuführen ist. Wie bereits unter 5.3.2.1 erwähnt findet eine Kontrolle der Reihenfolgeeffekte durch Randomisierung der UV-Darbietungen statt. Mögliche Lerneffekte werden unter 6.2.3 bzw. 6.2.4 diskutiert.

5.4 Versuchsaufbau

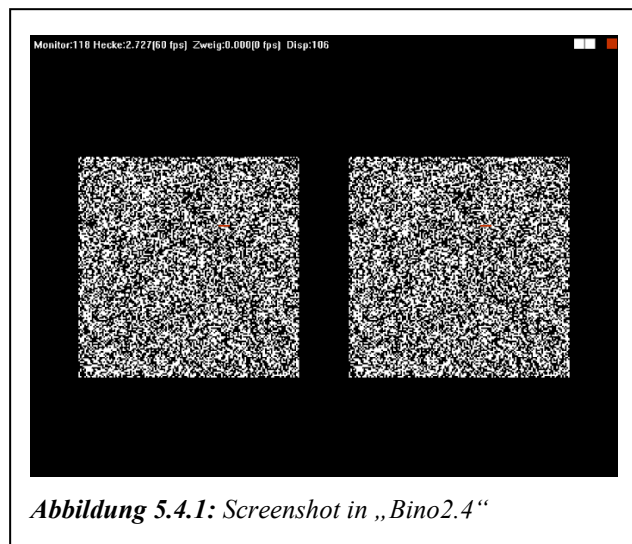
5.4.1 Versuchsanordnung, apparative Hilfsmittel

Die hier beschriebenen Experimente wurden, wie in 4.4.1 erwähnt, mit der Software „Bino2.4“ durchgeführt. Eine detaillierte Beschreibung von „Bino2.4“ findet sich in Scheiner (1999). Die für die folgenden Experimente relevanten Eigenschaften seien hier kurz zusammengefasst. „Bino2.4“ besteht aus insgesamt drei Teilen:

Config.exe: Mit diesem Programm wird die Software durch einmaliges Kalibrieren nach der Installation der Software auf die zugrunde liegende Hardware eingestellt, so dass die Größe der wiedergegebenen Random-dot-Stereogramme und die angegebenen Werte für v und z unabhängig von der Größe des Monitorbildes normiert werden.

Para.exe: In diesem Programm können die unter 5.3.1 aufgelisteten Parameter vor Beginn des Experiments auf feste Werte eingestellt werden. Die Bewegungsgeschwindigkeit v der *Hecke* (und des *Zweiges*, was aber in den hier geschilderten Experimenten nicht eingesetzt wurde) und die Disparität D (indirekt über den Wert d) können während der Messungen variiert werden, ebenso wie die Markierung zur Einstellung der Breite des rNI.

Folgende für die durchgeführten Experimente relevanten Parameter können in Para.exe fest voreingestellt werden: Versuchsmodus „2RD“ oder „S“ (in Bino2.4: „Darstellungsart“), Raumfrequenz RF (in Bino2.4: „Muster-elemente“), Anzahlverhältnis der Ankerpunkte AP (in Bino2.4: „Wahrscheinlichkeit“). Die weiteren Möglichkeiten, die die Software Bino2.4 noch bietet (beispielsweise farbige Random-dot-Muster) wurden in dieser Arbeit noch nicht ausgeschöpft. „Bino2.4“ ist also so konstruiert, dass weitere Untersuchungen noch folgen können – vgl. Ausblick 8.5.



Bino.exe: Dieses Programm stellt die eigentliche Experimentoberfläche dar (siehe Abb. 5.4.1). Mit Start von Bino.exe beginnt das Experiment. Die Anfangseinstellung besteht darin, dass die beiden Halbbilder von *Hecke* und *Zweig* jeweils ruhen, und die beiden Halbbilder des *Zweiges* auf maximale Disparität eingestellt sind. Der Versuchsleiter hat die Aufgabe, die im Versuchsplan notierten Werte von d (und v bei (M)) einzustellen und dann die V_{pn} aufzufordern, nach der in der Instruktion (vgl. 5.4.3) vereinbarten Methode vorzugehen.

5.4.2 Aufgaben der Versuchspersonen

Markierungsmethode (M):

Die Versuchspersonen hatten die Aufgabe, die am rechten oberen Rand des *Zweiges* angebrachte Markierung (vgl. 5.3.2) mit den Cursor-Tasten „Up“ bzw. „Down“ vertikal so zu verschieben, dass der untere Rand der Markierung den oberen Rand des subjektiv wahrgenommenen rNI anzeigt. Zur genauen Einstellmethode siehe 5.4.3, Punkt 15.

Abgleichmethode (VN):

Die Vpn. hatten bei voreingestellter Disparität D die Aufgabe, die Bewegungsgeschwindigkeit der *Hecke* so einzustellen, dass die beiden tNI rechts und links von dem *Zweig* subjektiv die gleiche Breite besitzen wie das rNI (vgl. 5.4.3 Punkt 23).

5.4.3 Versuchsablauf und Instruktion der Versuchspersonen

Aufgrund der nicht trivialen Beschreibbarkeit des Phänomens (vgl. 8.1) kam es bereits in den Vorversuchen zu vielen Nachfragen durch die Versuchspersonen (Vpn.). Daher wurde in den Experimentalserien auf eine wortgetreu übereinstimmende Instruktion verzichtet. Im folgenden ist exemplarisch der Ablauf eines Experiments mit einer Vp. in den Experimentserie E2 in allen Einzelschritten stichpunktartig dargestellt. Die Versuchsschritte in den Experimentalserien E1 und E3 verliefen zum Teil analog. Der genaue Versuchsablauf ist dort – vgl. 6.1 bzw. 7.1 – unter Bezugnahme auf die hier angegebenen nummerierten Versuchsschritte dargestellt:

1. Erstellung einer Versuchsprotokoll-Liste, in die die von der Vp. zu erfassenden Werte eingetragen werden. Vorher Randomisierung der Reihenfolge, in der die Einzelmessungen durchgeführt werden – vgl. 5.3.2.1.
2. Begrüßung der Vp. und Aufnahme der persönlichen Daten (Name, Geschlecht, Alter, Augenabstand) in das Versuchsprotokoll.
3. Start der Software und Einstellung der Startparameter (vgl. 5.3.1) mit Ausnahme von v , also mit ruhender *Hecke*. Überprüfung, dass alle Parameter auf die Default-Werte eingestellt sind.
4. Erste theoretische Erläuterung des DSI-Phänomens, das die Vp. beobachten wird: rNI am oberen Rand des *Zweiges*, der später räumlich hinter der vertikal nach oben bewegend *Hecke* wahrgenommen werden wird. Da in den Vorversuchen die Existenz des DSI-Phänomens von allen Vpn. zweifelsfrei bestätigt wurde, konnte hier darauf verzichtet werden, die Vpn. „naiv“ beobachten zu lassen. Es ging in den Experimentreihen E1-E3 nicht darum, die Existenz des DSI-Phänomens zu belegen, sondern das Ausmaß des Phänomens quantitativ zu bestimmen.
5. Abmessung des Beobachtungsabstandes und Instruktion der Vp., den definierten Beobachtungsabstand während der gesamten Versuche so genau wie möglich beizubehalten – zur Kritik dieses Vorgehens vgl. 8.3.
6. Rückversicherung, ob sich die Vp. in der Lage sieht, mit dem ersten Testlauf, der das DSI-Phänomen zeigt, zu beginnen.
7. Instruktion der Vp., die entsprechenden Vorbereitungen, die zur Tiefenwahrnehmung nötig sind, durchzuführen (also Aufsetzen der Shutterbrille im Shutter-Modus, bzw. Zusammen-Schielen bzw. –Starren im 2RD-Modus) und Frage an die Vp., ob sie die Situation in der richtigen Weise – also die *Hecke* vor dem *Zweig* – wahrnimmt. Dies

kann gelegentlich eine Weile dauern, je nach Übung und Konzentration der Vp. Mit dem Testlauf kann erst begonnen werden, wenn die Vp. versichert, den *Zweig* in der zugeordneten Tiefenposition, also räumlich hinter der *Hecke* wahrzunehmen.

8. Instruktion der Vp., dass sie im folgenden immer beim Beobachten der Szene auf den oberen Rand des *Zweiges* blicken soll – zur Rolle von Augenbewegungen siehe Kritik 8.3.
9. Erster Testlauf: Einstellung einer Testgeschwindigkeit mit festen Daten (Parameter: $d=10$ Pixel, $v=60$ Pixel/s).
10. Instruktion der Vp. mit Hinweis auf technischen Mangel des Versuchsaufbaus: Im Shutter-Modus kann es passieren, dass durch eine hardwarebedingte Aktivität des Betriebssystems die reguläre Darstellung der beiden *Zweig*-Halbbilder um ein Bild verzögert dargestellt wird. Dies hat zur Folge, dass die beiden *Zweig*-Halbbilder „vertauscht“ werden und somit der *Zweig* in der Wahrnehmung „nach vorne“ springt. Die Vp. wurde instruiert, den Versuchsablauf in so einem Fall sofort zu unterbrechen und dies zu melden, damit der Vl. durch einen Knopfdruck am Hardware-Zubehör der Shutterbrille die richtige Tiefenposition wieder einstellen kann. Erst wenn die Vp. bestätigt, dass sie die Situation wieder in der vorgesehenen Tiefensituation wahrnimmt, wird mit dem Versuchsablauf fortgefahren. Diese Fehler kommen selten vor (maximal ein Mal pro Vp.) und wurden nicht protokolliert.
11. Instruktion an die Vp., festzustellen, ob sie das DSI-Phänomen wie beschrieben wahrnimmt, und dies an den Vl. zu melden.
12. Wenn die Vp. das DSI-Phänomen beobachten konnte: Ende des ersten Testlaufes und Rücksetzung der Parameter auf $v=0$ Pixel/s, $d=10$ Pixel und Markierung auf Null durch den Vl.
13. Diskussion mit der Vp. über deren Wahrnehmung, vertiefende Erläuterung des Phänomens.
14. Explizite Möglichkeit der Vp., noch offene Fragen zu klären.
15. Erläuterung der folgenden Messreihen mit der Markierungsmethode (M), nämlich die Erfassung der Breite des wahrgenommenen rNI durch Einstellung der Markierung mit den Cursortasten „Up“ bzw. „Down“. Dabei soll die „**Einkreisermethode**“ verwendet werden: Die Markierung ist zunächst ein wenig über den tatsächlichen Wert, dann ein wenig darunter, dann wieder darüber (aber nicht so weit wie beim ersten Mal) einzustellen usw. so lange bis die adäquate Position der Markierung gefunden ist. **Die Endposition der Markierung sollte so eingestellt werden, dass der untere Rand der Markierung auf dem oberen Rand der wahrgenommenen DSI-Lücke liegt, die Lücke also gerade berührt.**
16. Wenn die Versuchsperson subjektiv der Meinung ist, die richtige Position für die Markierung gefunden zu haben, informiert sie den Versuchsleiter.
17. Rückversicherung, ob sich die Vp. in der Lage sieht, mit dem zweiten Testlauf zu beginnen, und mit der Markierungsmethode (M) die Breite des rNI einzustellen.
18. Erneute Instruktion der Vp., die entsprechenden Vorbereitungen, die zur Tiefenwahrnehmung nötig sind, durchzuführen (also Aufsetzen der Shutterbrille im Shutter-Modus, bzw. Zusammen-Schielen bzw. –Starren im 2RD-Modus) und Abwarten der Rückmeldung durch die Vp., dass sie die Situation in der angegebenen Weise dreidimensional wahrnimmt.

19. Zweiter Testlauf: Einstellung derselben Testgeschwindigkeit wie beim ersten Testlauf (Parameter: $d=10$ Pixel, $v=60$ Pixel/s).
20. Instruktion an die Vp., mit der Markierungsmethode (M) die Breite des rNI einzustellen. Der eingestellte Wert in Pixel wird vom Vl. im Versuchsprotokoll festgehalten. Er ergibt sich aus dem Abstand (in Pixel) der eingestellten Markierung vom Zweigrand.
21. Durchführung derselben Messung unter Benutzung einer Verdunkelungsbrille (Sonnenbrille mit Verdunkelungsfaktor 0,6). Zunächst qualitative Frage an die Vp.: Verändert sich die Breite des rNI, wenn die Szene lichtschwächer, also unter Zuhilfenahme der Verdunkelungsbrille beobachtet wird? Wenn ja, Instruktion an die Vp., diesen neuen Wert ebenfalls mit der Markierung einzustellen. Erfassung dieser Werte im Versuchsprotokoll durch den Vl.
22. Ende des zweiten Testlaufes und Rücksetzung der Parameter auf $v=0$ Pixel/s, $d=10$ Pixel und Markierung auf Null durch den Vl.
23. Erläuterung der später folgenden Messreihe mit der Abgleichmethode (VN) – vgl. 5.3.2, 2. Methode: Einstellung einer zur subjektiven Gleichheit von tNI und rNI führenden Bewegungsgeschwindigkeit der *Hecke* mit den Tasten F1 bzw. F2. Hierzu ist ebenfalls die „**Einkreismethode**“ (s. Punkt 15) zu verwenden.
24. Erläuterung eines dritten Testlaufes „Einschätzung der tNI“ zur Überprüfung, ob die subjektive Einschätzung der Breite der tNI durch die Vp. mit der objektiven Einstellung übereinstimmt. Hierzu wird die Vp. gebeten, bei ruhender *Hecke* und verschiedenen Werten von d die Markierung so einzustellen, dass ihr Abstand vom oberen *Zweig*-Rand subjektiv genau der Breite der tNI entspricht. Wie man sich leicht klar macht, ist d gleich der Breite der tNI in Pixel.
25. Erneute Instruktion der Vp., die entsprechenden Vorbereitungen, die zur Tiefenwahrnehmung nötig sind, durchzuführen (also Aufsetzen der Shutterbrille im Shutter-Modus, bzw. Zusammen-Schielen bzw. –Starren im 2RD-Modus) und Abwarten der Rückmeldung durch die Vp., dass sie die Situation in der angegebenen Weise dreidimensional wahrnimmt.
26. Dritter Testlauf „Einschätzung der tNI“ mit 11 Messungen wie in Punkt 24 beschrieben mit $v=0$ Pixel/s und $d=2k+1$ Pixel; $k=0, \dots, 10$.
27. Darbietung der verschiedenen Werte von d in randomisierter Reihenfolge - wie unter 1. vorbereitet. Die durch die Vp. eingestellten Positionen der Markierung in Pixel werden vom Vl. im Versuchsprotokoll festgehalten.
28. Ende des dritten Testlaufes und Rücksetzung der Parameter auf $v=0$ Pixel/s, $d=10$ Pixel und Markierung auf Null durch den Vl.
29. Instruktion der Vp.: Aufzählung der bevorstehenden Messreihen wie folgt: 1. „Nullversuch“ mit dem *Zweig* vor der *Hecke* statt dahinter, 2. Messreihe mit Markierungsmethode (M), 3. Messreihe mit Abgleichmethode (VN), 4. vier verschiedene (kürzere) Messreihen mit Markierungsmethode (M) und unterschiedlichen Mustereigenschaften (Variation der Parameter „RF“, Raumfrequenz und „AP“, Anzahl der Ankerpunkte) von *Hecke* und *Zweig*, 5. abschließender „Nullversuch“.
30. Versicherung, dass die Vp. nicht ermüdet ist, für den Beginn der Messreihen bereit ist, alle Instruktionen verstanden hat, das DSI-Phänomen wahrnimmt und sich zutraut, im folgenden die Breite des rNI mit den beschriebenen Methoden (M) und (VN) zu erfassen.

31. Herstellung der Experiment-Bedingung durch Abdunkelung der Experimentumgebung.
32. Erneute Instruktion der Vp., die entsprechenden Vorbereitungen, die zur Tiefenwahrnehmung nötig sind, durchzuführen (also Aufsetzen der Shutterbrille im Shutter-Modus, bzw. Zusammen-Schielen bzw. –Starren im 2RD-Modus) und Abwarten der Rückmeldung durch die Vp., dass sie die Situation in der angegebenen Weise dreidimensional wahrnimmt.
33. Die 1. Messreihe „Nullversuch vor dem Experiment“, Markierungsmethode (M), $d = -1$ Pixel, der *Zweig* wird also räumlich knapp vor der *Hecke* wahrgenommen, $v = 10, 50, 100, 150, 200, 240$ Pixel/s, Reihenfolge randomisiert. Die durch die Vp. eingestellten Positionen der Markierung in Pixel werden vom VI. im Versuchsprotokoll festgehalten.
34. Rücksetzung der Parameter auf $v=0$ Pixel/s, $d=10$ Pixel und Markierung auf Null durch den VI.
35. Rückversicherung, ob sich die Vp. in der Lage sieht, mit der nächsten Messreihe fortzufahren, ansonsten Einlegung einer kurzen Pause.
36. Die 2. Messreihe: Markierungsmethode (M), $d=10$ Pixel mit den 13 Werten $v = 10, k \cdot 20$ Pixel/s; $k=1, \dots, 12$. Reihenfolge randomisiert. Die durch die Vp. eingestellten Positionen der Markierung in Pixel werden vom VI. im Versuchsprotokoll festgehalten.
37. Rücksetzung der Parameter auf $v=0$ Pixel/s, $d=10$ Pixel und Markierung auf Null durch den VI.
38. Rückversicherung, ob sich die Vp. in der Lage sieht, mit der nächsten Messreihe fortzufahren, ansonsten Einlegung einer kurzen Pause.
39. Die 3. Messreihe: Abgleichmethode (VN) mit den 11 Werten $d = 2k+1$ Pixel; $k=0, \dots, 10$ (AV: v). Reihenfolge randomisiert. Wenn die Vp. subjektiv jeweils die passende Geschwindigkeit eingestellt hat, liest der VI. auf Zeichen der Vp. den Wert in Pixel/s von der Bildschirmanzeige ab und trägt ihn im Versuchsprotokoll ein.
40. Rücksetzung der Parameter auf $v=0$ Pixel/s, $d=10$ Pixel und Markierung auf Null durch den VI.
41. Rückversicherung, ob sich die Vp. in der Lage sieht, mit der nächsten Messreihe fortzufahren, ansonsten Einlegung einer kurzen Pause.
42. Die 4. Messreihe: Markierungsmethode (M), Raumfrequenz *Hecke*: 1×1 Pixel, Raumfrequenz *Zweig*: 2×2 Pixel, $d=10$ Pixel mit den sechs Werten $v = 10, 50, 100, 150, 200, 240$ Pixel/s, Reihenfolge randomisiert. Die durch die Vp. eingestellten Positionen der Markierung in Pixel werden vom VI. im Versuchsprotokoll festgehalten.
43. Rücksetzung der Parameter auf $v=0$ Pixel/s, $d=10$ Pixel und Markierung auf Null durch den VI.
44. Rückversicherung, ob sich die Vp. in der Lage sieht, mit der nächsten Messreihe fortzufahren, ansonsten Einlegung einer kurzen Pause.
45. Die 5. Messreihe: Markierungsmethode (M), Raumfrequenz *Hecke*: 2×2 Pixel, Raumfrequenz *Zweig*: 1×1 Pixel, $d=10$ Pixel mit den 6 Werten $v = 10, 50, 100, 150, 200, 240$ Pixel/s, Reihenfolge randomisiert. Die durch die Vp. eingestellten Positionen der Markierung in Pixel werden vom VI. im Versuchsprotokoll festgehalten.

46. Rücksetzung der Parameter auf Raumfrequenz *Hecke* und *Zweig*: 2x2 Pixel, $v=0$ Pixel/s, $d=10$ Pixel und Markierung auf Null durch den VI.
47. Rückversicherung, ob sich die Vp. in der Lage sieht, mit der nächsten Messreihe fortzufahren, ansonsten Einlegung einer kurzen Pause.
48. Die 6. Messreihe: Markierungsmethode (M), Anzahl der Ankerpunkte *Hecke* 25:75, Anzahl der Ankerpunkte *Zweig* 75:25, $d=10$ Pixel mit den sechs Werten $v = 10, 50, 100, 150, 200, 240$ Pixel/s. Reihenfolge randomisiert. Die durch die Vp. eingestellten Positionen der Markierung in Pixel werden vom VI. im Versuchsprotokoll festgehalten.
49. Rücksetzung der Parameter auf $v=0$ Pixel/s, $d=10$ Pixel und Markierung auf Null durch den VI.
50. Rückversicherung, ob sich die Vp. in der Lage sieht, mit der nächsten Messreihe fortzufahren, ansonsten Einlegung einer kurzen Pause.
51. Die 7. Messreihe: Markierungsmethode (M), Anzahl der Ankerpunkte *Hecke* 75:25, Anzahl der Ankerpunkte *Zweig* 25:75, $d=10$ Pixel mit den sechs Werten $v = 10, 50, 100, 150, 200, 240$ Pixel/s, Reihenfolge randomisiert. Die durch die Vp. eingestellten Positionen der Markierung in Pixel werden vom VI. im Versuchsprotokoll festgehalten.
52. Rücksetzung der Parameter auf Anzahl der Ankerpunkte *Hecke* und *Zweig*: 50:50, $v=0$ Pixel/s, $d=10$ Pixel und Markierung auf Null durch den VI.
53. Rückversicherung, ob sich die Vp. in der Lage sieht, mit der nächsten Messreihe fortzufahren, ansonsten Einlegung einer kurzen Pause.
54. Die 8. Messreihe „Nullversuch nach dem Experiment“, Markierungsmethode (M), $d = -1$ Pixel, der *Zweig* wird also räumlich knapp vor der *Hecke* wahrgenommen, $v = 10, 50, 100, 150, 200, 240$ Pixel/s, Reihenfolge randomisiert. Die durch die Vp. eingestellten Positionen der Markierung in Pixel werden vom VI. im Versuchsprotokoll festgehalten.
55. Rücksetzung der Parameter auf $v=0$ Pixel/s, $d=10$ Pixel und Markierung auf Null durch den VI.
56. Am Ende der Messreihen wird der Vp. die Gelegenheit gegeben, sich kritisch zum Versuchsablauf zu äußern.

5.4.4 Verlauf der Experimentalserien

Mit den Experimentalserien E1 und E2 wurde die Hypothese H1 qualitativ und quantitativ getestet. Aus den Ergebnissen von E1 und E2 ergab sich der Bedarf, eine weitere Experimentalserie unter optimierten Bedingungen zu konstruieren – näheres dazu wird in 6.3 diskutiert. Die Experimentalserie E3 wurde für diesen Zweck durchgeführt und in Kap. 7 beschrieben. Eine zusammenfassende Diskussion der Ergebnisse findet sich in Kap. 8.

6 Experimentalserien E1 und E2: Ergebnisse und Auswertung

6.1 Ergebnisse von E1

Die Experimentalserie E1 basiert auf folgender Hard- und Softwareumgebung:

PC: Intel Pentium® II-MMX, 400 MHz, 128 MB RAM,

Grafik-Karte: ATI Rage IIC AGP,

Monitor: Miro Displays Modell miroVS1770F, 17“,
Bildwiederholffrequenz: 75 Hz (optimal), d.h. mit Shutterbrille 37,5 Hz,
Bildschirmauflösung: 1024x768 Pixel,

Shutterbrille: VR Joy, Fa. VR Standard Corporation, Max. Input Freq.: 180 Hz,

Betriebssystem: Windows 95, Direct X 5.2,

Software: „Bino2.4“ (vgl. 5.4.1 sowie Scheiner, 1999).

Aus den Hardwaredaten ergibt sich für die Experimentserie E1 eine Pixelgröße (Höhe) von 0,38 mm.

Der Versuchsablauf der Experimentalserie E1 war in den Schritten 1-31 derselbe wie bei E2 (beschrieben unter 5.4.3). Einziger Unterschied: Folgende unter 5.4.3 aufgezählte Schritte wurden erst bei E2 unternommen, fanden also unter E1 noch nicht statt:

- Messung mit Verdunkelungsbrille (Schritt 21)
- Dritter Testlauf zur Validitätsüberprüfung der Abgleichmethode (VN) (Schritte 24-28)

Alle anderen Schritte 1-31 fanden unter E1 wie in 5.4.3 beschrieben statt, mit Ausnahme von Schritt 29: Darunter wurde sinngemäß über die tatsächlich folgenden Messreihen informiert. Die nach dem Schritt 32 folgenden Messreihen, die in E1 erfolgten, ergeben sich aus den hier genannten Versuchsdaten. Die Messreihen in E1 endeten wie in E2 mit Schritt 56.

Die Messdaten der folgenden Experimente sind in Tabellenform im Anhang (vgl. 10.2) angegeben. Hier die Bedeutung der einzelnen Spalten:

- Messung Nr.: Die Messungen wurden randomisierter Reihenfolge durchgeführt und durchnummeriert. Eintrag n bedeutet die n-te Messung
- v_p : Bewegungsgeschwindigkeit der *Hecke* in Pixel/s.
- v : Bewegungsgeschwindigkeit der *Hecke* in mm/s.
- v_g : Bewegungsgeschwindigkeit der *Hecke* in Grad/s.
- W_z : Softwarebedingt abgelesener Messwert für die Einstellung der Markierung (In E1 wurde die unter 5.3.2 beschriebene erste Methode zur Ermittlung des eingestellten Wertes benutzt – der auf dem Bildschirm angezeigte Wert ist W_z .)
- z : Aus W_z resultierender Wert für die Breite des rNI in mm.
- z_g : Breite des rNI in Grad.
- z_p : Breite des rNI in Pixel.

- W_d : Softwarebedingt abgelesener Messwert für die Einstellung des Wertes d – vgl. 5.3.1.
- d_p : Aus W_d resultierender Wert d in Pixel.
- D : Disparität in Winkelminuten (vgl. 5.3.1).
- x : Errechneter imaginärer Abstand des *Zweiges* von der *Hecke* in mm.
- t : Aus den zugehörigen Werten durch $t = \frac{z}{v}$ berechnete Zeit bei Geschwindigkeit v .

Die Experimente 1-8 sind mit der Markierungsmethode (M) erfasst, d.h. AV: z , UV: v ($d_p = 10$ Pixel = const.), die Experimente 9-13 mit der Abgleichmethode (VN), d.h. AV: v , UV: d (d ist in diesem Fall subjektiv äquivalent zu z – vgl. 5.3.2, 2.Methode). Hier zunächst die Parameter der Experimente im Überblick (a , r , x , D , RF wie vorher definiert):

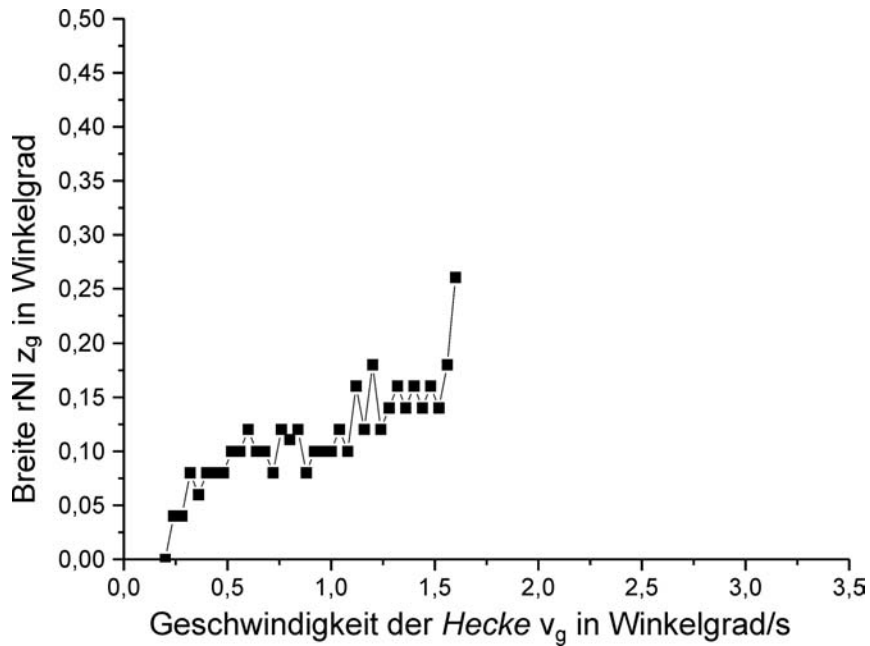
Exp.	Vp.	a	Methode	Modus	r	x	D	RF He.	RF Zw.
1	A	66 mm	M	2RD	1100 mm	64 mm	0,19°	2x2	2x2
2	A	66 mm	M	S	1100 mm	64 mm	0,19°	2x2	2x2
3	C	65 mm	M	2RD	1000 mm	59 mm	0,21°	2x2	2x2
4	C	65 mm	M	S	1000 mm	59 mm	0,21°	2x2	2x2
5	B	66 mm	M	S	1100 mm	64 mm	0,19°	2x2	2x2
6	A	66 mm	M	S	1000 mm	58 mm	0,21°	2x2	2x2
7-1	A	66 mm	M	S	1000 mm	58 mm	0,21°	1x1	1x1
7-2	A	66 mm	M	S	1000 mm	58 mm	0,21°	3x3	3x3
7-3	A	66 mm	M	S	1000 mm	58 mm	0,21°	4x4	4x4
7-4	A	66 mm	M	S	1000 mm	58 mm	0,21°	6x6	6x6
8-1	A	66 mm	M	S	600 mm	35 mm	0,35°	2x2	1x1
8-2	A	66 mm	M	S	600 mm	35 mm	0,35°	3x3	1x1
9	A	66 mm	VN	2RD	1100 mm	(UV)	(UV)	2x2	2x2
10	A	66 mm	VN	2RD	1100 mm	(UV)	(UV)	2x2	2x2
11	A	66 mm	VN	2RD	1100 mm	(UV)	(UV)	2x2	2x2
12	C	65 mm	VN	2RD	1000 mm	(UV)	(UV)	2x2	2x2
13	C	65 mm	VN	S	1000 mm	(UV)	(UV)	2x2	2x2
14	B	66 mm	VN	S	1100 mm	(UV)	(UV)	2x2	2x2

6.1.1 Grafische Darstellung der experimentell erzielten Resultate

Eine tabellarische Zusammenstellung der in E1 erhaltenen Rohdaten findet sich im Anhang unter 10.2. Hier die zugehörigen Graphen:

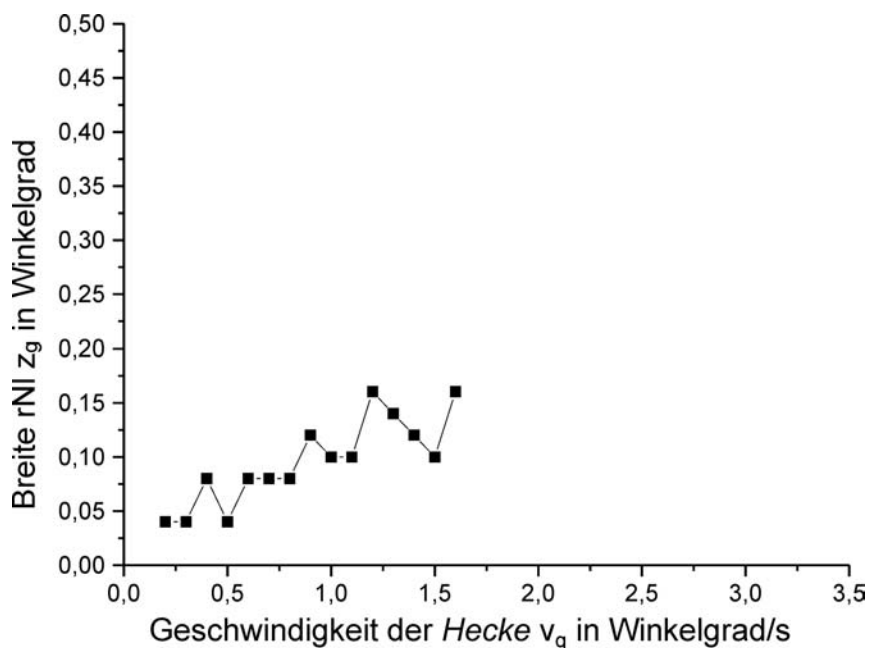
Experiment 1:

Vp.: A, d=10 Pixel, r=1,1m, Versuchsmodus: 2RD, AV: z, UV: v.



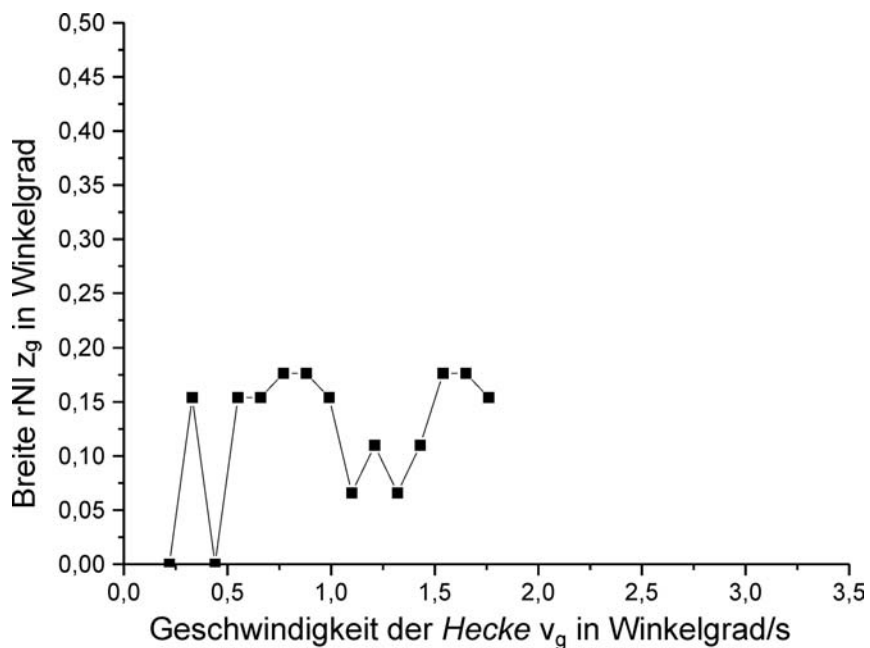
Experiment 2:

Vp.: A, d=10 Pixel, r=1,1m, Versuchsmodus: S, AV: z, UV: v.



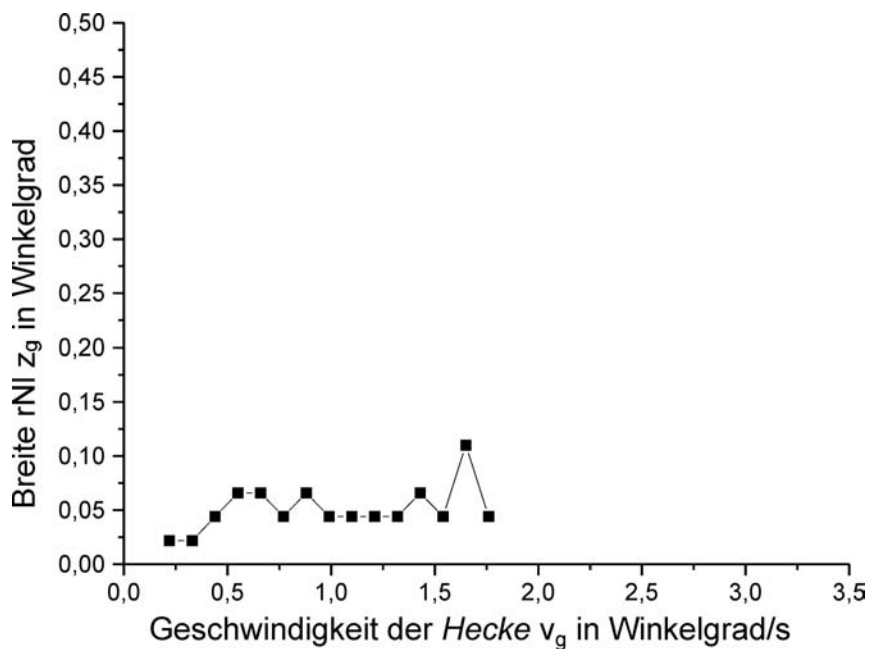
Experiment 3:

Vp.: C, d=10 Pixel, r=1,0m, Versuchsmodus: 2RD, AV: z, UV: v.



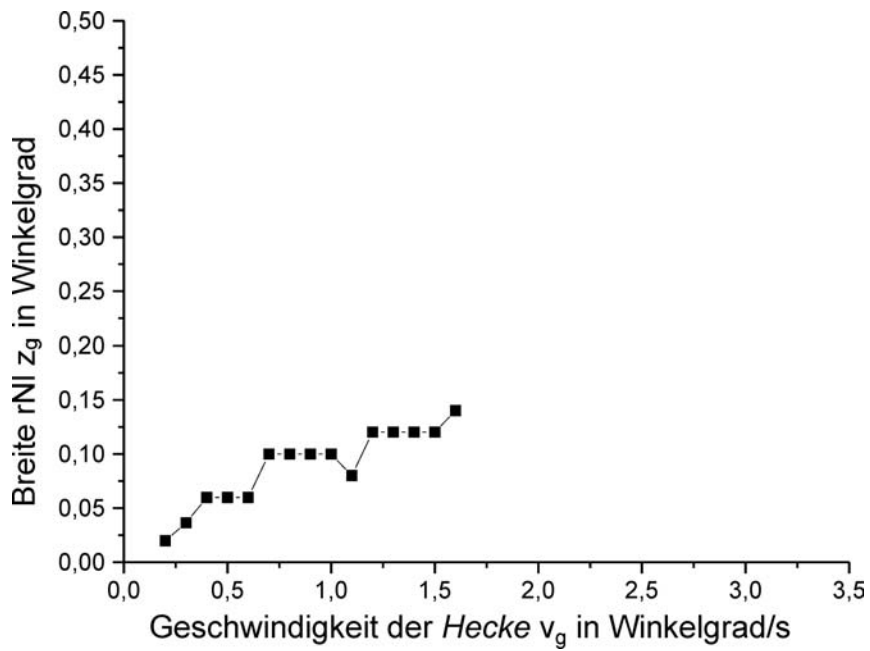
Experiment 4:

Vp.: C, d=10 Pixel, r=1,0m, Versuchsmodus: S, AV: z, UV: v.



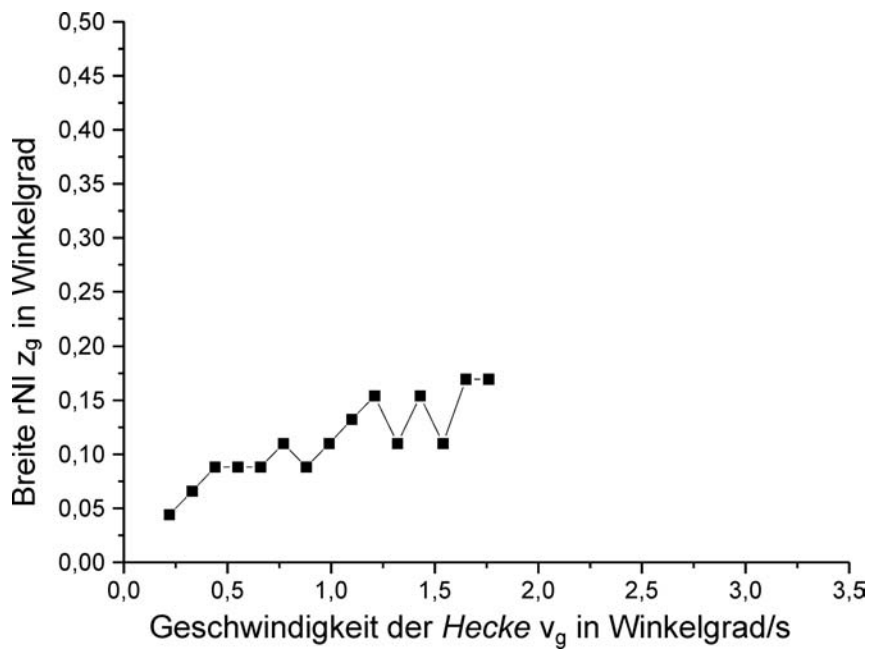
Experiment 5:

Vp.: B, d=10 Pixel, r=1,1m, Versuchsmodus: S, AV: z, UV: v.



Experiment 6:

Vp.: A, d=10 Pixel, r=1,0m, Versuchsmodus: 2RD, AV: z, UV: v.



Experiment 7:

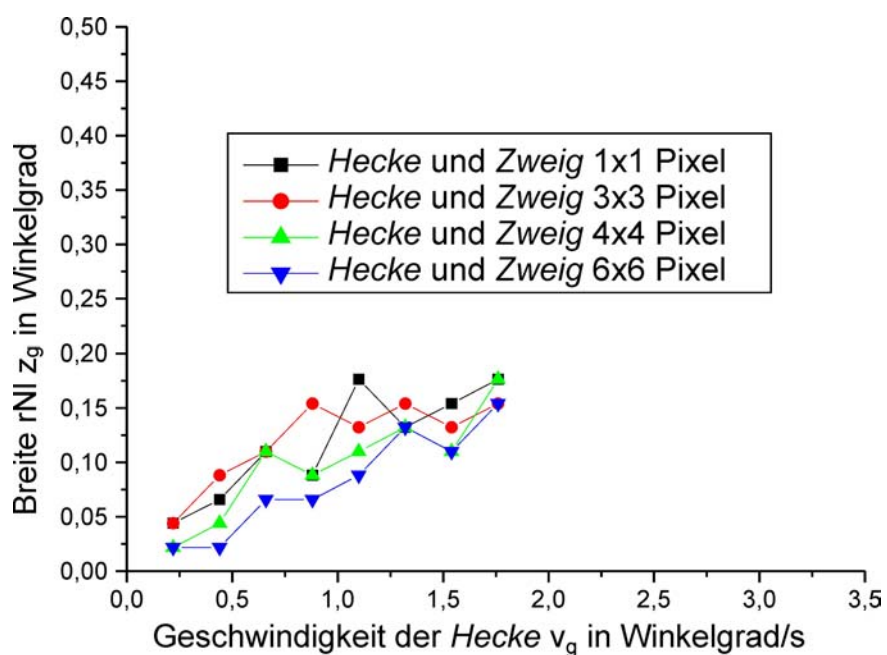
7-1: V_p : A, $d=10$ Pixel, $r=1,0m$, Versuchsmodus: S, AV: z, UV: v.
RF *Hecke* und RF *Zweig*: 1x1

7-2: V_p : A, $d=10$ Pixel, $r=1,0m$, Versuchsmodus: S, AV: z, UV: v.
RF *Hecke* und RF *Zweig*: 3x3

7-3: V_p : A, $d=10$ Pixel, $r=1,0m$, Versuchsmodus: S, AV: z, UV: v.
RF *Hecke* und RF *Zweig*: 4x4

7-4: V_p : A, $d=10$ Pixel, $r=1,0m$, Versuchsmodus: S, AV: z, UV: v.
RF *Hecke* und RF *Zweig*: 6x6

In der folgenden Grafik ist 7-1 dargestellt als B, 7-2 als C, 7-3 als D und 7-4 als E:

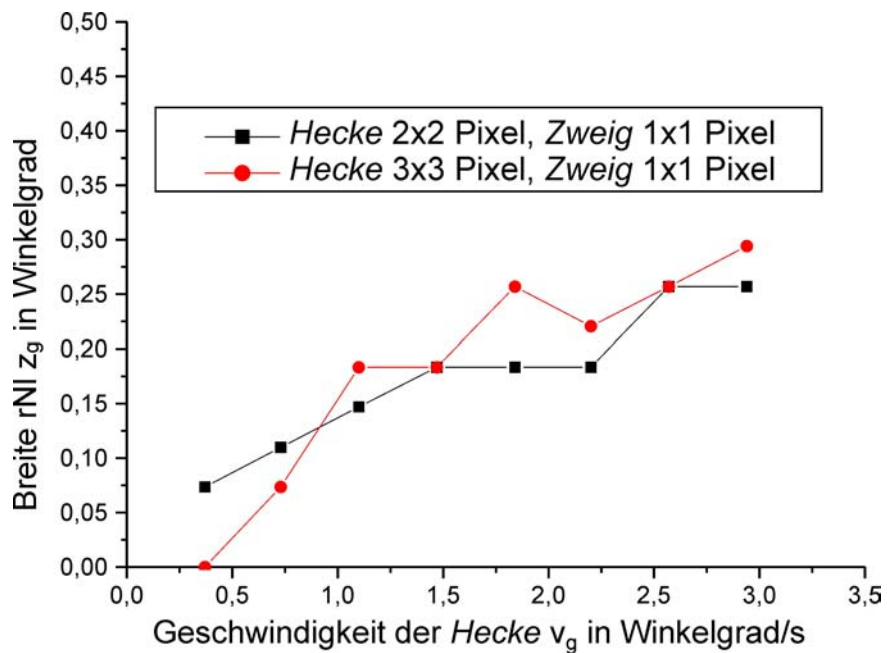


Experiment 8:

8-1: V_p : A, $d=10$ Pixel, $r=0,6m$, Versuchsmodus: S, AV: z, UV: v.
 RF Hecke: 2x2, RF Zweig: 1x1

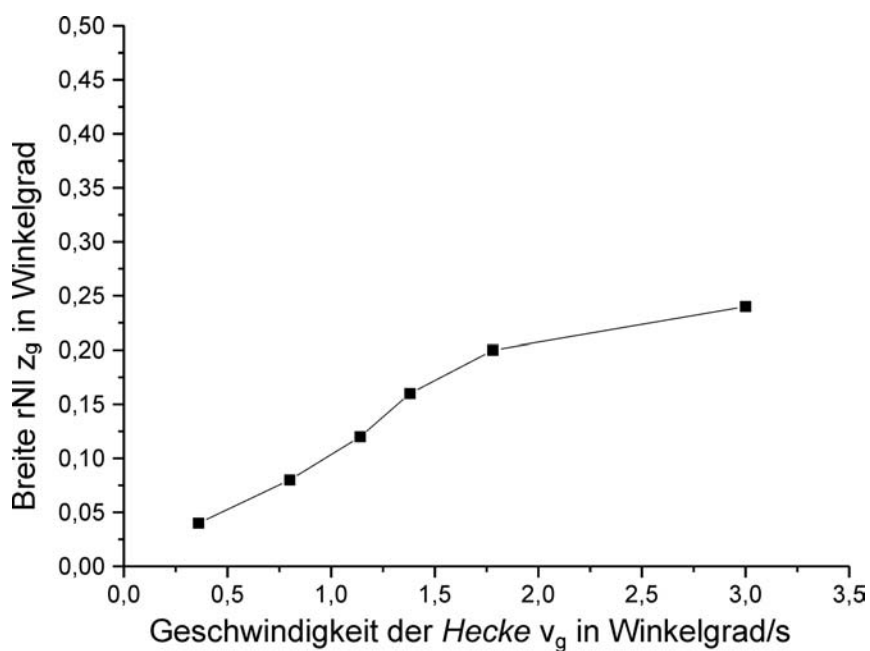
8-2: V_p : A, $d=10$ Pixel, $r=0,6m$, Versuchsmodus: S, AV: z, UV: v.
 RF Hecke: 3x3, RF Zweig: 1x1

In der folgenden Grafik ist 8-1 dargestellt als B und 8-2 als C:



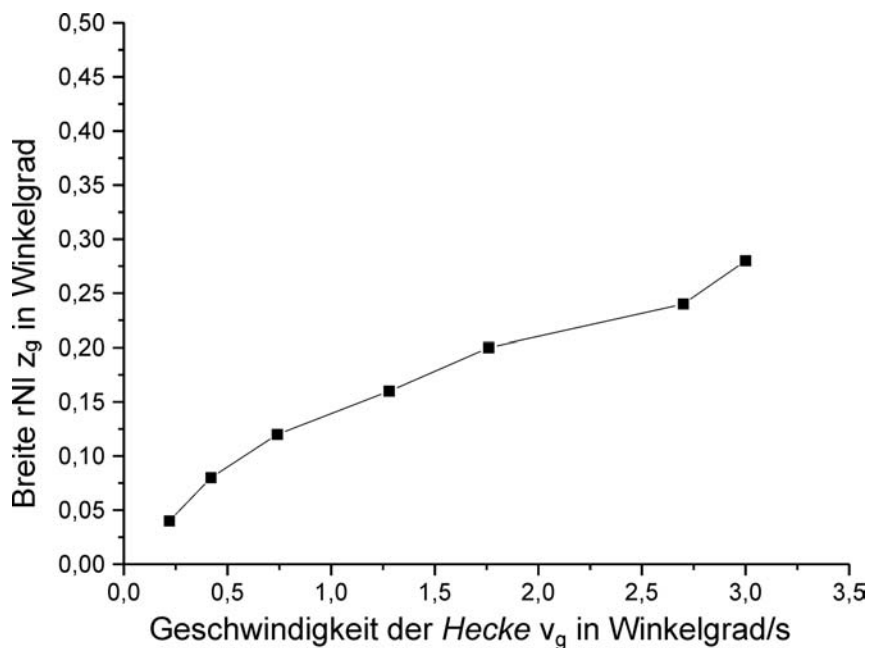
Experiment 9:

V_p : A, $r=1,1m$, Versuchsmodus: 2RD, AV: v, UV: d.



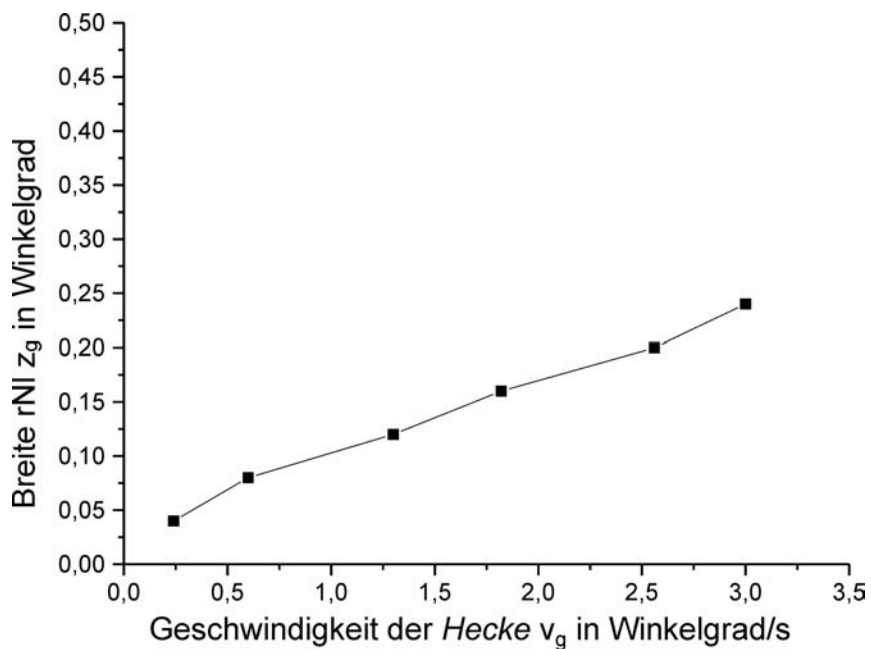
Experiment 10:

Vp.: A, r=1,1m, Versuchsmodus: 2RD, AV: v, UV: d.



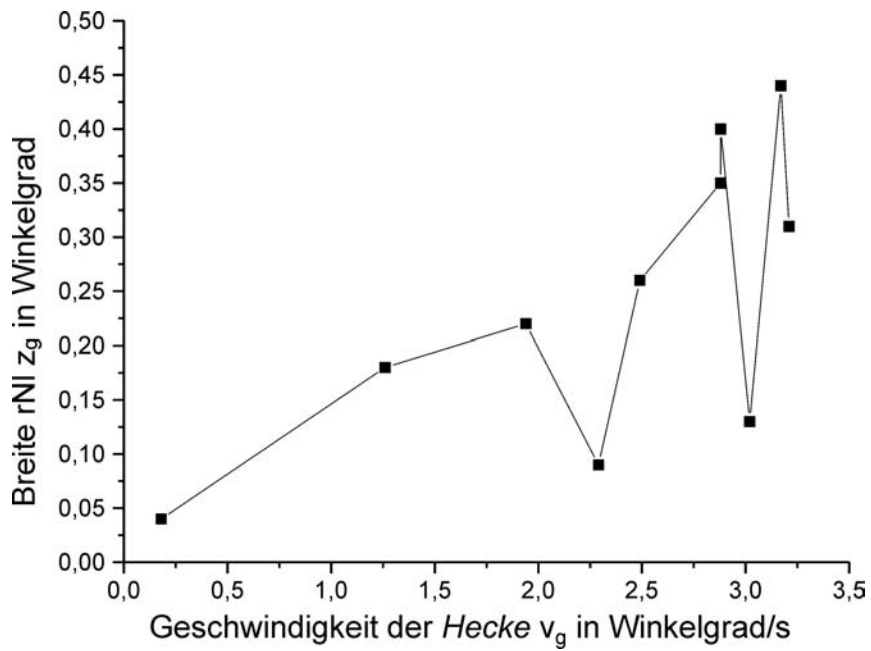
Experiment 11:

Vp.: A, r=1,1m, Versuchsmodus: 2RD, AV: v, UV: d.



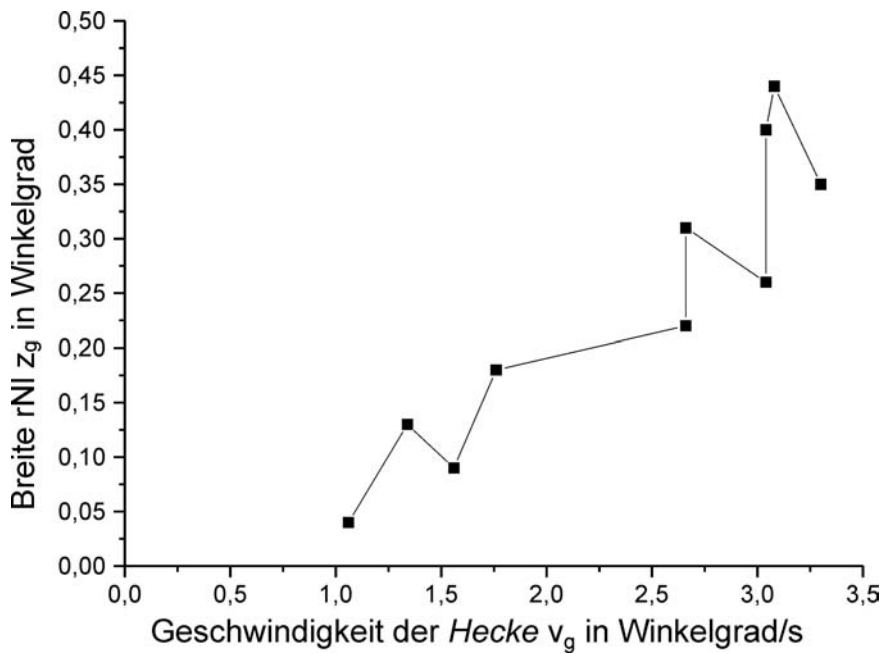
Experiment 12:

Vp.: C, r=1,0m, Versuchsmodus: 2RD, AV: v, UV: d.



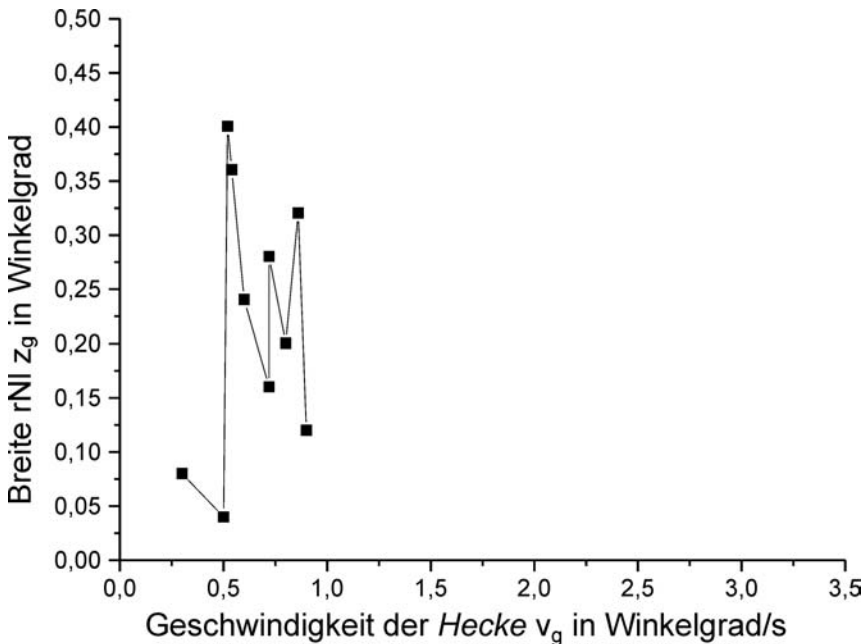
Experiment 13:

Vp.: C, r=1,0m, Versuchsmodus: S, AV: v, UV: d.



Experiment 14:

Vp.: B, r=1,1m, Versuchsmodus: S, AV: v, UV: d.



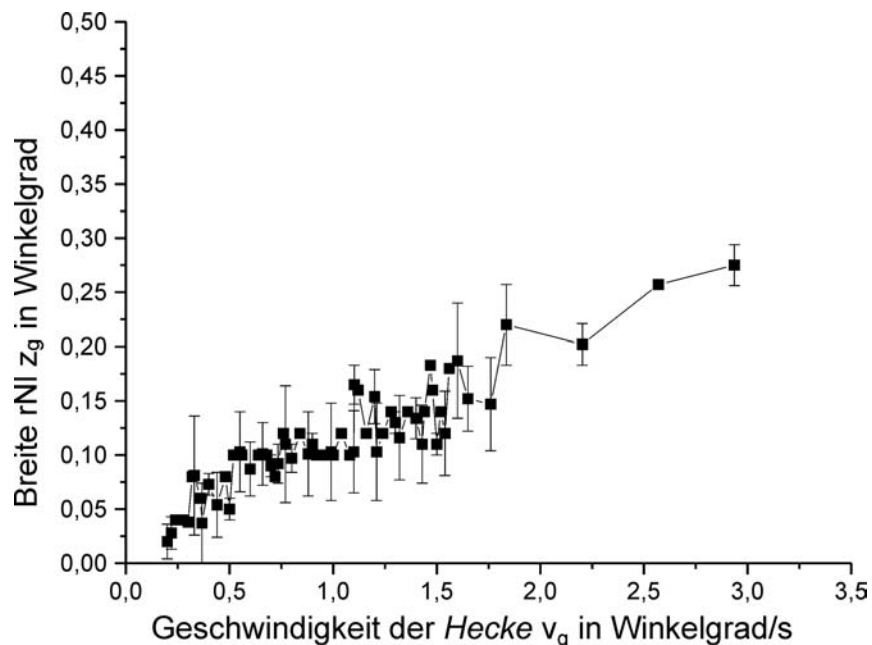
6.1.2 Zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse

In der Experimentalserie E1 wurde die Breite der DSI-Lücke in 14 Experimenten mit insgesamt 212 Einzelmessungen erfasst. Davon stammen 36 Einzelmessungen aus Experiment 1, je 15 Einzelmessungen aus den fünf Experimenten 2-6, je 8 Einzelmessungen aus den sechs Experimenten 7.1 bis 7.4, 8.1 und 8.2, 10 Einzelmessungen aus Experiment 9, 7 Einzelmessungen aus Experiment 10, 6 Einzelmessungen aus Experiment 11 und je 10 Einzelmessungen aus den drei Experimenten 12-14. Die Rohdaten sind im Anhang unter 10.2.1 aufgelistet und in den Tabellen unter 10.2.2 zusammen gefasst.

6.1.2.1 Zusammenfassung nach Methode

Die Messergebnisse der Experimente 1-8 wurden mit der Markierungsmethode (M) erfasst. Wie man aus den Graphen zu den Experimenten 7 und 8 erkennt, ergibt die Variation des Parameters „Raumfrequenz“ keinen signifikanten Einfluss auf die abhängige Variable z (vgl. auch 6.1.3). Auf eine statistische Auswertung wird an dieser Stelle noch verzichtet – dies wird per Varianzanalyse in der weitergehenden Experimentalserie E2 anhand mehrerer Versuchspersonen nachgeliefert. An dieser Stelle soll es bei der aus der Grafik ersichtlichen Feststellung bleiben. Es ist also legitim, die Daten der Experimente 1-8 zusammenzufassen. Hierzu werden in der Tabelle im Anhang 10.2.2. A) alle vorkommenden Abszissenwerte mit den zugehörigen Messwerten aufgelistet. Für Abszissen mit mehreren Messwerten wird ein Mittelwert gebildet (und die Standardabweichung ermittelt), bei Abszissen mit nur einem Messwert wird dieser Wert als „Mittelwert“ notiert.

Aus den so zusammengefassten Werten ergibt sich folgende Messkurve:

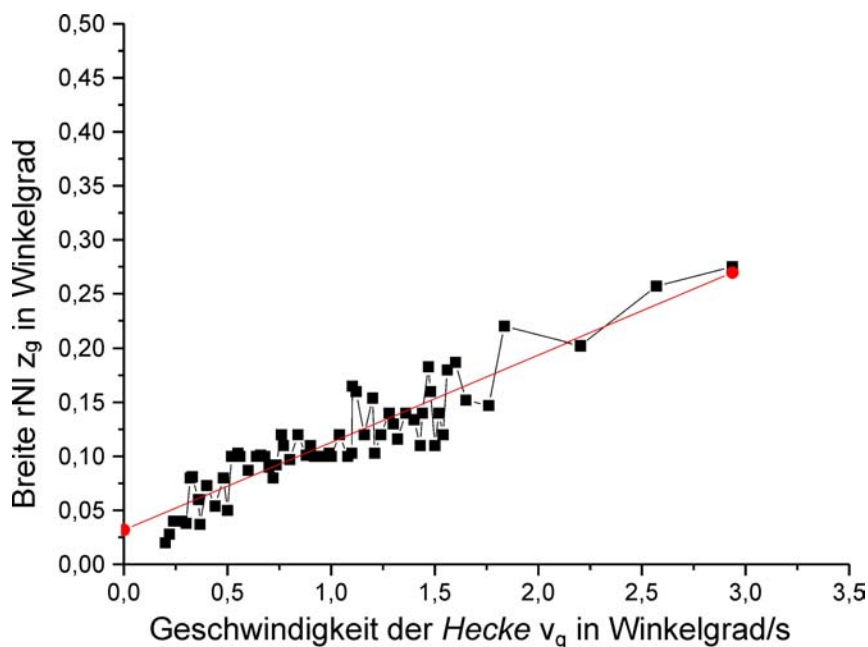


Ermittelt man aus diesen Daten die Regressionsgerade, so ergibt sich nach Bortz (1993) mit n = Anzahl der Messwerte, x_i = eingestellte Werte der unabhängigen Variable v und y_i = gemessene Werte für die abhängige Variable z ($i = 1, \dots, n$):

$$z(v) = k \cdot v + l,$$

$$\text{wobei } k = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \cdot \sum_{i=1}^n y_i}{n \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} = \mathbf{81 \text{ ms}}$$

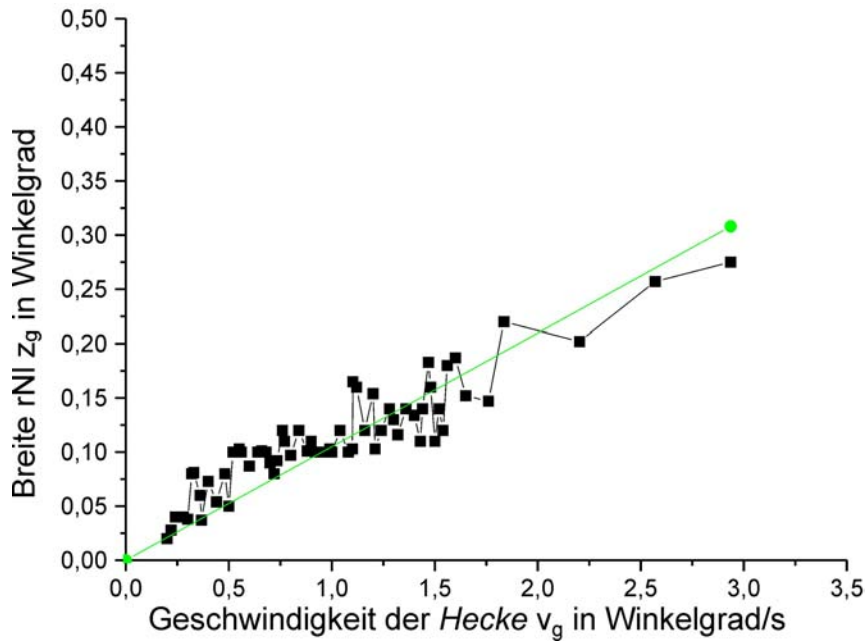
$$\text{und } l = \frac{\sum_{i=1}^n x_i^2 \cdot \sum_{i=1}^n y_i - \sum_{i=1}^n x_i y_i \cdot \sum_{i=1}^n x_i}{n \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} = \mathbf{0,032^\circ}$$



(Korrelationskoeffizient $\rho = 0,915$)

Die Regressionsgerade schneidet die Ordinate also etwas oberhalb des Ursprungs. Ermittelt man die Regressionsgerade durch den Ursprung, d.h. bei $v=0$ kein rNI (also $z=0$), so ergibt sich:

$$z(v) = k \cdot v, \text{ wobei } k = \frac{\sum_{i=1}^n z_i \cdot v_i}{\sum_{i=1}^n v_i^2} = \mathbf{105 \text{ ms.}}$$



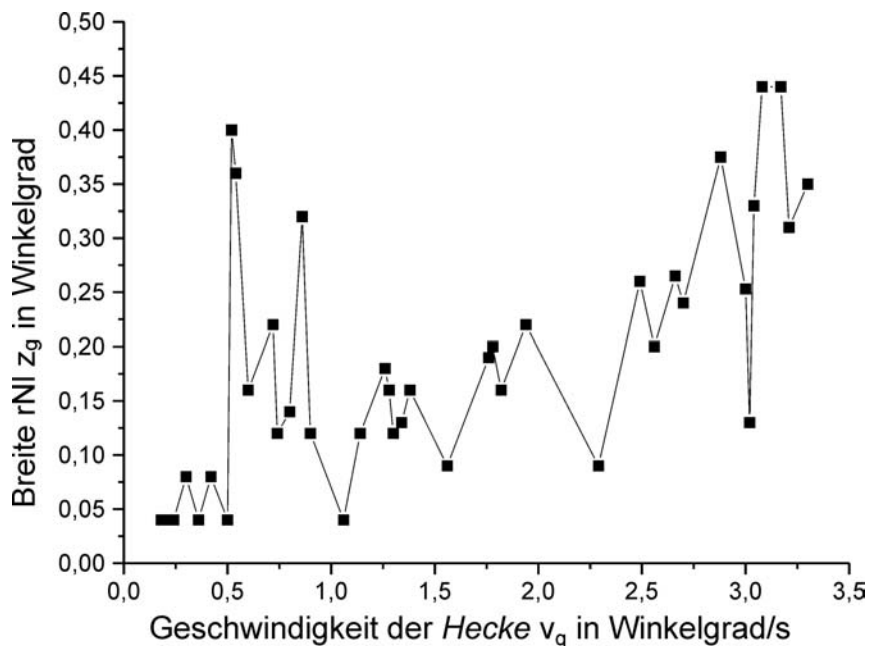
Mittlere durchschnittliche Abweichung \mathcal{G}_0 der Regressionsgeraden:

$$\mathcal{G}_0 = \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n z_i - k \cdot v_i \right) = 0,008^\circ \quad (z_i, v_i : \text{Messwerte, siehe Grafik}).$$

(Anm.: Dieser Wert \mathcal{G}_0 wird hier als Maß für die Abweichung von der „wahren“ Regressionsgerade angegeben, für die $\mathcal{G}_0 = 0$ gilt.)

Die Messergebnisse der Experimente 9-14 wurden mit der Abgleichmethode (VN) erfasst. Analoges Vorgehen wie bei den Experimenten 1-8 ergibt die Tabelle im Anhang 10.2.2. B. Auch hier werden (zufällig) gleiche Messwerte der (in diesem Falle) AV v_g zu einem Durchschnittswert für z zusammen gefasst. Da dies nur bei einigen wenigen Messpunkten der Fall ist, wird auf eine Darstellung der Streuung dieser wenigen Punkte verzichtet.

Hieraus ergibt sich nun folgende Messkurve für die mit Abgleichmethode (VN) durchgeführten Experimente 9-14:

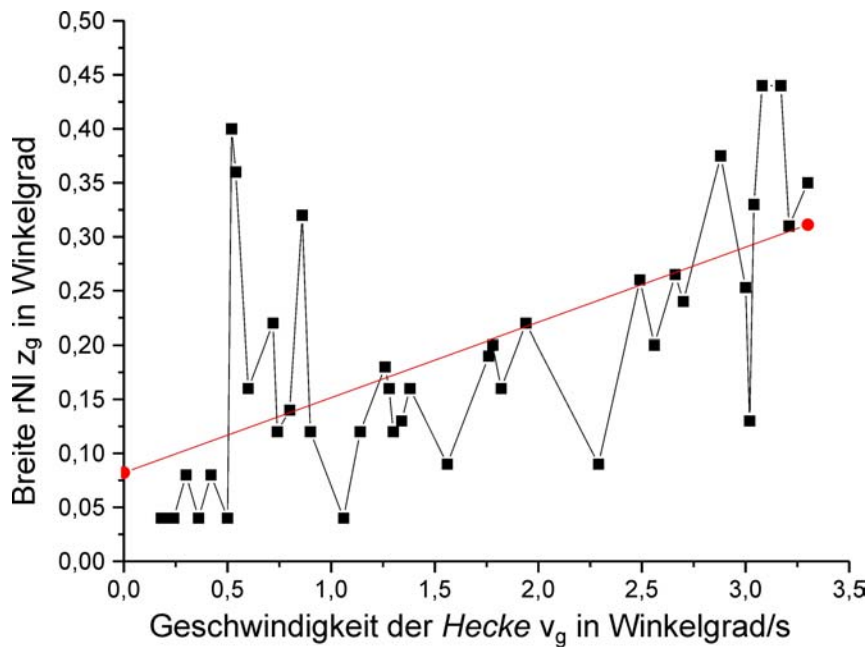


Ermittelt man aus diesen Daten die Regressionsgerade, so ergibt sich nach Bortz (1993) mit $n =$ Anzahl der Messwerte, $x_i =$ eingestellte Werte der unabhängigen Variable v und $y_i =$ gemessene Werte für die abhängige Variable z ($i = 1, \dots, n$):

$$z(v) = k \cdot v + l,$$

$$\text{wobei } k = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \cdot \sum_{i=1}^n y_i}{n \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} = \mathbf{69 \text{ ms}}$$

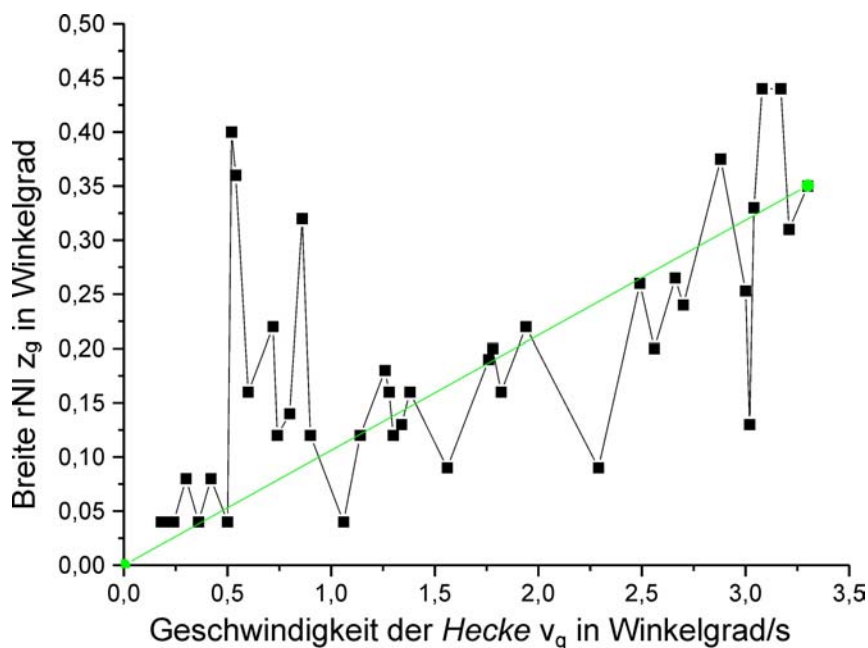
$$\text{und } l = \frac{\sum_{i=1}^n x_i^2 \cdot \sum_{i=1}^n y_i - \sum_{i=1}^n x_i y_i \cdot \sum_{i=1}^n x_i}{n \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} = \mathbf{0,083^\circ}$$



(Korrelationskoeffizient $\rho = 0,609$)

Die Regressionsgerade schneidet die Ordinate also etwas oberhalb des Ursprungs. Ermittelt man die Regressionsgerade durch den Ursprung, d.h. bei $v=0$ kein rNI (also $z=0$), so ergibt sich:

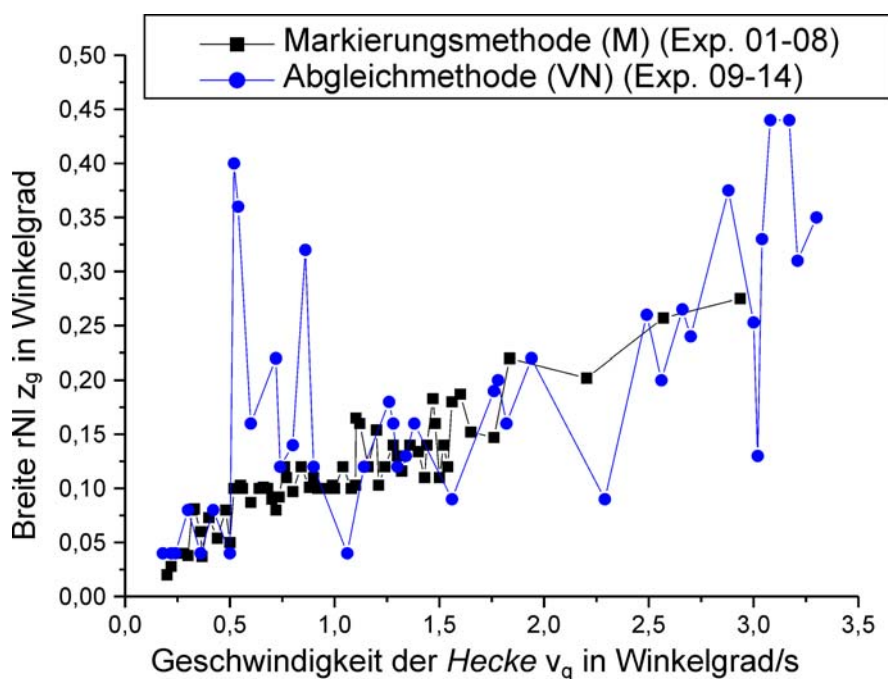
$$z(v) = k \cdot v, \text{ wobei } k = \frac{\sum_{i=1}^n z_i \cdot v_i}{\sum_{i=1}^n v_i^2} = \mathbf{106 \text{ ms.}}$$



Mittlere durchschnittliche Abweichung ϑ_0 der Regressionsgeraden:

$$\vartheta_0 = \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n z_i - k \cdot v_i \right) = 0,024^\circ \quad (z_i, v_i : \text{Messwerte, siehe Grafik}).$$

Trägt man die mit Markierungsmethode (M) und mit Abgleichmethode (VN) ermittelten Daten in ein gemeinsames Diagramm ein, so erhält man folgende Grafik:



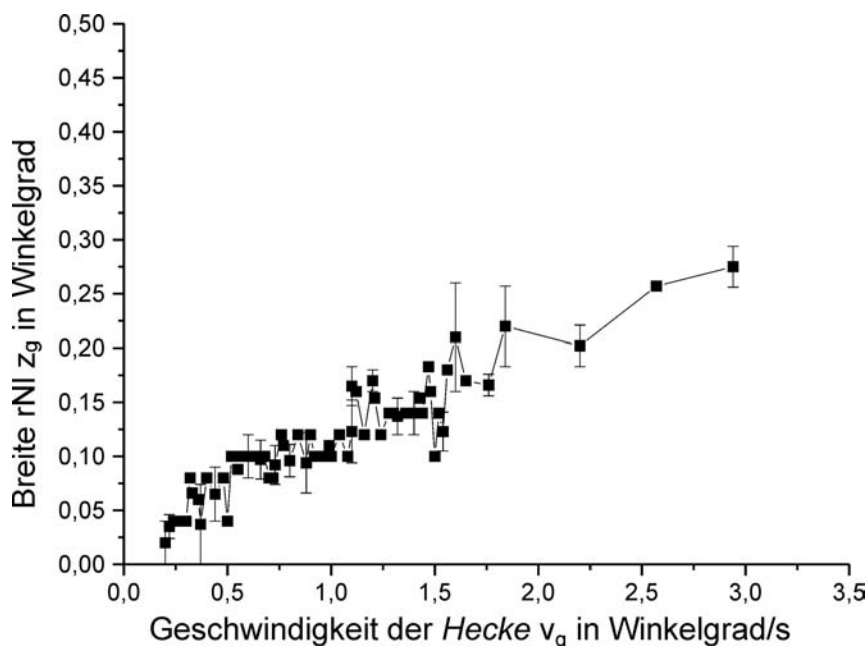
Eine weitergehende Diskussion dieser Graphen findet sich unter 6.1.3 sowie unter 8.1.

6.1.2.2 Zusammenfassung nach Versuchspersonen

Versuchsperson A hat sich den Experimenten 1-2,6-8 und 9-11 unterzogen. Die einzelnen Werte von z sind aus den Tabellen 10.2.2. C) zu entnehmen:

Markierungsmethode (M):

Die Experimente 1-2,6-8 der Versuchsperson A zusammen gefasst ergeben:



Ermittelt man aus diesen Daten die Regressionsgerade, so ergibt sich nach Bortz (1993) mit n = Anzahl der Messwerte, x_i = eingestellte Werte der unabhängigen Variable v und y_i = gemessene Werte für die abhängige Variable z ($i = 1, \dots, n$):

$$z(v) = k \cdot v + l,$$

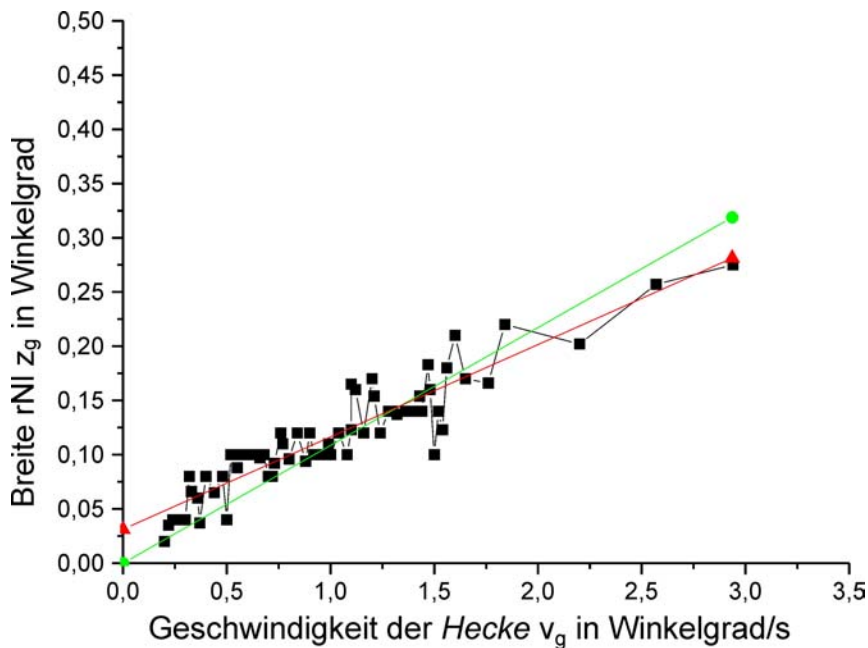
$$\text{wobei } k = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \cdot \sum_{i=1}^n y_i}{n \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} = \mathbf{85 \text{ ms}}$$

$$\text{und } l = \frac{\sum_{i=1}^n x_i^2 \cdot \sum_{i=1}^n y_i - \sum_{i=1}^n x_i y_i \cdot \sum_{i=1}^n x_i}{n \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} = \mathbf{0,031^\circ}$$

Die Regressionsgerade schneidet die Ordinate also etwas oberhalb des Ursprungs. Ermittelt man die Regressionsgerade durch den Ursprung, d.h. bei $v=0$ kein rNI (also $z=0$), so ergibt sich:

$$z(v) = k \cdot v, \text{ wobei } k = \frac{\sum_{i=1}^n z_i \cdot v_i}{\sum_{i=1}^n v_i^2} = \mathbf{109 \text{ ms.}}$$

Zusammen gefasst in einer Grafik:



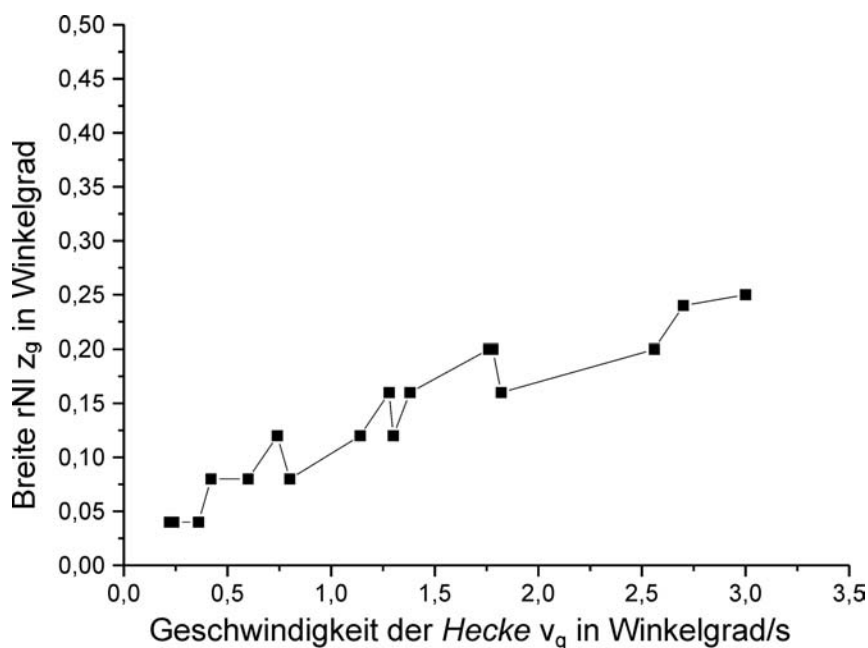
(Korrelationskoeffizient ρ = 0,925)

Mittlere durchschnittliche Abweichung ϑ_0 der Regressionsgeraden durch den Ursprung:

$$\vartheta_0 = \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n z_i - k \cdot v_i \right) = 0,007^\circ \quad (z_i, v_i : \text{Messwerte, siehe Grafik}).$$

Abgleichmethode (VN):

Die Experimente 9-11 der Versuchsperson A zusammen gefasst ergeben:



Ermittelt man aus diesen Daten die Regressionsgerade, so ergibt sich nach Bortz (1993) mit $n =$ Anzahl der Messwerte, $x_i =$ eingestellte Werte der unabhängigen Variable v und $y_i =$ gemessene Werte für die abhängige Variable z ($i = 1, \dots, n$):

$$z(v) = k \cdot v + l,$$

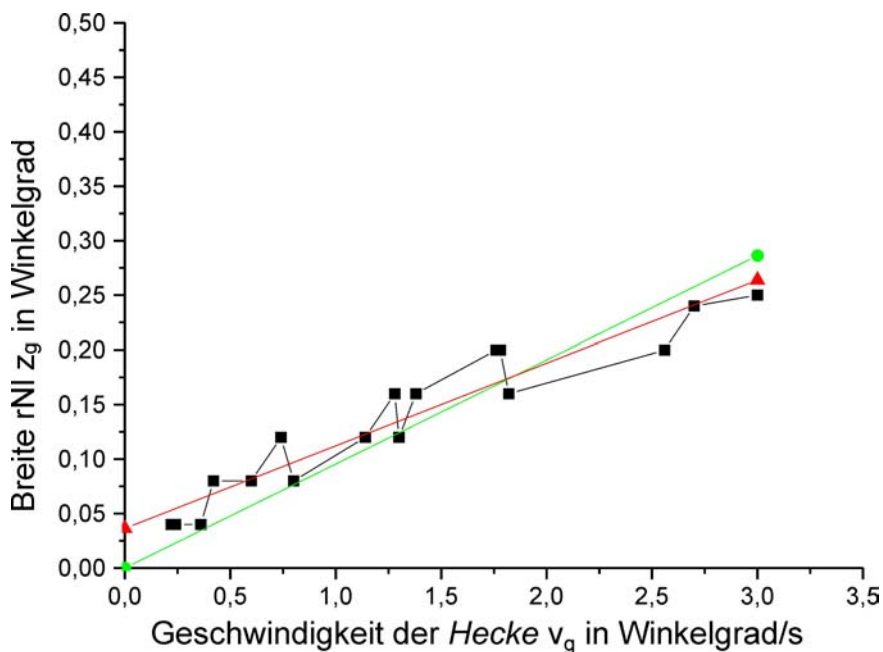
$$\text{wobei } k = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \cdot \sum_{i=1}^n y_i}{n \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} = 76 \text{ ms}$$

$$\text{und } l = \frac{\sum_{i=1}^n x_i^2 \cdot \sum_{i=1}^n y_i - \sum_{i=1}^n x_i y_i \cdot \sum_{i=1}^n x_i}{n \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} = 0,036^\circ$$

Die Regressionsgerade schneidet die Ordinate also etwas oberhalb des Ursprungs. Ermittelt man die Regressionsgerade durch den Ursprung, d.h. bei $v=0$ kein rNI (also $z=0$), so ergibt sich:

$$z(v) = k \cdot v, \text{ wobei } k = \frac{\sum_{i=1}^n z_i \cdot v_i}{\sum_{i=1}^n v_i^2} = 95 \text{ ms.}$$

Zusammen gefasst in einer Grafik:

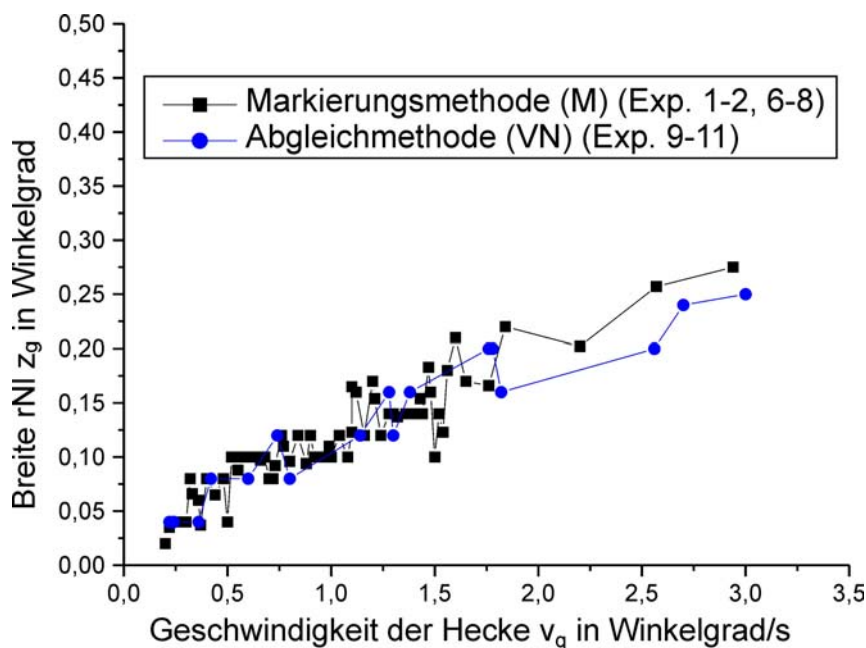


(Korrelationskoeffizient $\rho = 0,957$)

Mittlere durchschnittliche Abweichung ϑ_0 der Regressionsgeraden durch den Ursprung:

$$\vartheta_0 = \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n z_i - k \cdot v_i \right) = 0,011^\circ \quad (z_i, v_i : \text{Messwerte, siehe Grafik}).$$

Trägt man nun die mit Markierungsmethode (M) und mit Abgleichmethode (VN) ermittelten Daten der Versuchsperson A in ein gemeinsames Diagramm ein, so erhält man folgende Grafik:



Versuchsperson B hat sich den Experimenten 5 – Markierungsmethode (M) – und 14 – Abgleichmethode (VN) – unterzogen. Die Messdaten sind tabellarisch unter 10.2.2. D zusammen gefasst.

Experiment 5 der Versuchsperson B:

Ermittelt man aus diesen Daten die Regressionsgerade, so ergibt sich nach Bortz (1993) mit n = Anzahl der Messwerte, x_i = eingestellte Werte der unabhängigen Variable v und y_i = gemessene Werte für die abhängige Variable z ($i = 1, \dots, n$) für Experiment 5 – Markierungsmethode (M):

$$z(v) = k \cdot v + l,$$

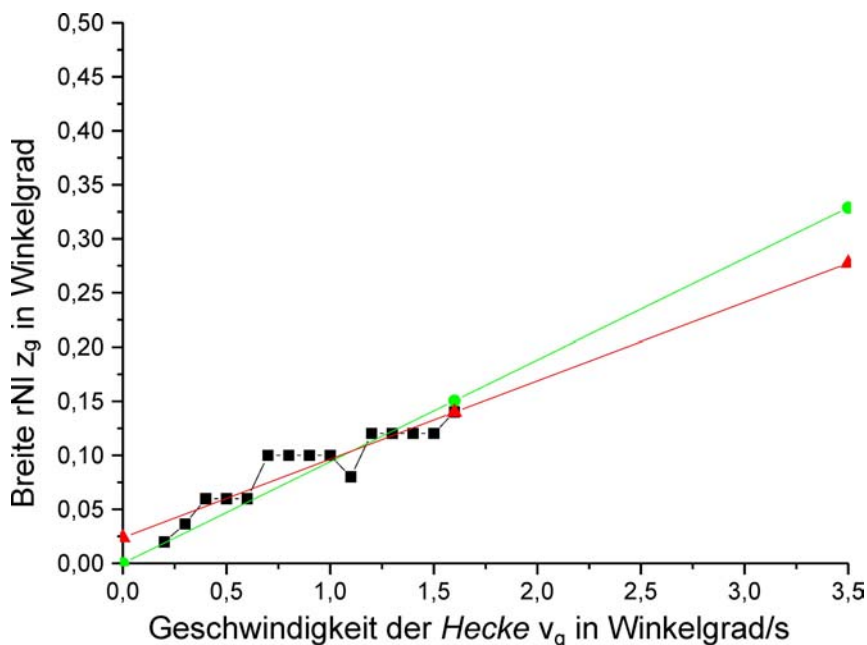
$$\text{wobei } k = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \cdot \sum_{i=1}^n y_i}{n \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} = 72 \text{ ms}$$

$$\text{und } l = \frac{\sum_{i=1}^n x_i^2 \cdot \sum_{i=1}^n y_i - \sum_{i=1}^n x_i y_i \cdot \sum_{i=1}^n x_i}{n \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} = 0,024^\circ$$

Die Regressionsgerade schneidet die Ordinate also etwas oberhalb des Ursprungs. Ermittelt man die Regressionsgerade durch den Ursprung, d.h. bei $v=0$ kein rNI (also $z=0$), so ergibt sich:

$$z(v) = k \cdot v, \text{ wobei } k = \frac{\sum_{i=1}^n z_i \cdot v_i}{\sum_{i=1}^n v_i^2} = \mathbf{94 \text{ ms.}}$$

Zusammen gefasst in einer Grafik:



(Korrelationskoeffizient $\rho = 0,926$)

Mittlere durchschnittliche Abweichung ϑ_0 der Regressionsgeraden durch den Ursprung:

$$\vartheta_0 = \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n z_i - k \cdot v_i \right) = 0,005^\circ \text{ (} z_i, v_i \text{: Messwerte, siehe Grafik).}$$

Experiment 14 der Versuchsperson B:

Für Experiment 14 – Abgleichmethode (VN) – ergibt sich nach Bortz (1993) mit $n =$ Anzahl der Messwerte, $x_i =$ gemessene Werte der abh. Variable v und $y_i =$ aus d resultierende Werte für die unabhängige Variable z ($i = 1, \dots, n$) für Experiment 5 – Markierungsmethode (M):

$$z(v) = k \cdot v + l,$$

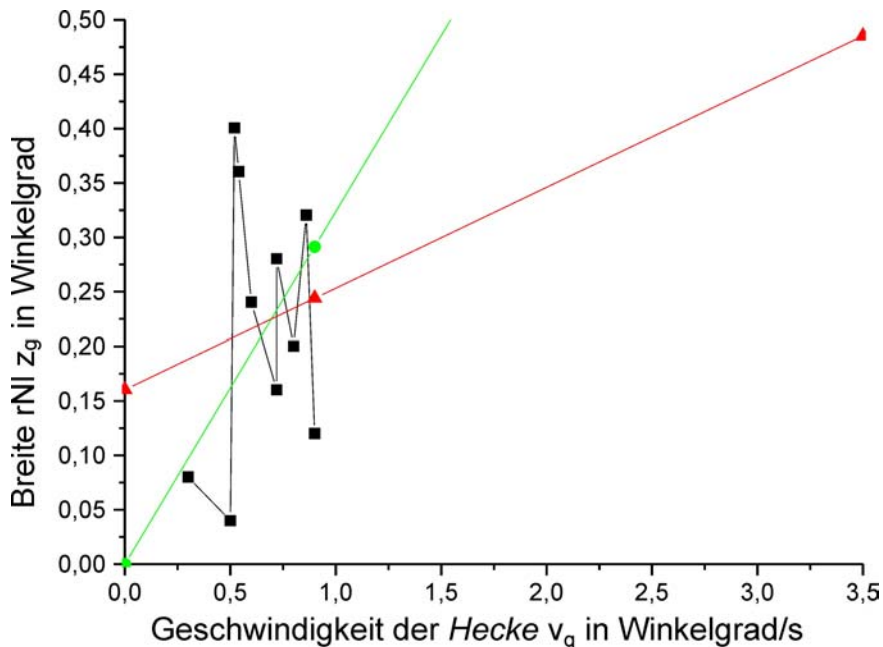
$$\text{wobei } k = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \cdot \sum_{i=1}^n y_i}{n \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2} = \mathbf{93 \text{ ms}}$$

$$\text{und } l = \frac{\sum_{i=1}^n x_i^2 \cdot \sum_{i=1}^n y_i - \sum_{i=1}^n x_i y_i \cdot \sum_{i=1}^n x_i}{n \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2} = \mathbf{0,160^\circ}$$

Die Regressionsgerade schneidet die Ordinate also oberhalb des Ursprungs. Ermittelt man die Regressionsgerade durch den Ursprung, d.h. bei $v=0$ kein rNI (also $z=0$), so ergibt sich:

$$z(v) = k \cdot v, \text{ wobei } k = \frac{\sum_{i=1}^n z_i \cdot v_i}{\sum_{i=1}^n v_i^2} = 323 \text{ ms.}$$

Zusammen gefasst in einer Grafik:

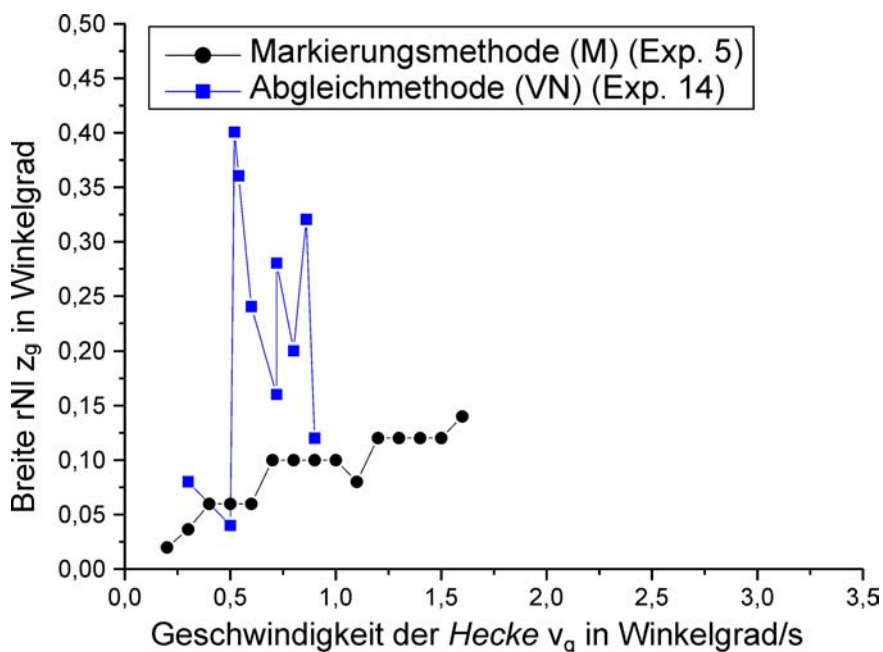


(Korrelationskoeffizient $\rho = 0,143$)

Mittlere durchschnittliche Abweichung ϑ_0 der Regressionsgeraden durch den Ursprung:

$$\vartheta_0 = \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n z_i - k \cdot v_i \right) = 0,011^\circ \text{ (} z_i, v_i \text{: Messwerte, siehe Grafik).}$$

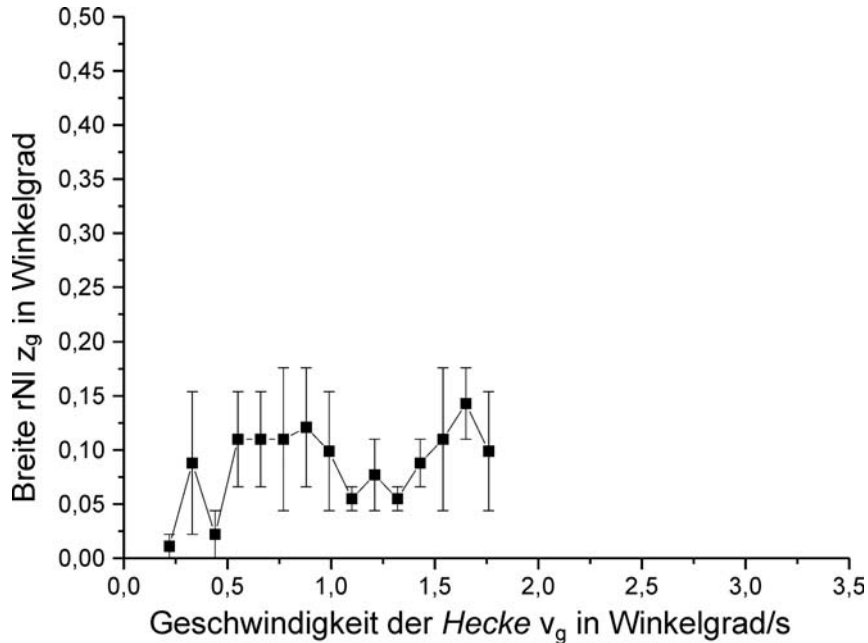
Trägt man nun die mit Markierungsmethode (M) und mit Abgleichmethode (VN) ermittelten Daten der Versuchsperson B in ein Diagramm ein, so erhält man folgende Grafik:



Versuchsperson C hat sich den Experimenten 3-4 – Markierungsmethode (M) – und 12-13 – Abgleichmethode (VN) – unterzogen. Die Messdaten sind noch einmal unter 10.2.2. E zusammen gefasst.

Markierungsmethode (M):

Die Experimente 3-4 der Versuchsperson C zusammen gefasst ergeben:



Ermittelt man aus diesen Daten die Regressionsgerade, so ergibt sich nach Bortz (1993) mit $n =$ Anzahl der Messwerte, $x_i =$ eingestellte Werte der unabhängigen Variable v und $y_i =$ gemessene Werte für die abhängige Variable z ($i = 1, \dots, n$) für die Experimente 3-4 – Markierungsmethode (M):

$$z(v) = k \cdot v + l,$$

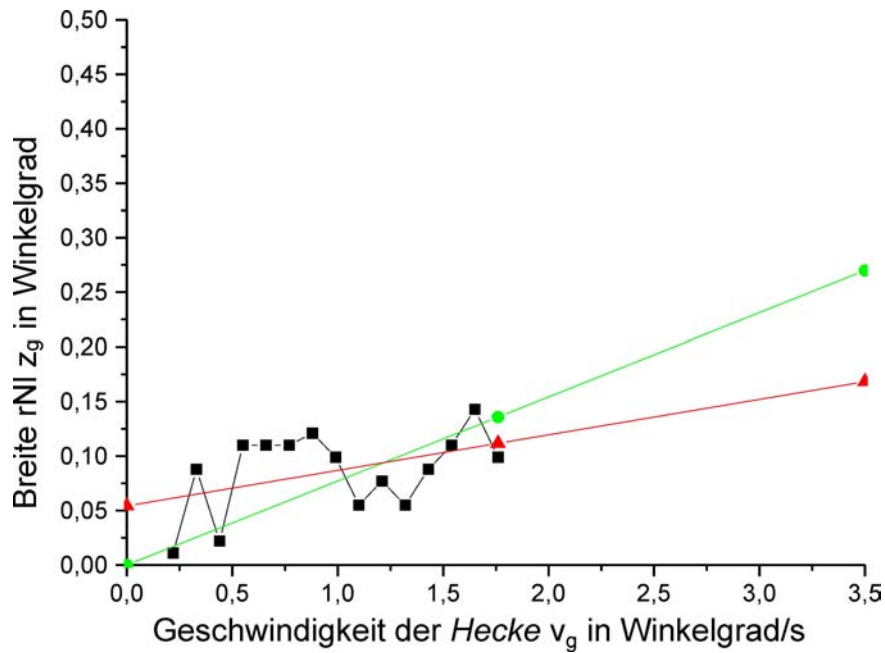
$$\text{wobei } k = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \cdot \sum_{i=1}^n y_i}{n \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} = 33 \text{ ms}$$

$$\text{und } l = \frac{\sum_{i=1}^n x_i^2 \cdot \sum_{i=1}^n y_i - \sum_{i=1}^n x_i y_i \cdot \sum_{i=1}^n x_i}{n \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} = 0,054^\circ$$

Die Regressionsgerade schneidet die Ordinate also etwas oberhalb des Ursprungs. Ermittelt man die Regressionsgerade durch den Ursprung, d.h. bei $v=0$ kein rNI (also $z=0$), so ergibt sich:

$$z(v) = k \cdot v, \text{ wobei } k = \frac{\sum_{i=1}^n z_i \cdot v_i}{\sum_{i=1}^n v_i^2} = 77 \text{ ms.}$$

Zusammen gefasst in einer Grafik:



(Korrelationskoeffizient $\rho = 0,436$)

Mittlere durchschnittliche Abweichung ϑ_0 der Regressionsgeraden durch den Ursprung:

$$\vartheta_0 = \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n z_i - k \cdot v_i \right) = 0,010^\circ \quad (z_i, v_i : \text{Messwerte, siehe Grafik}).$$

Abgleichmethode (VN):

Für die Experimente 12-13 – Abgleichmethode (VN) – ergibt sich nach Bortz (1993) mit $n =$ Anzahl der Messwerte, $x_i =$ gemessene Werte der abhängigen Variable v und $y_i =$ aus d resultierende Werte für die unabhängige Variable z ($i = 1, \dots, n$) für Experiment 5 – Markierungsmethode (M):

$$z(v) = k \cdot v + l,$$

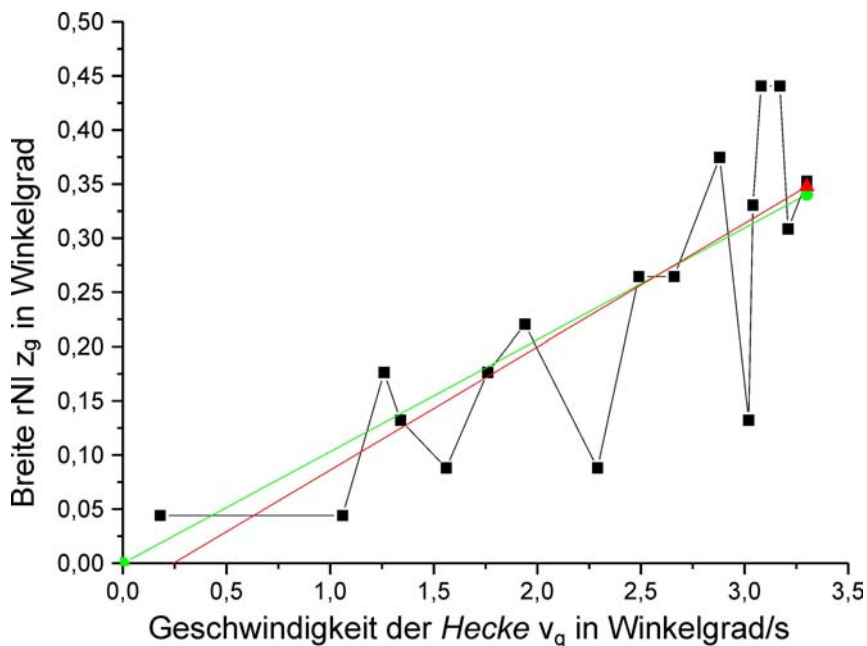
$$\text{wobei } k = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \cdot \sum_{i=1}^n y_i}{n \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2} = \mathbf{114 \text{ ms}}$$

$$\text{und } l = \frac{\sum_{i=1}^n x_i^2 \cdot \sum_{i=1}^n y_i - \sum_{i=1}^n x_i y_i \cdot \sum_{i=1}^n x_i}{n \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2} = \mathbf{-0,028^\circ}$$

Die Regressionsgerade schneidet die Ordinate also in diesem Fall ausnahmsweise etwas unterhalb des Ursprungs. Ermittelt man die Regressionsgerade durch den Ursprung, d.h. bei $v=0$ kein rNI (also $z=0$), so ergibt sich:

$$z(v) = k \cdot v, \quad \text{wobei } k = \frac{\sum_{i=1}^n z_i \cdot v_i}{\sum_{i=1}^n v_i^2} = \mathbf{103 \text{ ms.}}$$

Zusammen gefasst in einer Grafik:

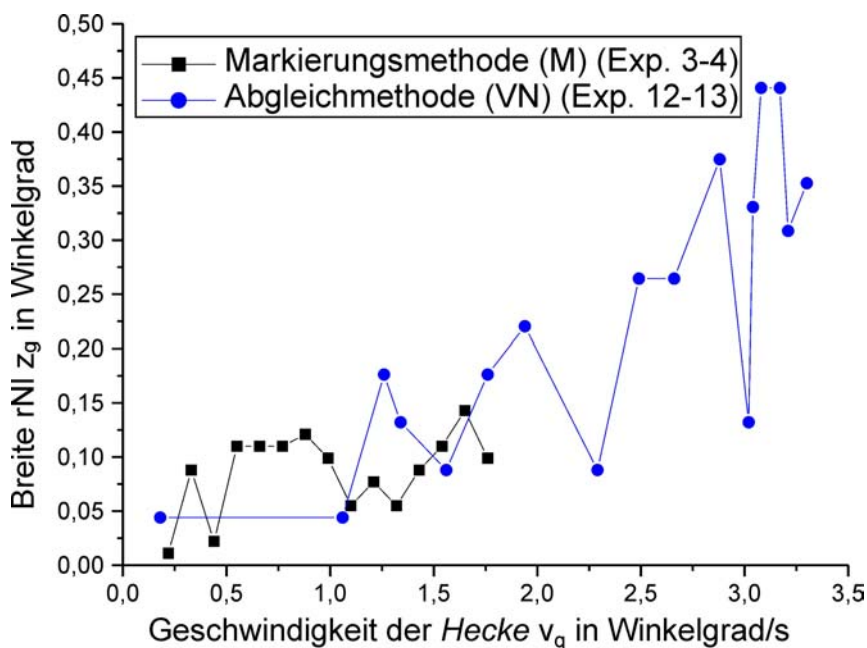


(Korrelationskoeffizient $\rho = 0,799$)

Mittlere durchschnittliche Abweichung ϑ_0 der Regressionsgeraden durch den Ursprung:

$$\vartheta_0 = \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n z_i - k \cdot v_i \right) = -0,004^\circ \quad (z_i, v_i : \text{Messwerte, siehe Grafik}).$$

Trägt man nun die mit Markierungsmethode (M) (schwarz) und mit Abgleichmethode (VN) (blau) ermittelten Daten der Versuchsperson B in ein gemeinsames Diagramm ein, so erhält man folgende Grafik:



6.1.2.3 Tabellarische Zusammenfassung der relevanten Werte

Mit zwei Mittelungsvarianten können die in E1 ermittelten Daten zusammen gefasst werden.

Nach der ersten Mittelungsvariante (MV1) werden für jeden Wert v alle in E1 erfassten Messwerte zusammen gefasst und gemittelt. Dies ist in 6.1.2.1 dargestellt.

Eine alternative Mittelungsvariante (MV2) ergibt sich, wenn man die drei Versuchspersonen getrennt betrachtet, zunächst alle Daten pro Versuchsperson mittelt und anschließend ein mit der Anzahl der durchgeführten Experimente pro Versuchsperson gewichtetes Mittel bildet. Diese Mittelungsvariante wird im folgenden ausgeführt.

Hier nun eine tabellarische Zusammenfassung der in 6.1.2.1 und 6.1.2.2 zusammen gefassten Werte, insbesondere für den Steigungswert k der Regressionsgeraden. Die Relevanz von k ergibt sich aus der Tatsache, dass nach der Hypothese H1 (vgl. 4.3) in diesem Wert die 3D-Ermittlungszeit repräsentiert wird (s.u.).

Markierungsmethode (M):

Die Regressionsgeraden werden in der Formel $y = k \cdot x + l$ dargestellt, mit den in der Tabelle angegebenen Werten für k und l :

Vp.	Experiment	Anzahl Exp.	Methode	k in [ms]	l in [°]
A	1-2, 6-8	5	(M)	85	0,031
B	5	1	(M)	72	0,024
C	3-4	2	(M)	33	0,054
	(1-8)	8	(M)	70	0,036
		Summe		gewichtetes Mittel	

(Tabelle 1)

In das „gewichtete Mittel“ geht die Anzahl der beteiligten Experimente ein, die dem jeweils angegebenen Wert von k zugrunde liegen (Mittelungsvariante MV2, s.o.). Der so in der Tabelle angegebene (fett gedruckte) Wert für k (und l) ermittelt sich somit nach der Formel:

$$\text{MV2: Gew.Mittel}(k) = \frac{1}{8}(5 \cdot 85\text{ms} + 1 \cdot 72\text{ms} + 2 \cdot 33\text{ms}) = \mathbf{70 \text{ ms.}}$$

Der in der Tabelle angegebene Wert für das gewichtete Mittel von l wird analog ermittelt.

Mittelt man – wie in 6.1.2 dargestellt – zuerst über alle mit Markierungsmethode (M) durchgeführten Experimente und ermittelt dann die Regressionsgerade (Mittelungsvariante MV1), so ergeben sich die (in 6.1.2.1 angegebenen) Werte:

$$\text{MV1: } k = \mathbf{81 \text{ ms}}, l = \mathbf{0,032^\circ}.$$

Ermittelt man Regressionsgeraden, die durch den Ursprung verlaufen, also einen Freiheitsgrad weniger aufweisen – dargestellt in der Formel $y = k \cdot x$ –, so ergibt sich die Tabelle:

Vp.	Experiment	Anzahl Exp.	Methode	k in [ms]
A	1-2,6-8	5	(M)	109
B	5	1	(M)	94
C	3-4	2	(M)	77
	(1-8)	8	(M)	99
		Summe		gew. Mittel

(Tabelle 2)

$$\text{MV2: Gew.Mittel}(k) = \frac{1}{8}(5 \cdot 109\text{ms} + 1 \cdot 94\text{ms} + 2 \cdot 77\text{ms}) = \mathbf{99 \text{ ms.}} \text{ (mit } l = 0)$$

Mittelt man auch hier – wie in 6.1.2 dargestellt – zuerst über alle mit Markierungsmethode (M) durchgeführten Experimente und ermittelt dann die Regressionsgerade durch den Ursprung (Mittelungsvariante MV1), so ergibt sich der (in 6.1.2.1 angegebene) Wert:

$$\text{MV1: } k = \mathbf{105 \text{ ms.}}$$

Abgleichmethode (VN):

Die Regressionsgeraden werden in der Formel $y = k \cdot x + l$ dargestellt, mit den in der Tabelle angegebenen Werten für k und l:

Vp.	Experiment	Anzahl Exp.	Methode	k in [ms]	l in [°]
A	9-11	3	(VN)	76	0,036
B	14	1	(VN)	93	0,160
C	12-13	2	(VN)	114	-0,028
	(9-14)	6	(VN)	91	0,036
		Summe		gewichtetes Mittel	

(Tabelle 3)

$$\text{MV2: Gew.Mittel}(k) = \frac{1}{8}(5 \cdot 76\text{ms} + 1 \cdot 93\text{ms} + 2 \cdot 114\text{ms}) = \mathbf{91 \text{ ms.}}$$

Der in der Tabelle angegebene Wert für das gewichtete Mittel von l wird analog ermittelt.

Mittelt man – wie in 6.1.2 dargestellt – zuerst über alle mit Abgleichmethode (VN) durchgeführten Experimente und ermittelt dann die Regressionsgerade (Mittelungsvariante MV1), so ergeben sich die (in 6.1.2.1 angegebenen) Werte:

$$\text{MV1: } k = \mathbf{69 \text{ ms}}, l = \mathbf{0,083^\circ}.$$

Betrachtet man Regressionsgeraden, die durch den Ursprung verlaufen, also einen Freiheitsgrad weniger aufweisen, dargestellt in der Formel $y = k \cdot x$, so ergibt sich die Tabelle:

Vp.	Experiment	Anzahl Exp.	Methode	k in [ms]
A	9-11	3	(VN)	95
B	14	1	(VN)	323
C	12-13	2	(VN)	103
	(9-14)	6	(VN)	136
		Summe		gew. Mittel

(Tabelle 4)

$$\text{MV2: Gew.Mittel}(k) = \frac{1}{8}(5 \cdot 95\text{ms} + 1 \cdot 323\text{ms} + 2 \cdot 103\text{ms}) = \mathbf{136 \text{ ms.}} \text{ (mit } l = 0)$$

Mittelt man auch hier – wie in 6.1.2 dargestellt – zuerst über alle mit Markierungsmethode (M) durchgeführten Experimente und ermittelt dann die Regressionsgerade durch den Ursprung (Mittelungsvariante MV1), so ergibt sich der (in 6.1.2.1 angegebene) Wert:

$$\text{MV1: } k = \mathbf{106 \text{ ms.}}$$

In einer einzigen Tabelle zusammengefasst ergibt sich als Ergebnis von E1:

Regressionsgerade	Methode	MV	k in [ms]	l in [°]
normal	M	1	81	0,032
normal	M	2	70	0,036
normal	VN	1	69	0,083
normal	VN	2	91	0,036
durch Ursprung	M	1	105	0
durch Ursprung	M	2	99	0
durch Ursprung	VN	1	106	0
durch Ursprung	VN	2	136	0

(Tabelle 5)

Die Werte von k sind in der Einheit Millisekunde [ms] angegeben. Sie sind nach der Hypothese H1 (vgl. 4.3) als 3D-Ermittlungszeiten zu interpretieren. Anhand der in diesem Abschnitt dargestellten Experimente 1-14 der Experimentalserie E1 soll nun eine erste Besprechung der Ergebnisse folgen.

6.1.3 Besprechung der Ergebnisse von E1

Die Mittelungsvariante (MV2) hat die Eigenschaft, dass sie zunächst für jede Versuchsperson einen Mittelwert errechnet und anschließend über alle Versuchspersonen mittelt. Auf diese Weise werden interindividuelle Unterschiede berücksichtigt. Der so erfasste Mittelwert stellt eine Mittelung über die drei Versuchspersonen dar (gewichtet mit der Anzahl der pro Versuchsperson durchgeführten Experimente). Die Mittelungsvariante (MV1) dagegen verwischt interindividuelle Unterschiede und behandelt jeden erfassten Messwert gleichwertig. Aufgrund der in E1 gefundenen (und in E2 und E3 bestätigten, s.u.) großen interindividuellen Variationen in den Messwerten, erscheint die zweite Mittelungsvariante (MV2) zuverlässiger. Die Notwendigkeit, dieses System von verschiedenen Mittelungsvarianten einzuführen, ergab sich daraus, dass die drei Versuchspersonen unterschiedlich viele einzelne Experimente durchgeführt haben. In den folgenden Experimentalserien E2 und E3 wird daher darauf geachtet, dass jede Versuchsperson die gleiche Anzahl an Experimenten (unter gleichen Bedingungen) durchführt (siehe auch: Schluss dieses Kapitels).

Die jeweils entstehende Datenwolke aus den entsprechend gemittelten Messwerten kann dann auf zwei Arten mit einer Regressionsgeraden angepasst werden:

- a) Durch eine Regressionsgerade, die die erfassten Messwerte optimal anpasst und
- b) Durch eine Regressionsgerade, die die erfassten Messwerte optimal anpasst und gleichzeitig durch den Ursprung verläuft (d.h. bei $v=0$ kein r_{NI} , also $z=0$).

Setzt man voraus, dass bei $v=0$ kein r_{NI} gemessen wird, - was sich mit der Beobachtung deckt -, so muss man von einer Regressionsgeraden ausgehen, die durch den Ursprung verläuft, also von b). Den gemessenen Werten besser angepasst - und somit zuverlässiger - ist jedoch in jedem Fall a). Der Fehler bei der Anpassung der Regressionsgerade durch den Ursprung im Fall b) ist mit dem Wert \mathcal{S}_0 angegeben. Möchte man allerdings in diesem Fall die ermittelte Steigung k als 3D-Ermittlungszeit interpretieren, so ist der positive y-Achsenabschnitt l zu interpretieren. Zur ausführlichen Diskussion dieses wichtigen Punktes sei auf 8.1 verwiesen.

Betrachtet man im Fall a) die gemessenen Werte, so erhält man als **Ergebnis von E1 eine 3D-Ermittlungszeit von rund 80 ms**.

Die mit Abgleichmethode (VN) ermittelten Daten streuen deutlich stärker als die mit Markierungsmethode (M) gewonnenen Messwerte, was man an den Graphen sehen kann. Die Korrelationskoeffizienten ρ sind in der folgenden Tabelle zusammen gefasst:

ρ	M	VN
Vp. A	0,925	0,957
Vp. B	0,926	0,143
Vp. C	0,436	0,799
Gesamt	0,915	0,609

Korrelationskoeffizienten ρ

Um die Fähigkeit der Versuchspersonen zu testen, die t_{NI} zu erkennen und deren Größe am oberen Rand, also an der Stelle des Auftauchens des r_{NI} , einzustellen, wird in E2 vor den eigentlichen Messungen ein Testlauf (vgl. 5.4.3 Versuchsschritte 23-28) eingeführt. Zu weiteren Interpretationen der hohen Streuung der mit Abgleichmethode (VN) erfassten Daten sei auf die Diskussion in 8.1 verwiesen. Aufgrund der niedrigeren Streuung sind die mit Markie-

rungsmethode (M) gesammelten Daten zuverlässiger interpretierbar. Die weitere Diskussion wird daher vor allem zu den mit Markierungsmethode (M) erfassten Messwerten stattfinden.

Wie die Ergebnisse zeigen, sind die interindividuellen Unterschiede zwischen den drei Versuchspersonen hoch. Die Experimente der Serie E1 sind aufgrund der höheren Anzahl an Experimentbeteiligungen von Versuchsperson A dominiert – vgl. Tabellen in 6.1.2.3. Versuchsperson B liefert den deutlichsten Unterschied zwischen den beiden Messmethoden (M) und (VN) – offenbar hatte Versuchsperson (B) die größten Probleme, die Abgleichmethode (VN) anzuwenden (s.o.). Allerdings hat Versuchsperson B auch nur ein Experiment pro Methode durchgeführt. Versuchsperson C lieferte einen sehr deutlichen Unterschied zwischen den Ergebnissen der beiden Methoden mit $k = 33$ ms bei Markierungsmethode (M) und $k = 113$ ms bei Abgleichmethode (VN), wobei jeweils die Regressionsgerade nicht durch den Ursprung gelegt wurde. Darüber hinaus sind beide Werte – insbesondere der mit Markierungsmethode (M) erfasste – deutlich verschieden von den Messdaten der anderen beiden Versuchspersonen. Am Vergleich der beiden Graphen, dargestellt in Kap. 6.1.2.2 erkennt man jedoch, dass die den Verlauf des (VN)-Graphen bestimmenden Werte vor allem im höheren Geschwindigkeitsbereich (etwa $1,8^\circ/\text{s} < v < 3,3^\circ/\text{s}$) angesiedelt sind, während alle Werte des (M)-Graphen im Bereich $v < 1,76^\circ/\text{s}$ (Exp. 8: $v < 2,9^\circ/\text{s}$) liegen. Schon dieser Tatbestand zeigt die Notwendigkeit, den Geschwindigkeitsbereich für die folgenden Experimentalserien zu erweitern (s.u.).

Die Messergebnisse der einzelnen Versuchspersonen innerhalb der Methoden sind weitgehend konsistent – die genannten individuellen Unterschiede sind also tatsächlich personenabhängig, also: interindividuell. Dies legte nahe, bei der kommenden Experimentalserie E2 möglichst viele weitere Versuchspersonen zu untersuchen.

Hypothese H1: In allen Experimenten sowie in der Zusammenfassung der Experimentalserie E1 zeigt sich ein Anstieg von z mit der Geschwindigkeit v . Die Hypothese H1 wurde somit in diesem Punkt bestätigt. Die Anpassung der Daten durch eine Gerade konnte für den untersuchten Bereich ($v < 3,3^\circ/\text{s}$) bestätigt werden. Zur weiteren Diskussion siehe 8.1.

Hypothese $H_0(\text{RF})$: Experimente 7 und 8 galten der Überprüfung der Auswirkung der UV „RF“, der Raumfrequenz von *Hecke* bzw. *Zweig* auf z . Sie zeigen keinen messbaren Einfluss dieser UV auf z . Somit bestätigen die Experimente 7 und 8 die Hypothese $H_0(\text{RF})$: Der Faktor „Raumfrequenz“ hat keinen Einfluss auf die Variable z , die Breite des „rechen“-zeitbedingten Niemandslandes. Die Ergebnisse können also mit denen der anderen Experimente zusammengefasst werden, was im Verlauf von Kap. 6.1.2 bereits vorweg genommen wurde. Eine weitergehende und systematischere Untersuchung dieser UV erfolgt in E2 – vgl. 6.2.2, 6.2.4 und 6.3.2.

Der Geschwindigkeitsbereich der Experimentalserie E1 war hardwarebedingt eingeschränkt. Größere Geschwindigkeiten konnten (mit neuer Hardware) in den folgenden Experimentalserien E2 und E3 erzielt werden, der Gültigkeitsbereich der Messkurven wurde damit vergrößert.

Die Abszissenwerte der verschiedenen Experimente in E1 waren leider noch nicht einheitlich gewählt, noch dazu wurden verschiedene Beobachtungsabstände benutzt. Dies führt zu einer erschwerten Vergleichbarkeit der Experimente im Einzelnen. Dieser Umstand erklärt die (unnötig komplizierte) Einführung der beiden alternativen Mittelungsvarianten (MV1) und (MV2). In der Experimentalserie E2 wurde dieses Problem beseitigt, es wurden übergreifend für alle Experimente einheitliche Abszissenwerte gewählt.

Eine ausführliche Diskussion der Ergebnisse findet sich unter 8.1.

6.2 Ergebnisse von E2

Die Experimentalserie E2 basiert auf folgender Hard- und Softwareumgebung:

PC: Intel Pentium® III „Coppermine“, 700 MHz, 128 MB RAM,

Grafik-Karte: ATI Rage Xpert 2000 Pro AGP, 32 MB,

Monitor: Modell MT-9021T, 21“,

Bildwiederholfrequenz: 100 Hz (optimal), d.h. mit Shutterbrille 50 Hz,

Bildschirmauflösung: 1024x768 Pixel, True color 32 Bit,

Shutterbrille: wie in E1: VR Joy (vgl. 6.1),

Betriebssystem: Windows 98, Direct X 5.2,

Software: wie in E1: „Bino2.4“ (vgl. 5.4.1 sowie Scheiner, 1999).

Unter den neuen Hardwarebedingungen war es möglich, die hardwareabhängige Maximalgeschwindigkeit auf 240 Pixel/s anzuheben. Aus den Hardwaredaten ergibt sich für die Experimentserie E2 eine Pixelgröße (Höhe) von 0,45 mm. Die Beobachtungsentfernung in der gesamten Experimentalserie E2 beträgt einheitlich $r = 0,7 \text{ m} = 700 \text{ mm}$. So ergibt sich eine wahrgenommene Maximalgeschwindigkeit von $v_{\max} = \arctan \frac{200 \cdot 45}{700} = 8,8^\circ/\text{s}$.

Der Versuchsablauf der Experimentalserie E2 ist unter 5.4.3 im Detail beschrieben.

Elf Versuchspersonen nahmen an der Experimentalserie E2 teil. Die Auswahl erfolgte zufällig über die Versuchspersonen-Datenbank des Max-Planck-Instituts für biologische Kybernetik, Tübingen. Alle Experimente wurden im Modus (S) (vgl. 4.4.3) durchgeführt. Bei den mit Markierungsmethode (M) durchgeführten Experimenten lagen Disparitäten D von etwa 21 Bogenminuten vor. Die genauen Werte sind in der folgenden Tabelle (analog zur Tabelle in 6.1) aufgeführt:

Exp.	Vp.	Augenabstand a in [mm]	virt. Abst. Zw-He. x in [mm]	Disparität D in [°]	Disparität D in [']
1	D	65	49	0,345	20,7
2	E	62	51	0,344	20,7
3	F	65	49	0,345	20,7
4	G	58	55	0,343	20,6
5	H	62	51	0,344	20,7
6	I	60	53	0,343	20,6
7	J	60	53	0,343	20,6
8	K	62	51	0,344	20,7
9	L	60	53	0,343	20,6
10	M	65	49	0,345	20,7
11	N	65	49	0,345	20,7

Pro Versuchsperson wurde ein Experiment durchgeführt. In drei Fällen wurde das Experiment nicht weitergeführt, da die Vp. angaben, den Effekt nicht messen zu können. Bei den Experimenten von E2 werden folgende Versuchsschritte dargestellt, die in der Diskussion unter 6.2.4 einzeln besprochen werden (vgl. auch 5.4.3):

1. Testlauf: Nimmt die Vp. den DSI-Effekt wahr?
2. Testlauf mit Verdunkelungsbrille ($d = 10$ Pixel, $v = 60$ Pixel/s = 2,2 °/s),
3. Testlauf „Einschätzung der tNI“ zur Überprüfung, ob die subjektive Einschätzung der Breite der tNI durch die Vp. mit der objektiven Einstellung übereinstimmt. Hierzu wird die Vp. gebeten, bei ruhender Hecke und verschiedenen Werten von d die Markierung so einzustellen, dass ihr Abstand vom oberen *Zweig*-Rand subjektiv genau der Breite der tNI entspricht.
4. „Nullversuch“ mit dem *Zweig* vor der *Hecke* statt dahinter ($v_p = 10, 50, 100, 150, 200, 240$ Pixel/s),
5. Messreihe mit Markierungsmethode (M) ($v_p = 10, k \cdot 20$ Pixel/s, $k=1, \dots, 12$),
6. Messreihe mit Abgleichmethode (VN) ($d = z_p = 2k+1$ Pixel, $k=0, \dots, 10$ für Experiment 1-7 und $d = z_p = 4k+1$ Pixel, $k=0, \dots, 5$ für Experiment 8-11),
7. Messreihe mit Markierungsmethode (M) ($v_p = 10, 50, 100, 150, 200, 240$ Pixel/s), RF *Hecke*: 1x1 Pixel, RF *Zweig*: 2x2 Pixel,
8. Messreihe mit Markierungsmethode (M) ($v_p = 10, 50, 100, 150, 200, 240$ Pixel/s), RF *Hecke*: 2x2 Pixel, RF *Zweig*: 1x1 Pixel,
9. Messreihe mit Markierungsmethode (M) ($v_p = 10, 50, 100, 150, 200, 240$ Pixel/s), AP *Hecke*: 25:75, AP *Zweig*: 75:25,
10. Messreihe mit Markierungsmethode (M) ($v_p = 10, 50, 100, 150, 200, 240$ Pixel/s), AP *Hecke*: 75:25, AP *Zweig*: 25:75,
11. „Nullversuch“ mit dem *Zweig* vor der *Hecke* statt dahinter ($v_p = 10, 50, 100, 150, 200, 240$ Pixel/s),

6.2.1 Grafische Darstellung der experimentell erzielten Resultate

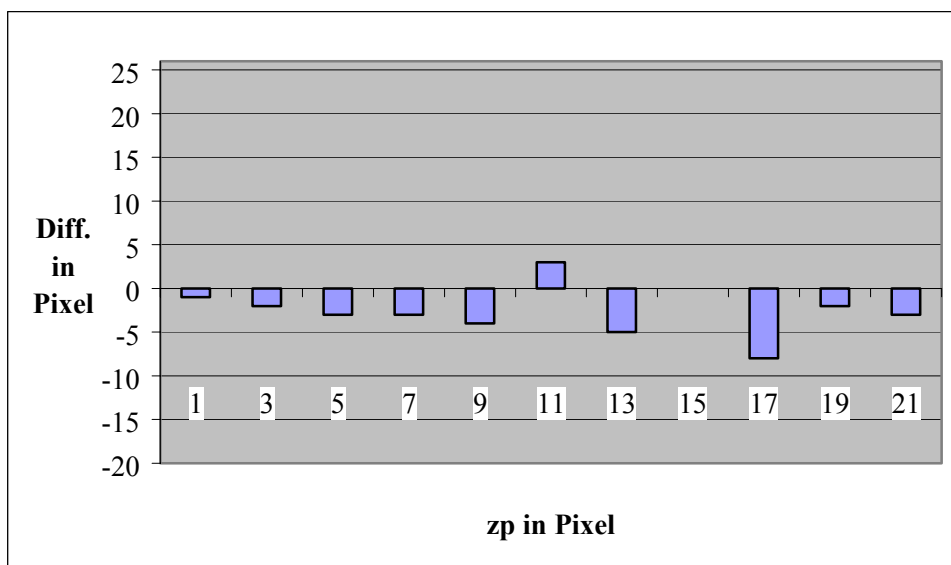
Die Versuchspersonen sind fortlaufend mit alphabetischen Buchstaben versehen, also Exp.1: Versuchsperson D, Exp.2: Versuchsperson E, ..., Exp.11: Versuchsperson N. Alle Experimente wurden im Versuchsmodus S (vgl. 4.4.2) bei der Beobachtungsentfernung $r = 0,7$ m durchgeführt.

Experiment 1 (Versuchsperson D):

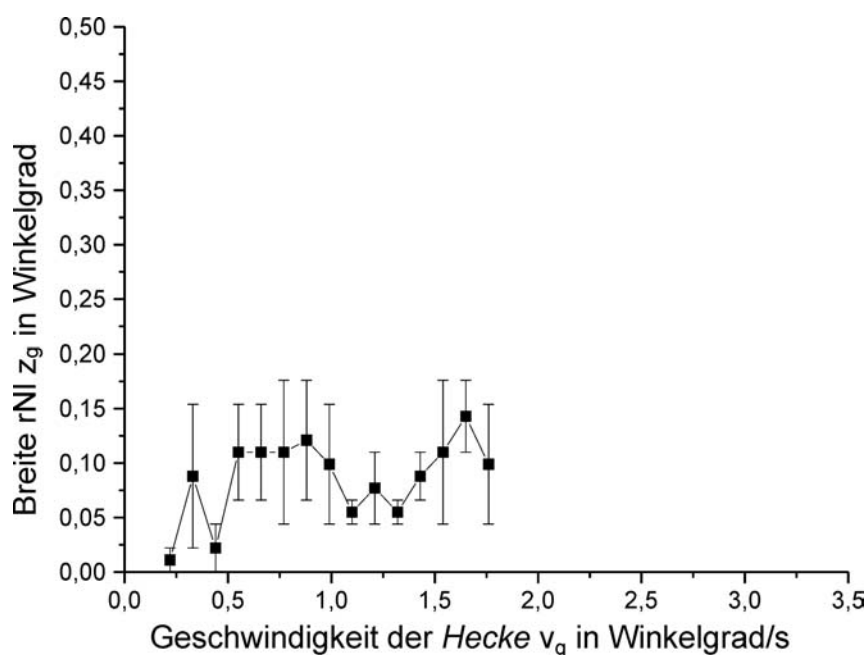
Im ersten Testlauf (Instruktionsschritt 11 in 5.4.3) gab die Vp. an, zwar den *Zweig* hinter der *Hecke* zu sehen, das Phänomen aber weder erkennen noch quantifizieren zu können. Der Versuch wurde darauf hin abgebrochen.

Experiment 2 (Versuchsperson E):

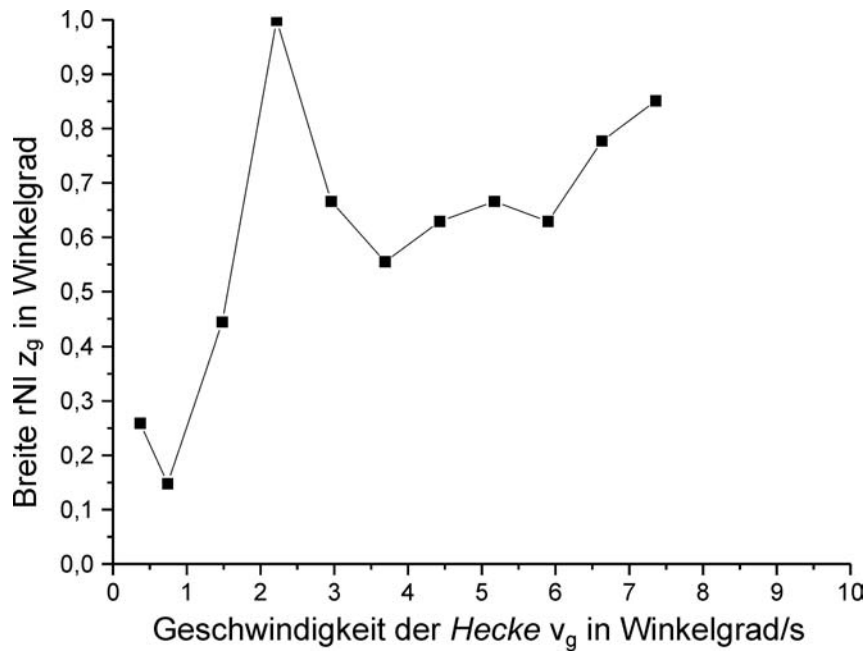
1. Testlauf: DSI wurde erkannt.
2. Testlauf mit Verdunkelungsbrille ($d = 10$ Pixel, $v = 60$ Pixel/s = $2,2$ °/s):
 Ohne Verdunkelungsbrille: $z = 11$ Pixel = $0,9$ °,
 mit Verdunkelungsbrille: $z = 11$ Pixel = $0,9$ °,
 somit keine Veränderung messbar.
3. Testlauf „Einschätzung der tNI“:
 Im folgenden Diagramm ist angegeben, wie stark die Versuchsperson die Juleszschen „topologischen“ Niemandsländer unter- bzw. überschätzt. Eine tabellarische Zusammenfassung der Daten findet sich in Anhang 10.2.3:



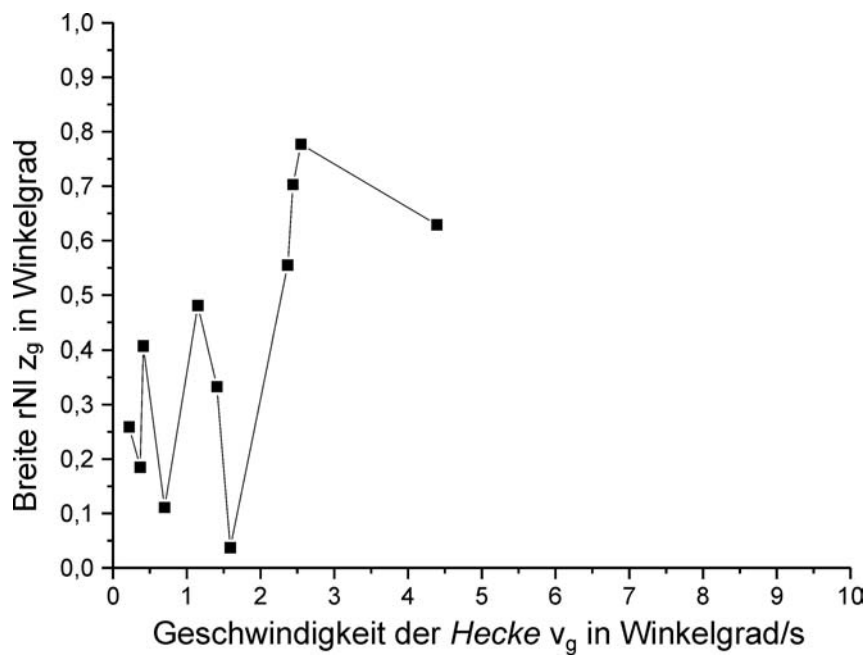
4. „Nullversuch“ ($v_p = 10, 50, 100, 150, 200, 240$ Pixel/s):



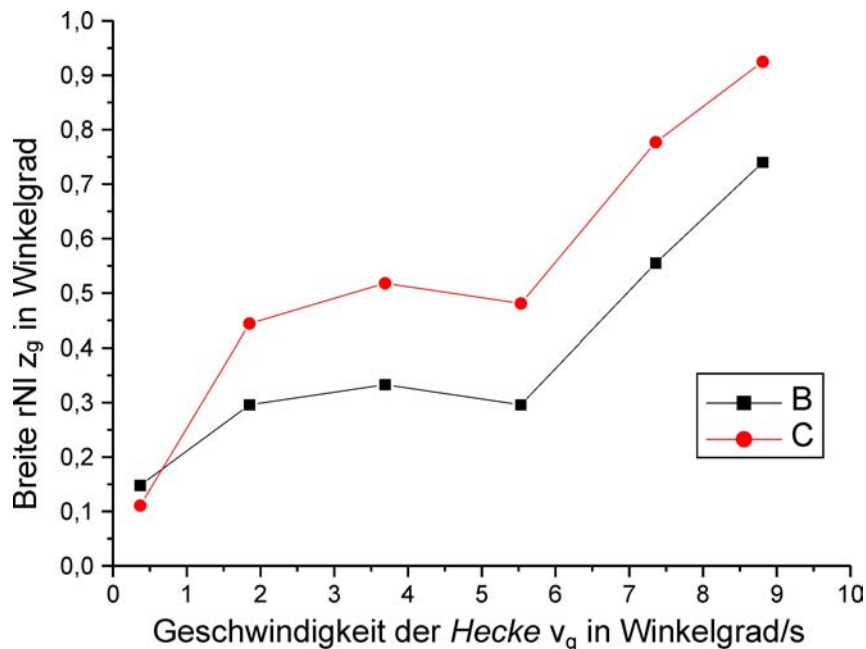
5. Messreihe mit Markierungsmethode (M) ($v_p = 10$, $k \cdot 20$ Pixel/s, $k=1, \dots, 12$):



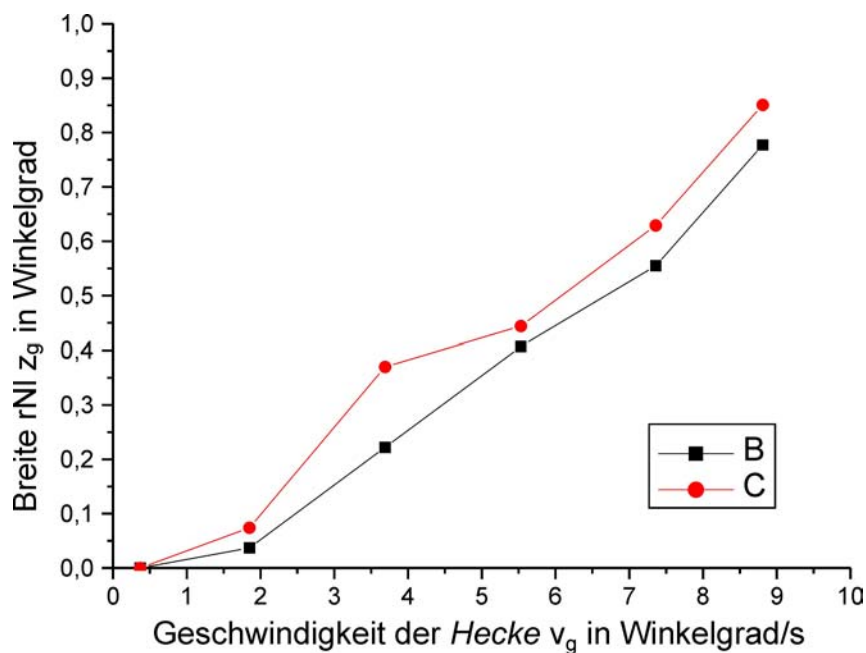
6. Messreihe mit Abgleichmethode (VN) ($d = z_p = 2k+1$ Pixel, $k=0, \dots, 10$):



- 7. Messreihe mit Markierungsmethode (M) ($v_p = 10, 50, 100, 150, 200, 240$ Pixel/s), RF *Hecke*: 1x1 Pixel, RF *Zweig*: 2x2 Pixel (B) sowie
- 8. RF *Hecke*: 2x2 Pixel, RF *Zweig*: 1x1 Pixel (C):



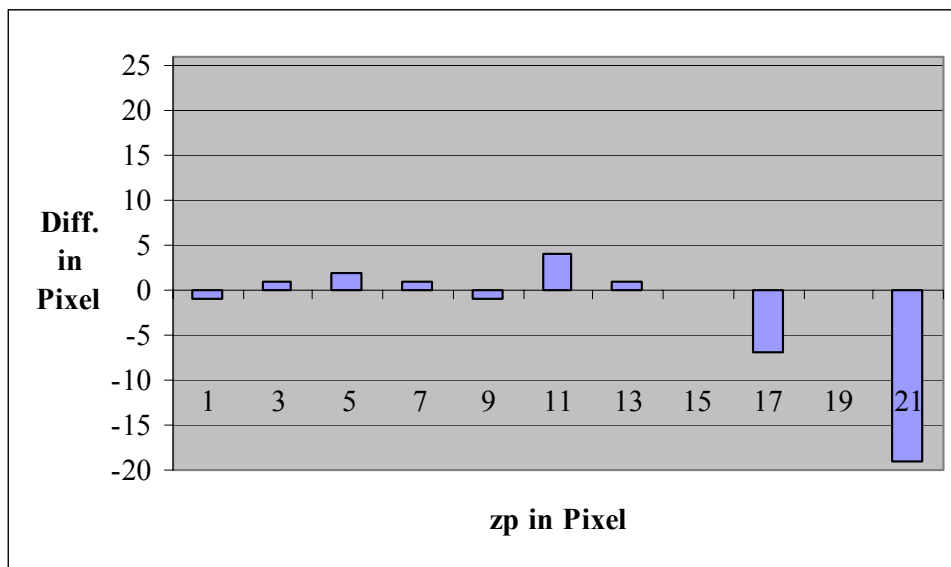
- 9. Messreihe mit Markierungsmethode (M) ($v_p = 10, 50, 100, 150, 200, 240$ Pixel/s), AP *Hecke*: 25:75, AP *Zweig*: 75:25 (B) sowie
- 10. AP *Hecke*: 75:25, AP *Zweig*: 25:75 (C):



- 11. „Nullversuch“ ($v_p = 10, 50, 100, 150, 200, 240$ Pixel/s):
Es wurde kein DSI-Phänomen wahrgenommen.

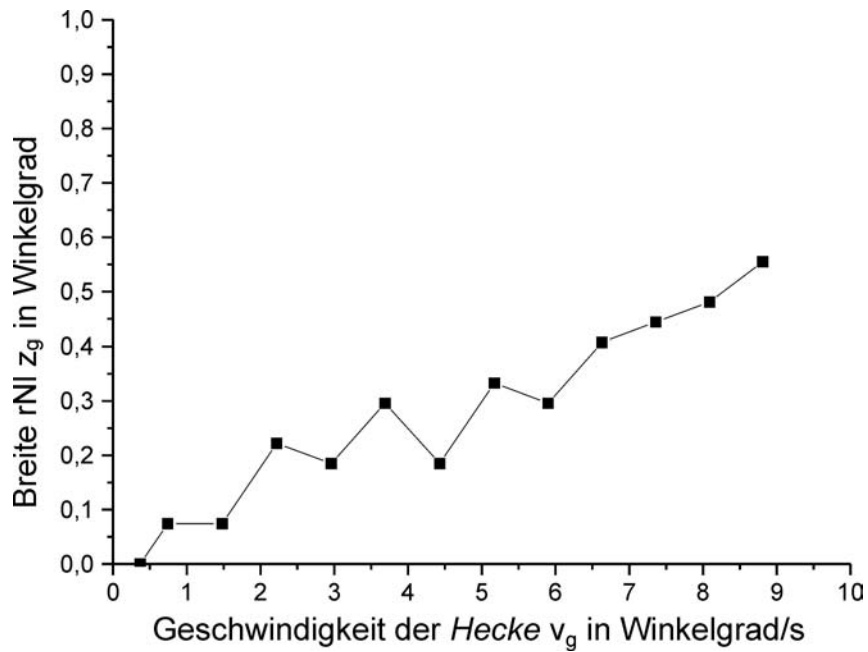
Experiment 3 (Versuchsperson F):

1. Testlauf: DSI wurde erkannt.
2. Testlauf mit Verdunkelungsbrille ($d = 10$ Pixel, $v = 60$ Pixel/s = $2,2$ °/s):
 Ohne Verdunkelungsbrille: $z = 2$ Pixel = $0,2$ °,
 mit Verdunkelungsbrille: $z = 2$ Pixel = $0,2$ °,
 somit keine Veränderung messbar.
3. Testlauf „Einschätzung der tNI“:
 Im folgenden Diagramm ist angegeben, wie stark die Versuchsperson die Juleszschen „topologischen“ Niemandsländer unter- bzw. überschätzt. Eine tabellarische Zusammenfassung der Daten findet sich in Anhang 10.2.3:

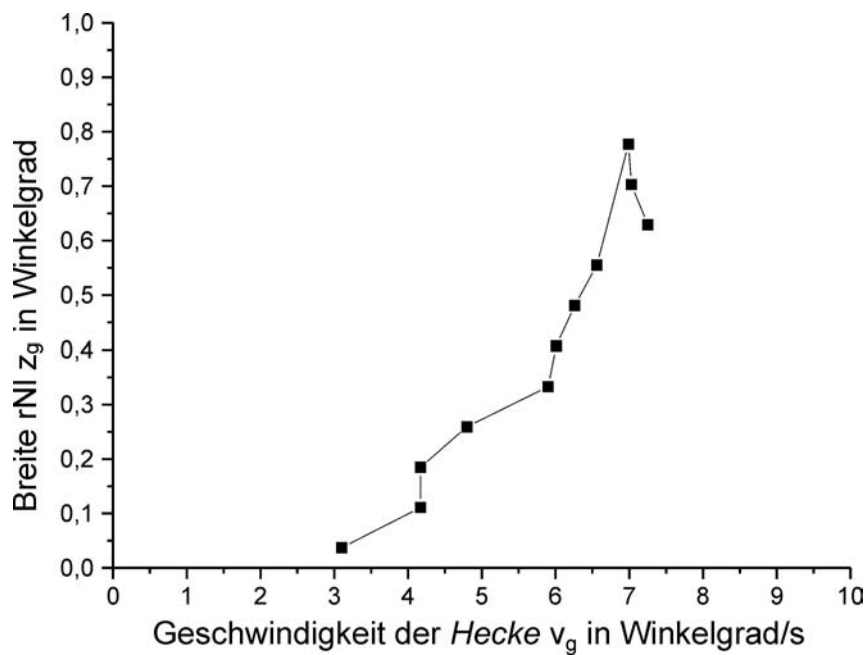


4. „Nullversuch“ ($v_p = 10, 50, 100, 150, 200, 240$ Pixel/s):
 Es wurde kein DSI-Phänomen wahrgenommen.

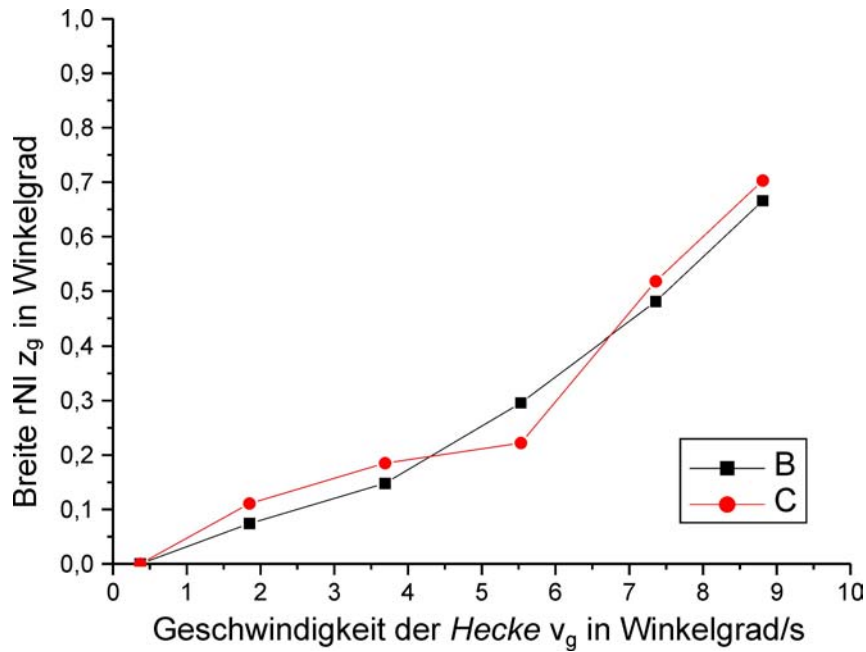
5. Messreihe mit Markierungsmethode (M) ($v_p = 10$, $k \cdot 20$ Pixel/s, $k=1, \dots, 12$):



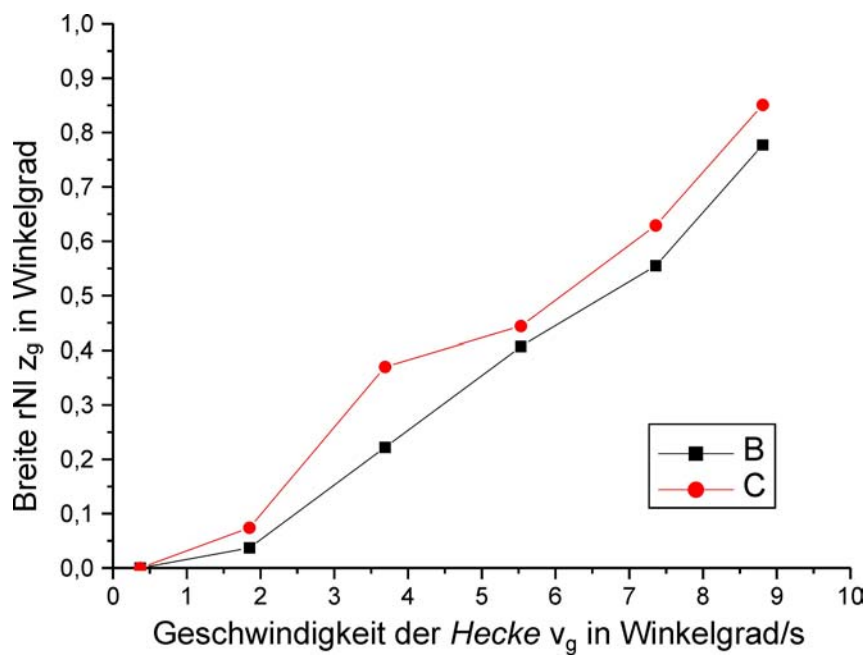
6. Messreihe mit Abgleichmethode (VN) ($d = z_p = 2k+1$ Pixel, $k=0, \dots, 10$):



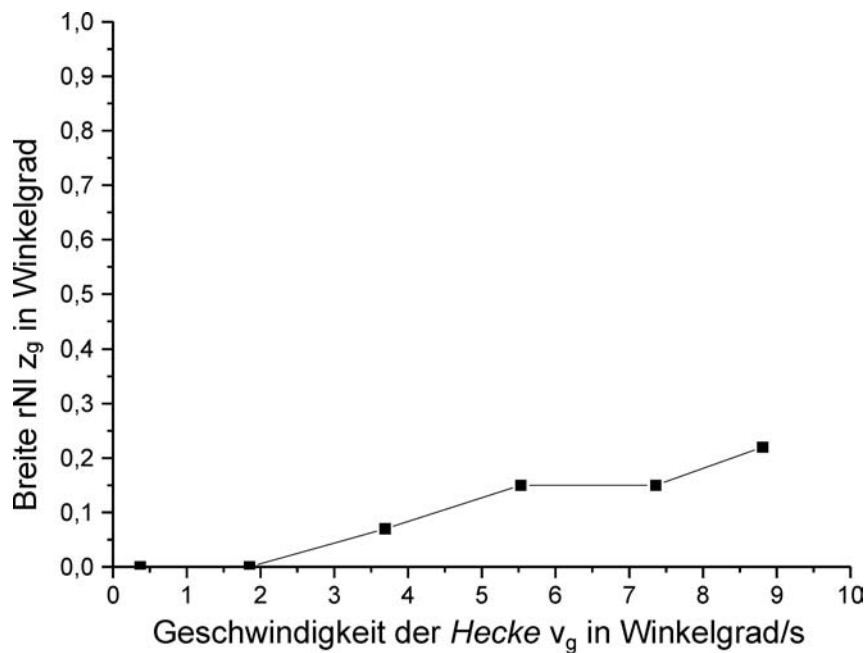
7. Messreihe mit Markierungsmethode (M) ($v_p = 10, 50, 100, 150, 200, 240$ Pixel/s),
RF *Hecke*: 1x1 Pixel, RF *Zweig*: 2x2 Pixel (B) sowie
8. RF *Hecke*: 2x2 Pixel, RF *Zweig*: 1x1 Pixel (C):



9. Messreihe mit Markierungsmethode (M) ($v_p = 10, 50, 100, 150, 200, 240$ Pixel/s),
AP *Hecke*: 25:75, AP *Zweig*: 75:25 (B) sowie
10. AP *Hecke*: 75:25, AP *Zweig*: 25:75 (C):



11. „Nullversuch“ ($v_p = 10, 50, 100, 150, 200, 240$ Pixel/s):

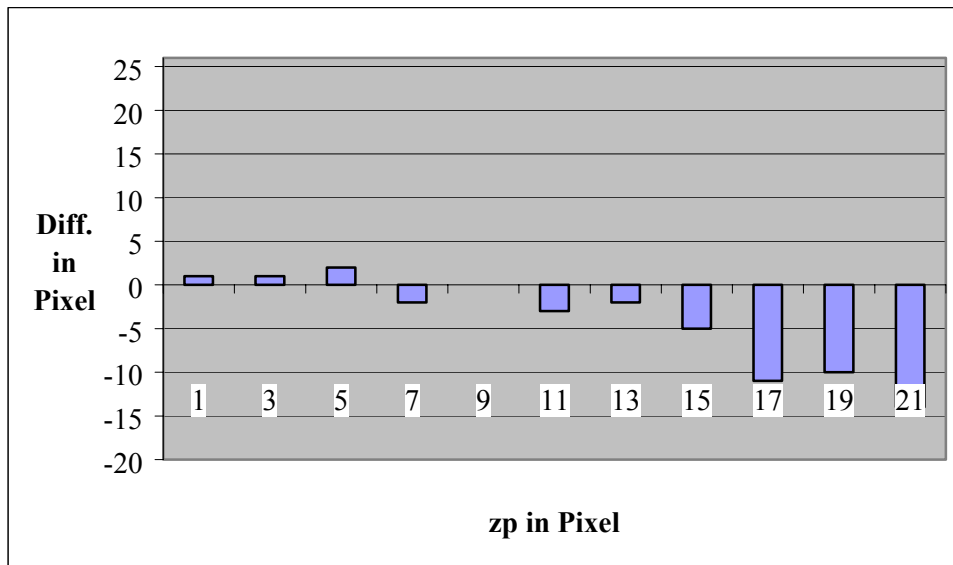


Experimente 4 und 5 (Versuchspersonen G und H):

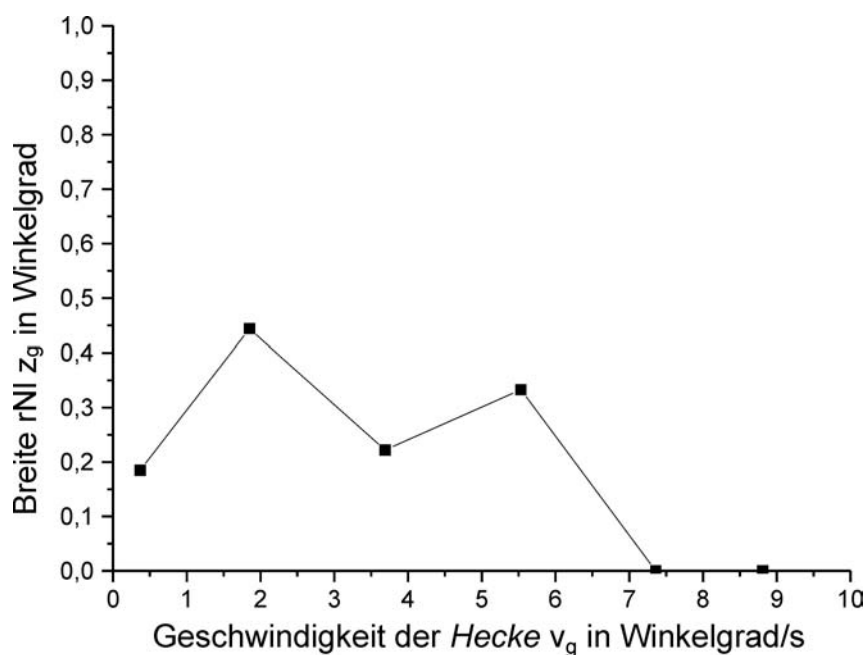
Im ersten Testlauf (Instruktionsschritt 11 in 5.4.3) gaben die Vpn. an, zwar den *Zweig* hinter der *Hecke* zu sehen, das Phänomen aber weder erkennen noch quantifizieren zu können. Die Versuche wurden darauf hin abgebrochen.

Experiment 6 (Versuchsperson I):

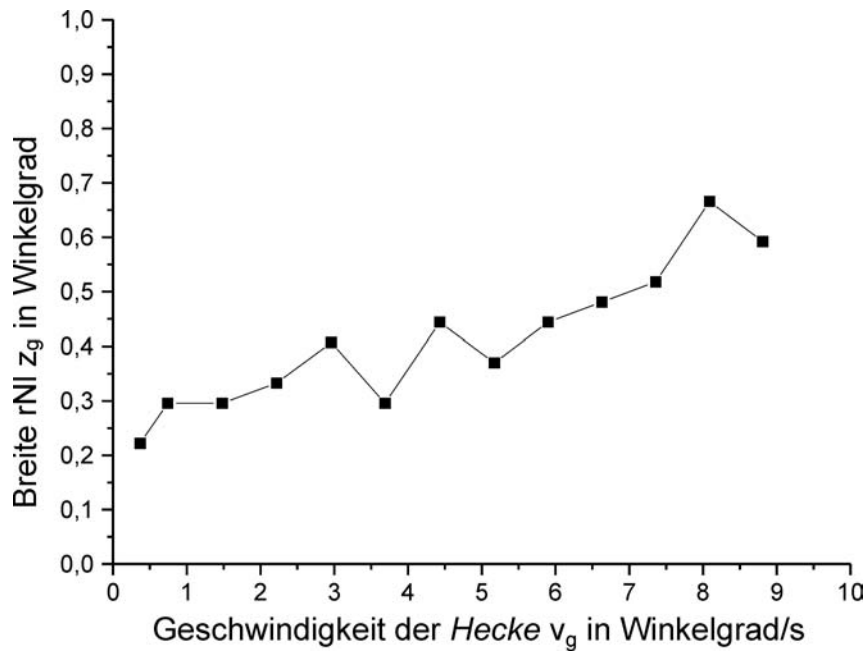
1. Testlauf: DSI wurde erkannt.
2. Testlauf mit Verdunkelungsbrille ($d = 10$ Pixel, $v = 60$ Pixel/s = $2,2$ °/s):
Ohne Verdunkelungsbrille: $z = 12$ Pixel = $1,0$ °,
mit Verdunkelungsbrille: $z = 6$ Pixel = $0,5$ °,
somit Veränderung durch Verdunkelung: Verringerung um 50 %.
3. Testlauf „Einschätzung der tNI“:
Im folgenden Diagramm ist angegeben, wie stark die Versuchsperson die Juleszschen „topologischen“ Niemandsländer unter- bzw. überschätzt. Eine tabellarische Zusammenfassung der Daten findet sich in Anhang 10.2.3:



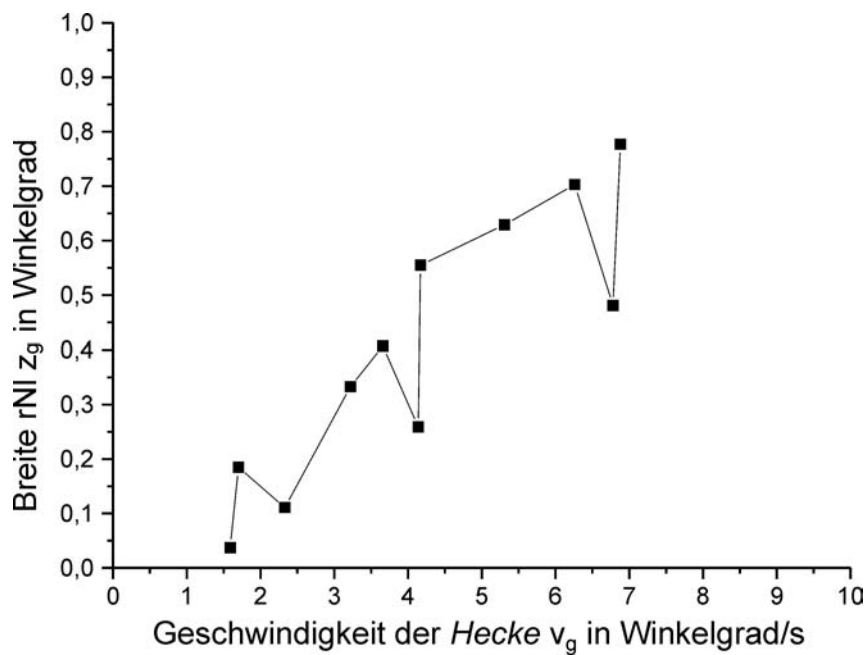
4. „Nullversuch“ ($v_p = 10, 50, 100, 150, 200, 240$ Pixel/s):



5. Messreihe mit Markierungsmethode (M) ($v_p = 10$, $k \cdot 20$ Pixel/s, $k=1, \dots, 12$):

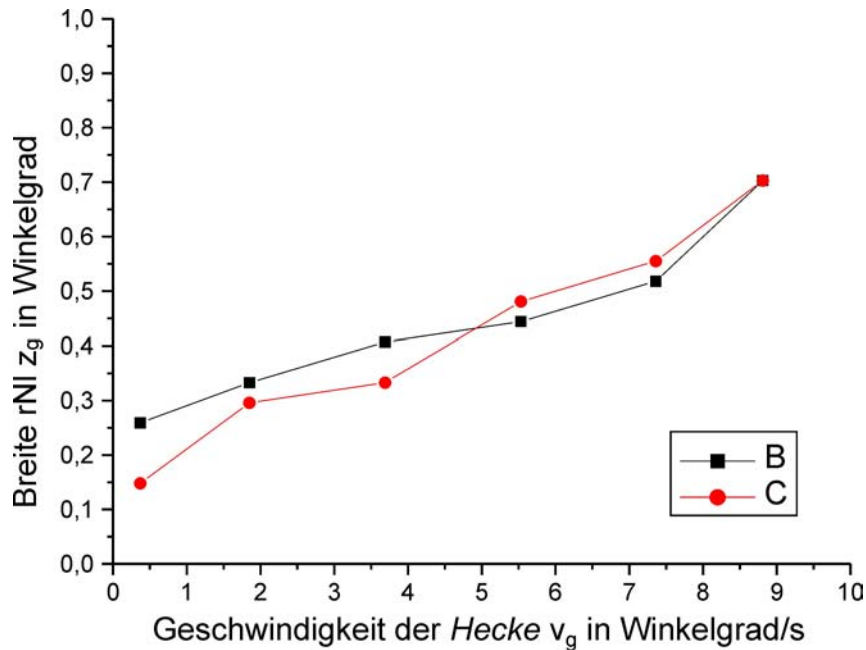


6. Messreihe mit Abgleichmethode (VN) ($d = z_p = 2k+1$ Pixel, $k=0, \dots, 10$):



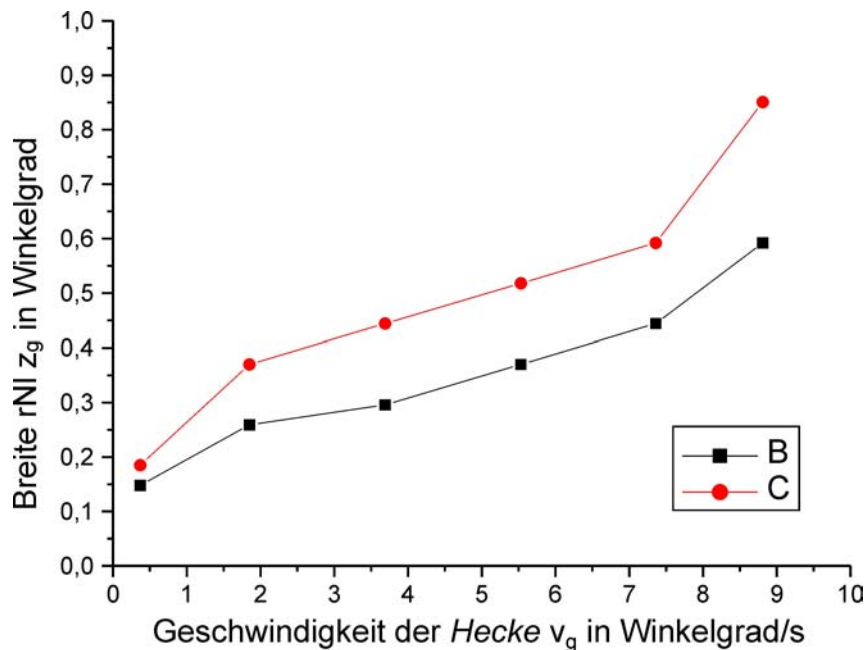
7. Messreihe mit Markierungsmethode (M) ($v_p = 10, 50, 100, 150, 200, 240$ Pixel/s),
RF *Hecke*: 1x1 Pixel, RF *Zweig*: 2x2 Pixel (B) sowie

8. RF *Hecke*: 2x2 Pixel, RF *Zweig*: 1x1 Pixel (C):



9. Messreihe mit Markierungsmethode (M) ($v_p = 10, 50, 100, 150, 200, 240$ Pixel/s),
AP *Hecke*: 25:75, AP *Zweig*: 75:25 (B) sowie

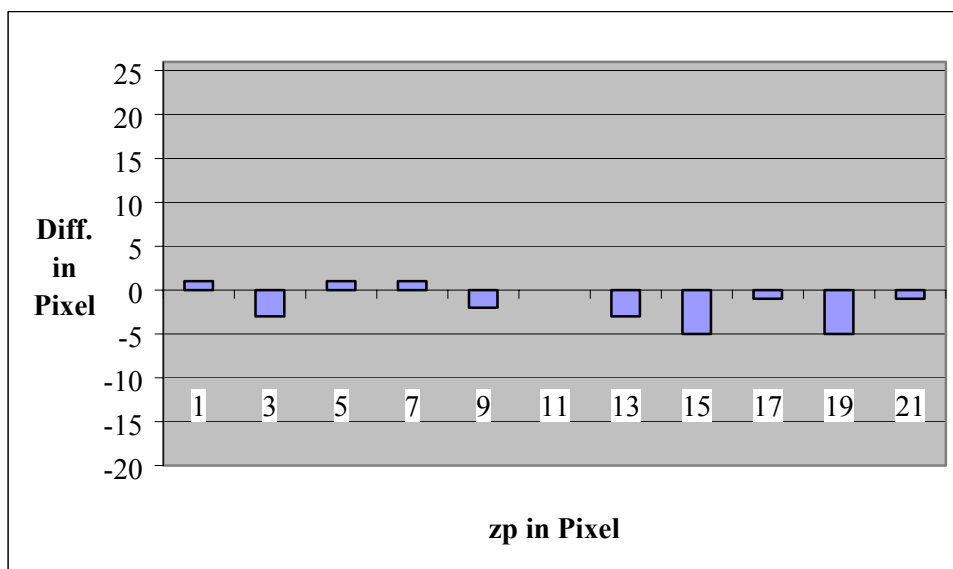
10. AP *Hecke*: 75:25, AP *Zweig*: 25:75 (C):



11. „Nullversuch“ ($v_p = 10, 50, 100, 150, 200, 240$ Pixel/s):
Es wurde kein DSI-Phänomen wahrgenommen.

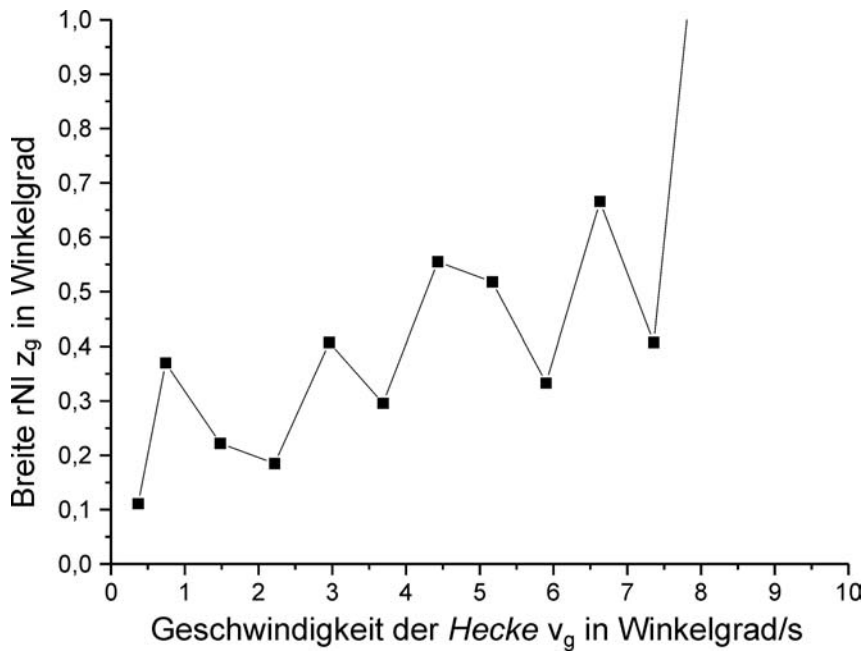
Experiment 7 (Versuchsperson J):

1. Testlauf: DSI wurde erkannt.
2. Testlauf mit Verdunkelungsbrille ($d = 10$ Pixel, $v = 60$ Pixel/s = $2,2^\circ$ /s):
 Ohne Verdunkelungsbrille: $z = 3$ Pixel = $0,3^\circ$,
 mit Verdunkelungsbrille: $z = 2$ Pixel = $0,2^\circ$,
 somit Veränderung durch Verdunkelung: Verringerung um 33 %.
3. Testlauf „Einschätzung der tNI“:
 Im folgenden Diagramm ist angegeben, wie stark die Versuchsperson die Juleszschen „topologischen“ Niemandsländer unter- bzw. überschätzt. Eine tabellarische Zusammenfassung der Daten findet sich in Anhang 10.2.3:

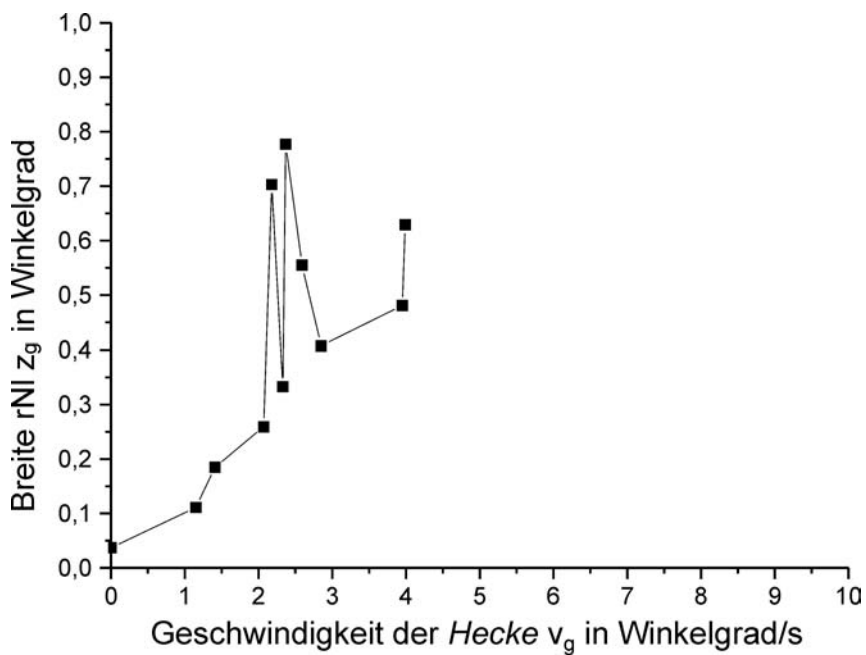


4. „Nullversuch“ ($v_p = 10, 50, 100, 150, 200, 240$ Pixel/s):
 Es wurde kein DSI-Phänomen wahrgenommen.

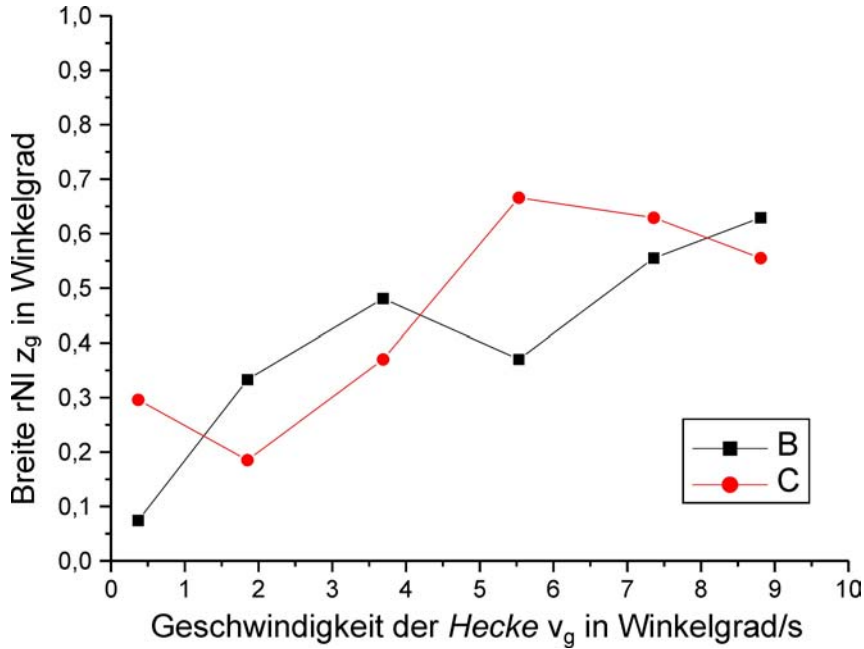
5. Messreihe mit Markierungsmethode (M) ($v_p = 10$, $k \cdot 20$ Pixel/s, $k=1, \dots, 12$):



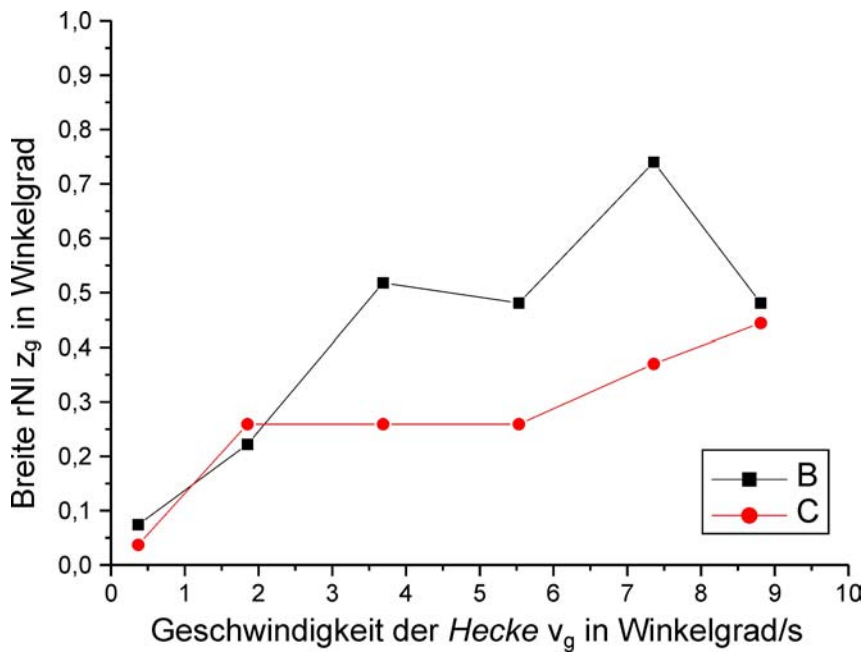
6. Messreihe mit Abgleichmethode (VN) ($d = z_p = 2k+1$ Pixel, $k=0, \dots, 10$):



- 7. Messreihe mit Markierungsmethode (M) ($v_p = 10, 50, 100, 150, 200, 240$ Pixel/s),
RF *Hecke*: 1x1 Pixel, RF *Zweig*: 2x2 Pixel (B) sowie
- 8. RF *Hecke*: 2x2 Pixel, RF *Zweig*: 1x1 Pixel (C):



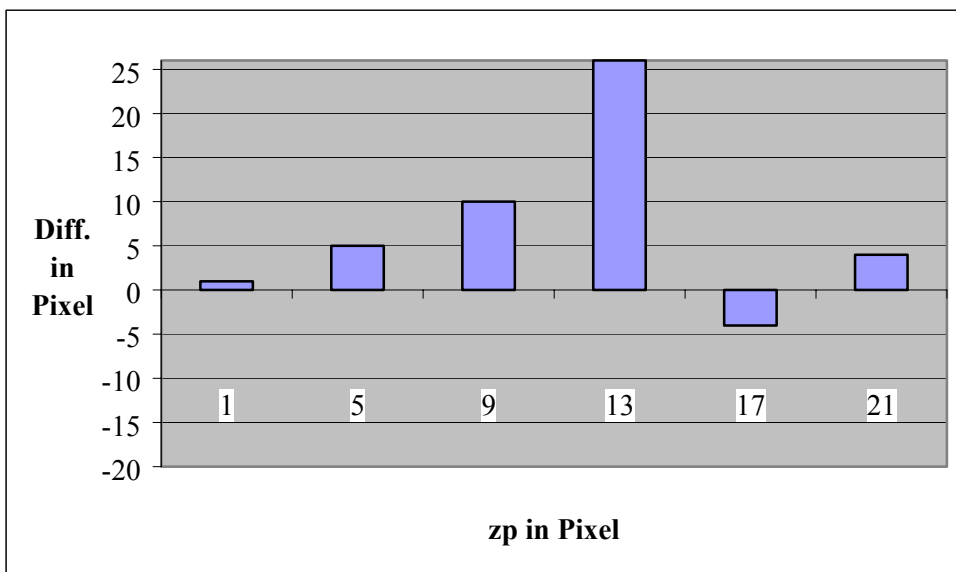
- 9. Messreihe mit Markierungsmethode (M) ($v_p = 10, 50, 100, 150, 200, 240$ Pixel/s),
AP *Hecke*: 25:75, AP *Zweig*: 75:25 (B) sowie
- 10. AP *Hecke*: 75:25, AP *Zweig*: 25:75 (C):



- 11. „Nullversuch“ ($v_p = 10, 50, 100, 150, 200, 240$ Pixel/s):
Es wurde kein DSI-Phänomen wahrgenommen.

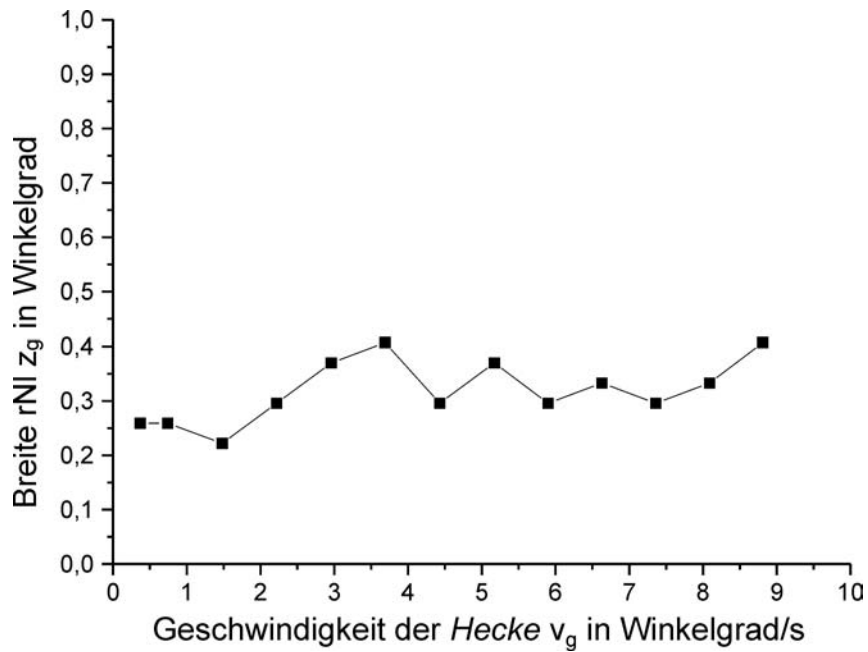
Experiment 8 (Versuchsperson K):

1. Testlauf: DSI wurde erkannt.
2. Testlauf mit Verdunkelungsbrille ($d = 10$ Pixel, $v = 60$ Pixel/s = $2,2$ °/s):
 Ohne Verdunkelungsbrille: $z = 5$ Pixel = $0,4$ °,
 mit Verdunkelungsbrille: $z = 5$ Pixel = $0,4$ °,
 somit keine Veränderung messbar. Vp. gab allerdings auf Nachfrage an, dass der Effekt sich mit Verdunkelungsbrille „leicht verkleinert“. Dies konnte sie aber nicht durch die unabhängige Messung bestätigen.
3. Testlauf „Einschätzung der tNI“:
 Im folgenden Diagramm ist angegeben, wie stark die Versuchsperson die Juleszschen „topologischen“ Niemandsländer unter- bzw. überschätzt. Eine tabellarische Zusammenfassung der Daten findet sich in Anhang 10.2.3:

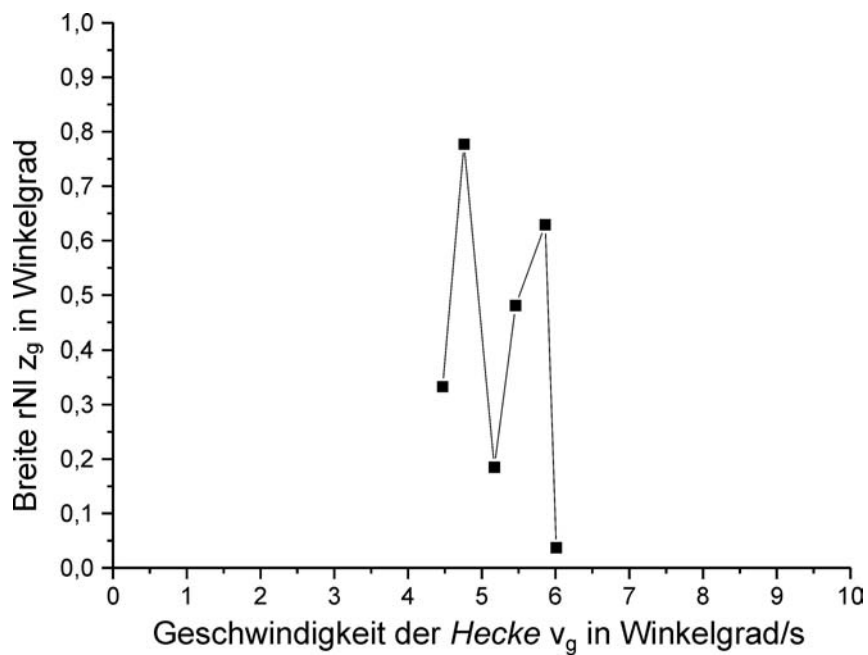


4. „Nullversuch“ ($v_p = 10, 50, 100, 150, 200, 240$ Pixel/s):
 (Grafik: Siehe unter 11.)

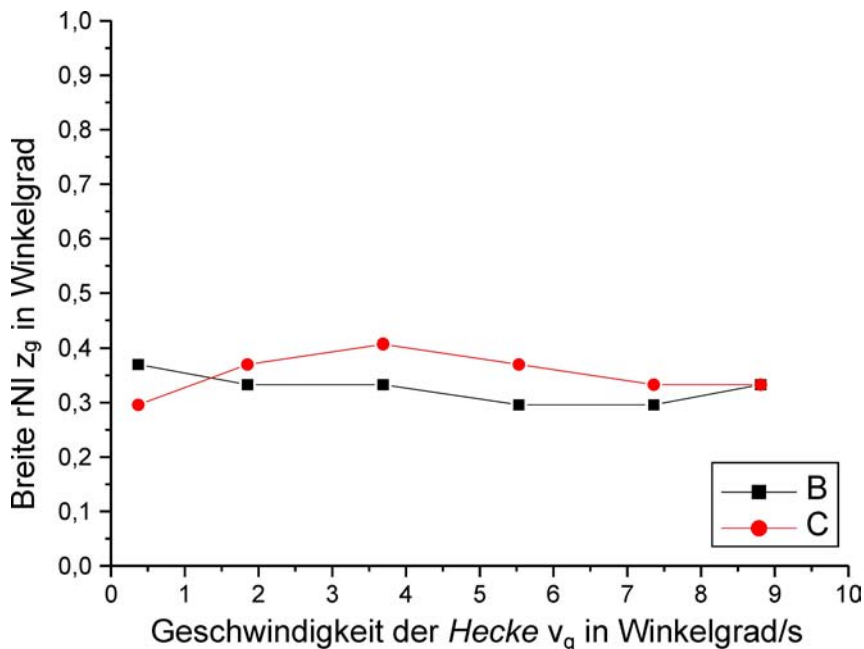
5. Messreihe mit Markierungsmethode (M) ($v_p = 10$, $k \cdot 20$ Pixel/s, $k=1, \dots, 12$):



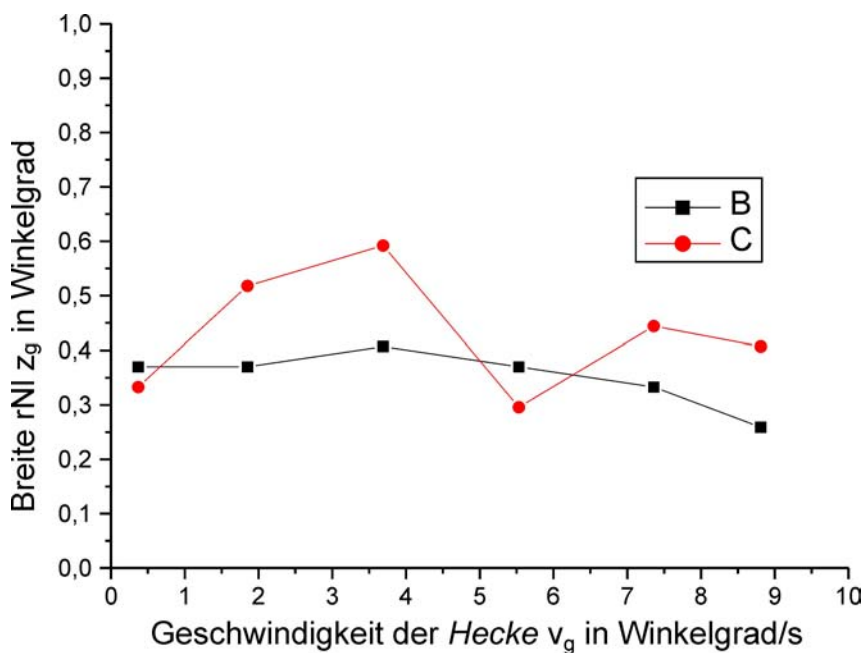
6. Messreihe mit Abgleichmethode (VN) ($d = z_p = 4k+1$ Pixel, $k=0, \dots, 5$):



- 7. Messreihe mit Markierungsmethode (M) ($v_p = 10, 50, 100, 150, 200, 240$ Pixel/s),
RF *Hecke*: 1x1 Pixel, RF *Zweig*: 2x2 Pixel (B) sowie
- 8. RF *Hecke*: 2x2 Pixel, RF *Zweig*: 1x1 Pixel (C):

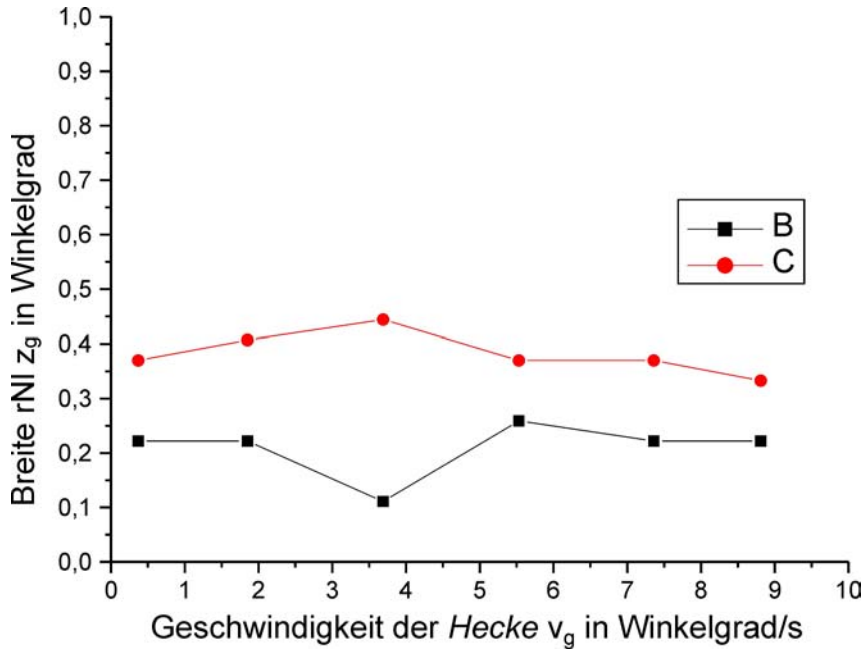


- 9. Messreihe mit Markierungsmethode (M) ($v_p = 10, 50, 100, 150, 200, 240$ Pixel/s),
AP *Hecke*: 25:75, AP *Zweig*: 75:25 (B) sowie
- 10. AP *Hecke*: 75:25, AP *Zweig*: 25:75 (C):



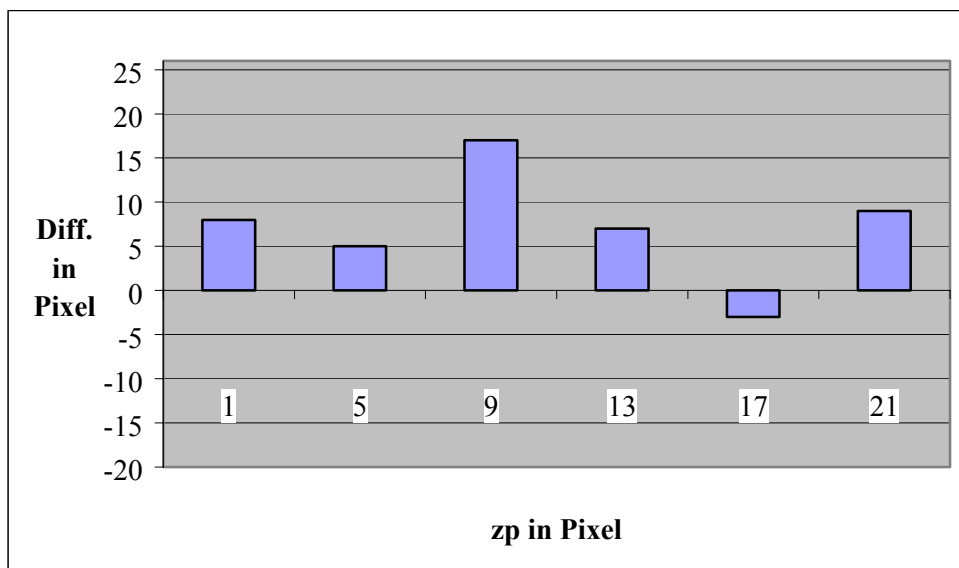
11. „Nullversuch“ ($v_p = 10, 50, 100, 150, 200, 240$ Pixel/s):

Zusammenfassender Graph der beiden Nullversuche vor (B) und nach (C) der Messreihe:

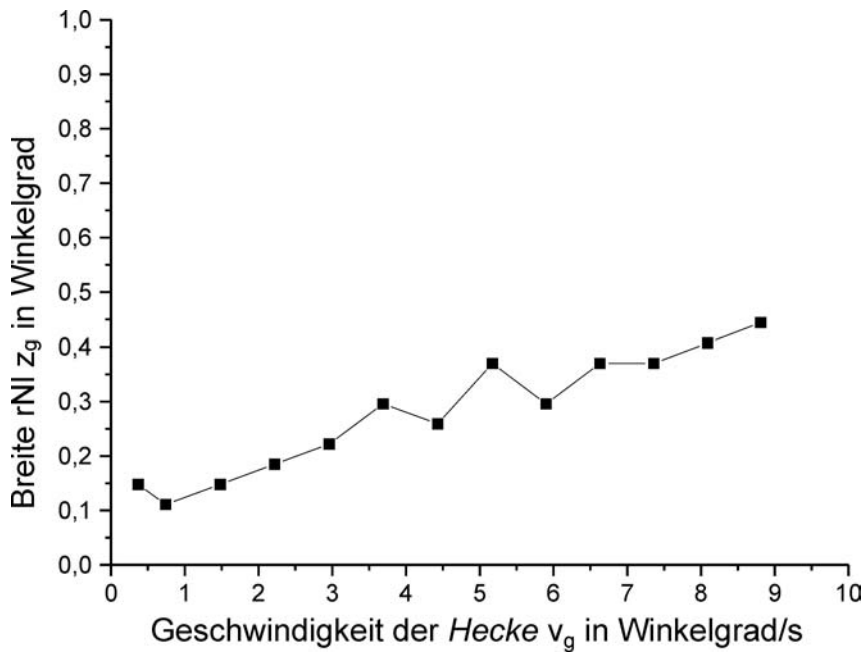


Experiment 9 (Versuchsperson L):

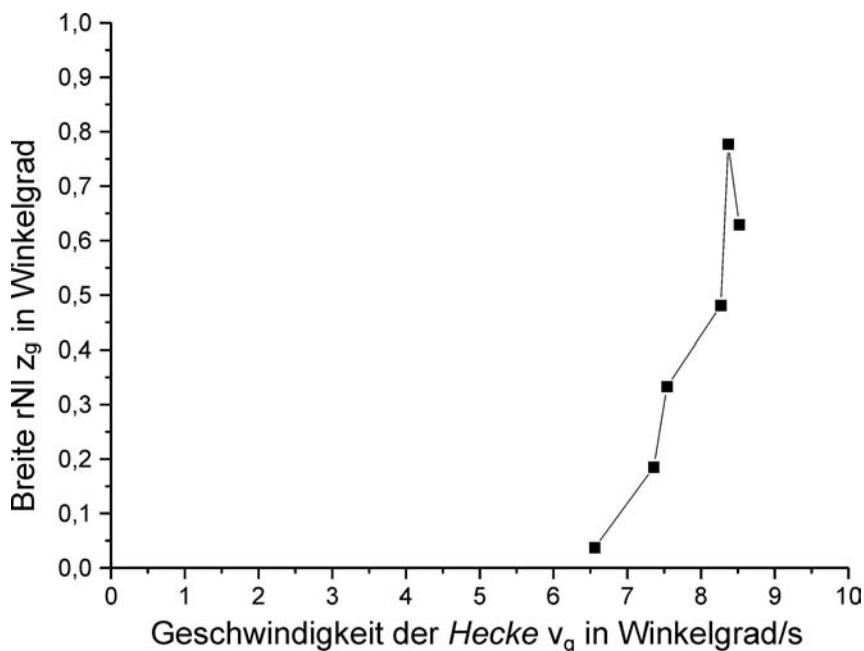
1. Testlauf: DSI wurde erkannt.
2. Testlauf mit Verdunkelungsbrille ($d = 10$ Pixel, $v = 60$ Pixel/s = $2,2$ °/s):
 Ohne Verdunkelungsbrille: $z = 8$ Pixel = $0,7$ °,
 mit Verdunkelungsbrille: $z = 5$ Pixel = $0,4$ °,
 somit Veränderung durch Verdunkelung: Verringerung um 37,5 %.
3. Testlauf „Einschätzung der tNI“:
 Im folgenden Diagramm ist angegeben, wie stark die Versuchsperson die Juleszschen „topologischen“ Niemandsländer unter- bzw. überschätzt. Eine tabellarische Zusammenfassung der Daten findet sich in Anhang 10.2.3:



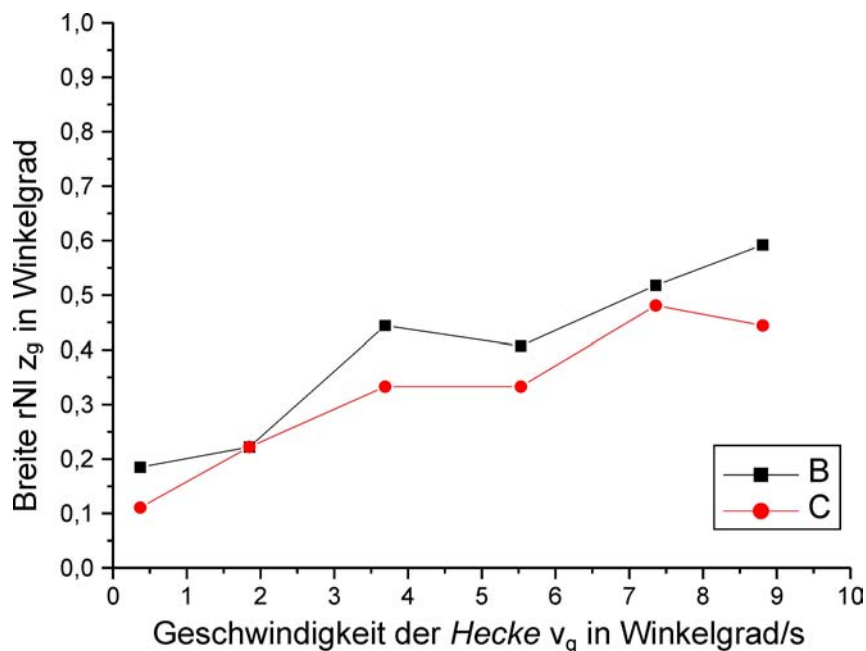
4. „Nullversuch“ ($v_p = 10, 50, 100, 150, 200, 240$ Pixel/s):
Es wurde kein DSI-Phänomen wahrgenommen.
5. Messreihe mit Markierungsmethode (M) ($v_p = 10, k \cdot 20$ Pixel/s, $k=1, \dots, 12$):



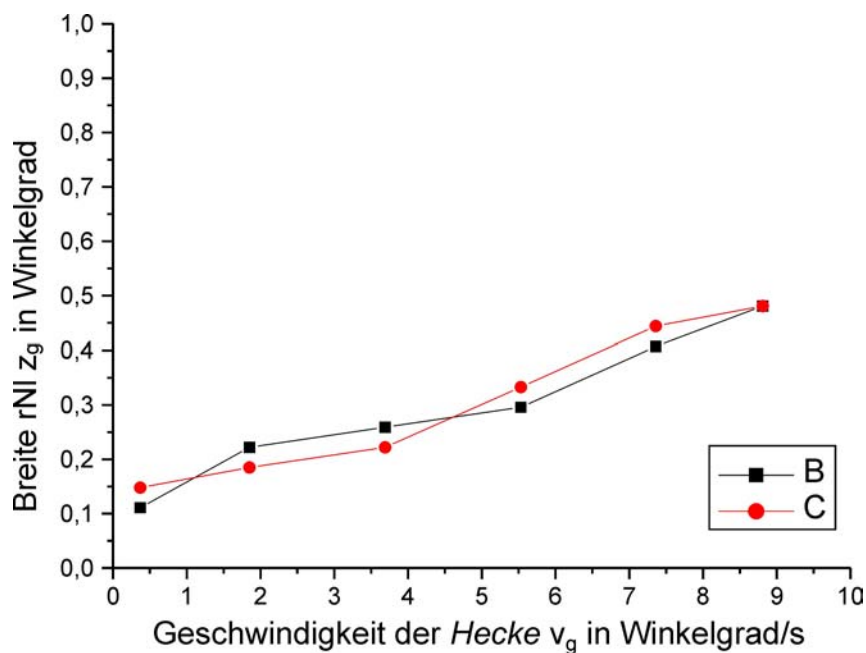
6. Messreihe mit Abgleichmethode (VN) ($d = z_p = 4k+1$ Pixel, $k=0, \dots, 5$):



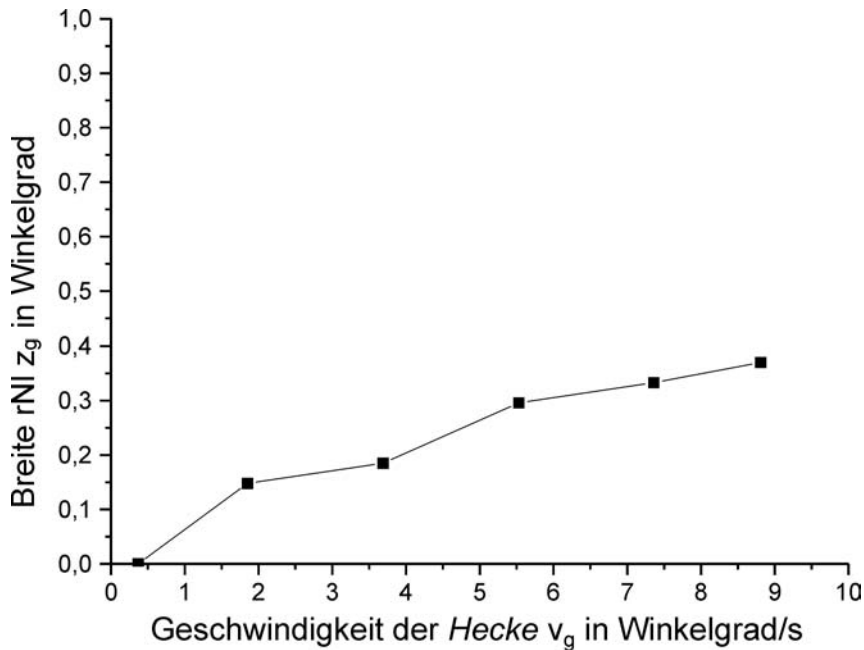
- 7. Messreihe mit Markierungsmethode (M) ($v_p = 10, 50, 100, 150, 200, 240$ Pixel/s), RF *Hecke*: 1x1 Pixel, RF *Zweig*: 2x2 Pixel (B) sowie
- 8. RF *Hecke*: 2x2 Pixel, RF *Zweig*: 1x1 Pixel (C):



- 9. Messreihe mit Markierungsmethode (M) ($v_p = 10, 50, 100, 150, 200, 240$ Pixel/s), AP *Hecke*: 25:75, AP *Zweig*: 75:25 (B) sowie
- 10. AP *Hecke*: 75:25, AP *Zweig*: 25:75 (C):

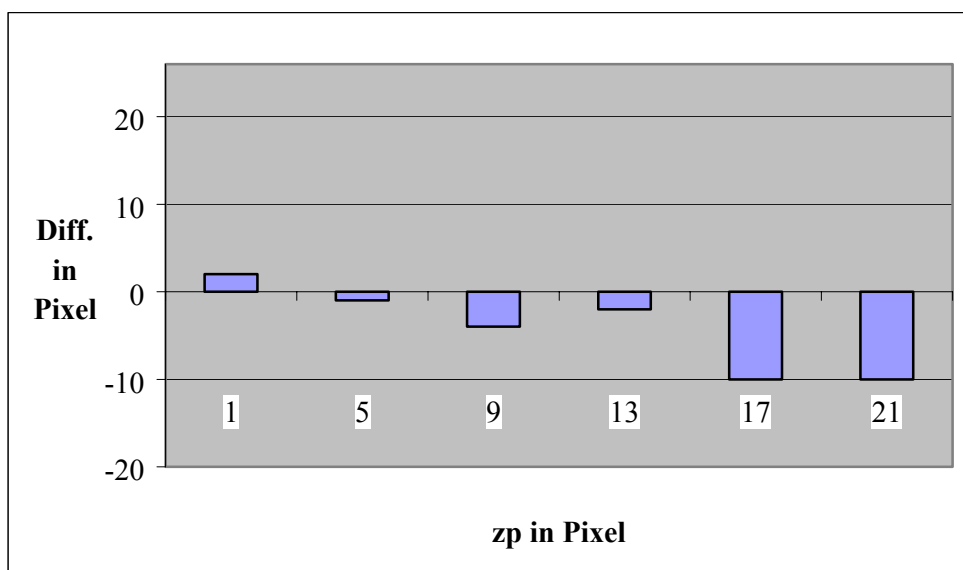


11. „Nullversuch“ ($v_p = 10, 50, 100, 150, 200, 240$ Pixel/s):

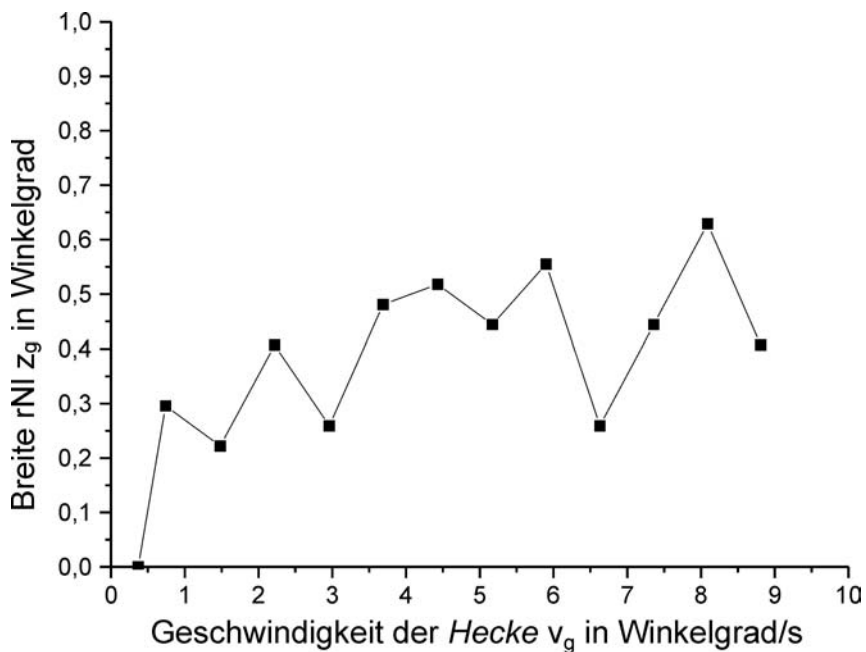


Experiment 10 (Versuchsperson M):

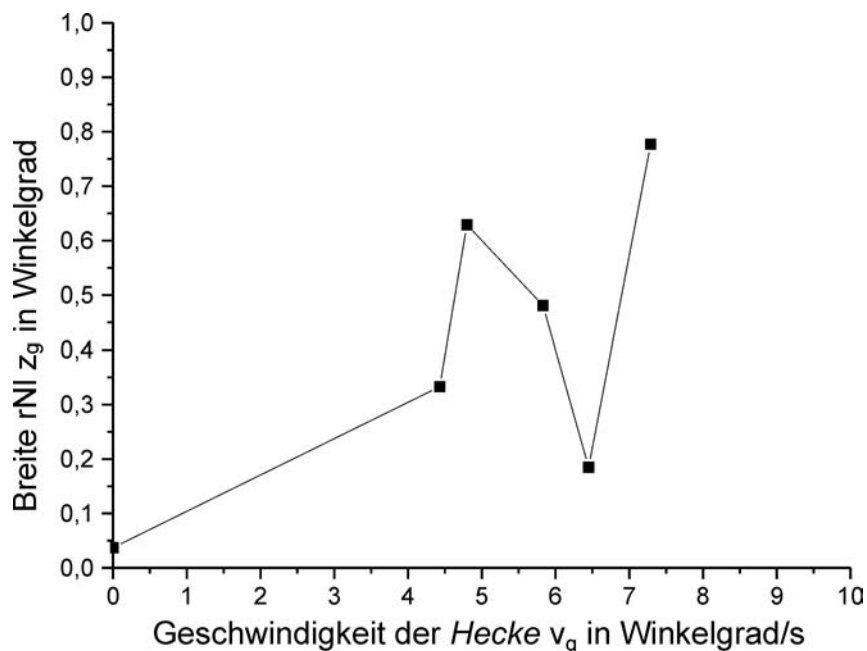
1. Testlauf: DSI wurde erkannt.
2. Testlauf mit Verdunkelungsbrille ($d = 10$ Pixel, $v = 60$ Pixel/s = $2,2^\circ/s$):
Ohne Verdunkelungsbrille: $z = 8$ Pixel = $0,7^\circ$,
mit Verdunkelungsbrille: $z = 13$ Pixel = $1,1^\circ$,
somit Veränderung durch Verdunkelung: Vergrößerung um 62,5%.
3. Testlauf „Einschätzung der tNI“:
Im folgenden Diagramm ist angegeben, wie stark die Versuchsperson die Juleszschen „topologischen“ Niemandsländer unter- bzw. überschätzt. Eine tabellarische Zusammenfassung der Daten findet sich in Anhang 10.2.3:



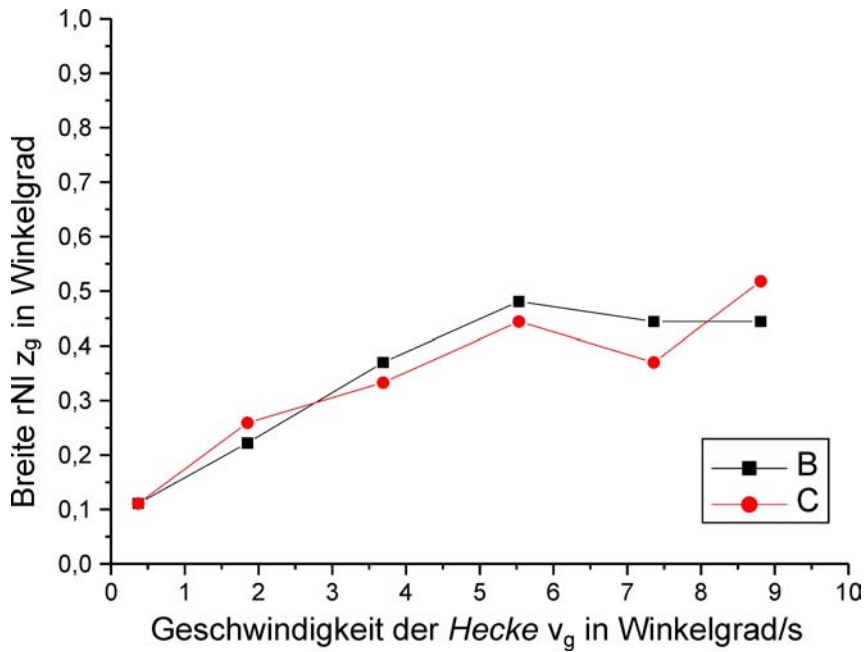
4. „Nullversuch“ ($v_p = 10, 50, 100, 150, 200, 240$ Pixel/s):
Es wurde kein DSI-Phänomen wahrgenommen.
5. Messreihe mit Markierungsmethode (M) ($v_p = 10, k \cdot 20$ Pixel/s, $k=1, \dots, 12$):



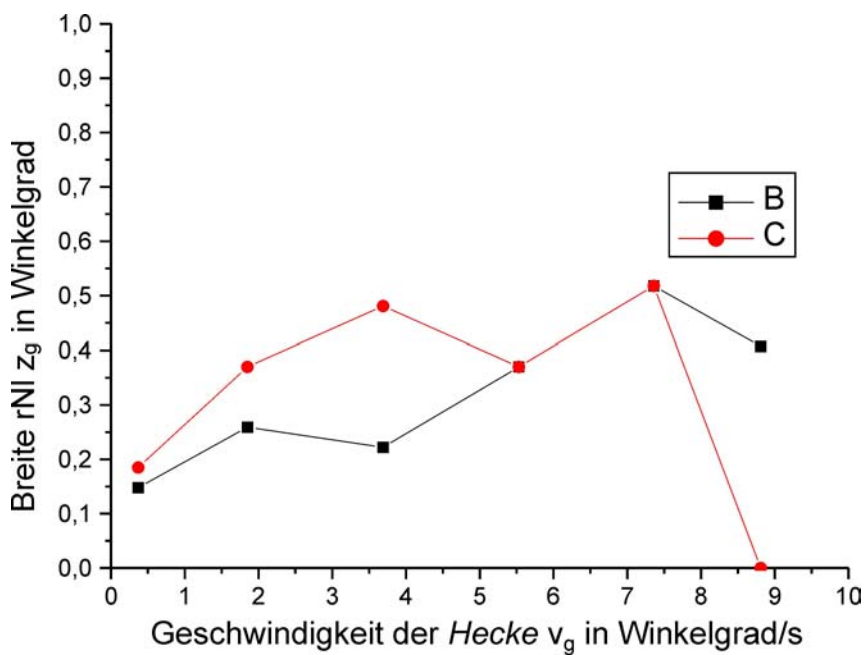
6. Messreihe mit Abgleichmethode (VN) ($d = z_p = 4k+1$ Pixel, $k=0, \dots, 5$):



- 7. Messreihe mit Markierungsmethode (M) ($v_p = 10, 50, 100, 150, 200, 240$ Pixel/s),
RF *Hecke*: 1x1 Pixel, RF *Zweig*: 2x2 Pixel (B) sowie
- 8. RF *Hecke*: 2x2 Pixel, RF *Zweig*: 1x1 Pixel (C):



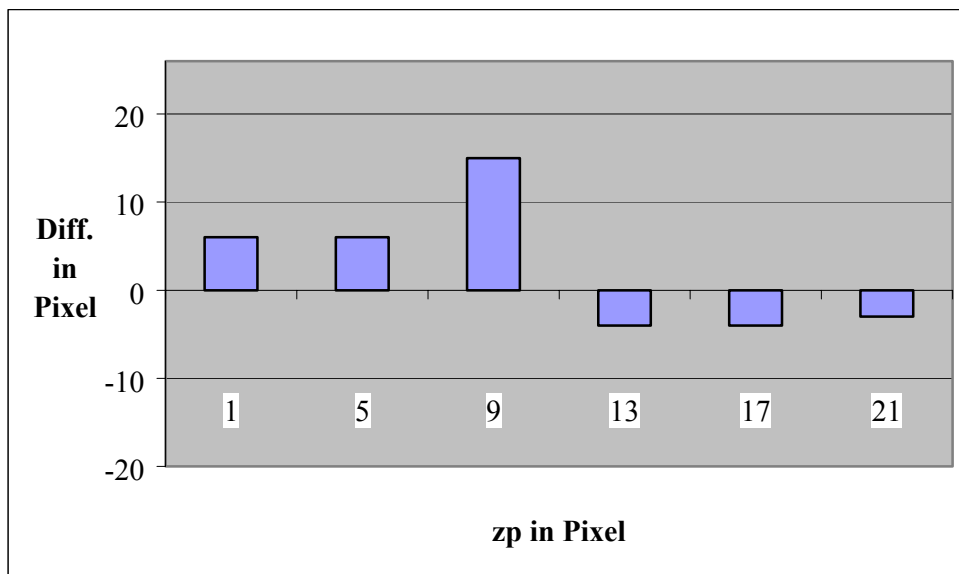
- 9. Messreihe mit Markierungsmethode (M) ($v_p = 10, 50, 100, 150, 200, 240$ Pixel/s),
AP *Hecke*: 25:75, AP *Zweig*: 75:25 (B) sowie
- 10. AP *Hecke*: 75:25, AP *Zweig*: 25:75 (C):



- 11. „Nullversuch“ ($v_p = 10, 50, 100, 150, 200, 240$ Pixel/s):
Es wurde kein DSI-Phänomen wahrgenommen.

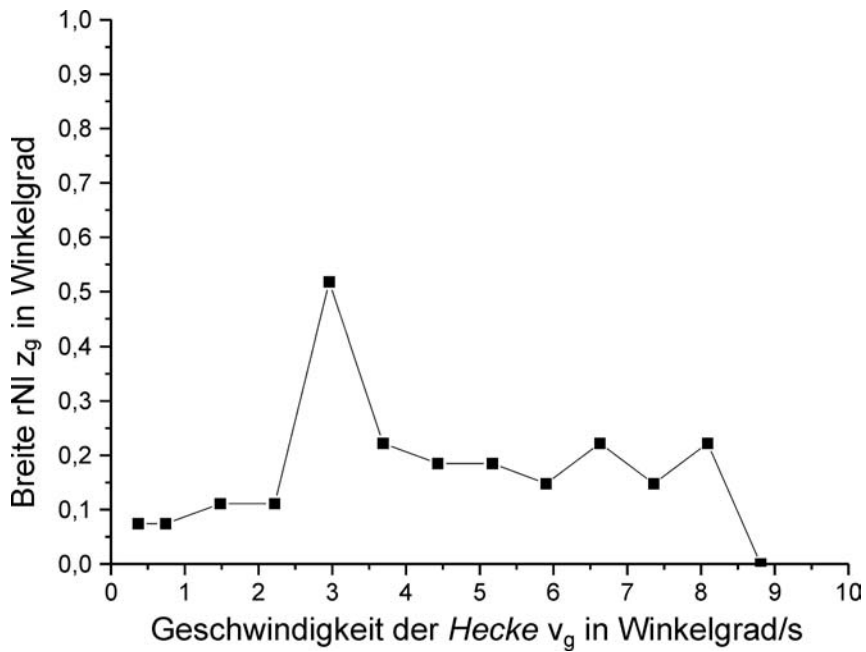
Experiment 11 (Versuchsperson N):

1. Testlauf: DSI wurde erkannt.
2. Testlauf mit Verdunkelungsbrille ($d = 10$ Pixel, $v = 60$ Pixel/s = $2,2$ °/s):
 Ohne Verdunkelungsbrille: $z = 7$ Pixel = $0,6$ °,
 mit Verdunkelungsbrille: $z = 5$ Pixel = $0,4$ °,
 somit Veränderung durch Verdunkelung: Verringerung um $28,6$ %.
3. Testlauf „Einschätzung der tNI“:
 Im folgenden Diagramm ist angegeben, wie stark die Versuchsperson die Juleszschen „topologischen“ Niemandsländer unter- bzw. überschätzt. Eine tabellarische Zusammenfassung der Daten findet sich in Anhang 10.2.3:

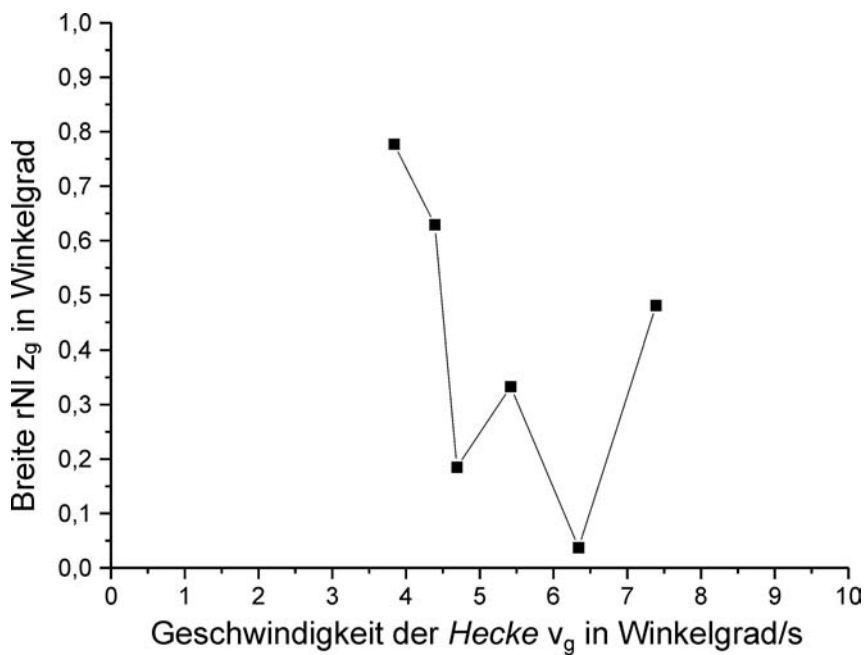


4. „Nullversuch“ ($v_p = 10, 50, 100, 150, 200, 240$ Pixel/s):
 Es wurde kein DSI-Phänomen wahrgenommen.

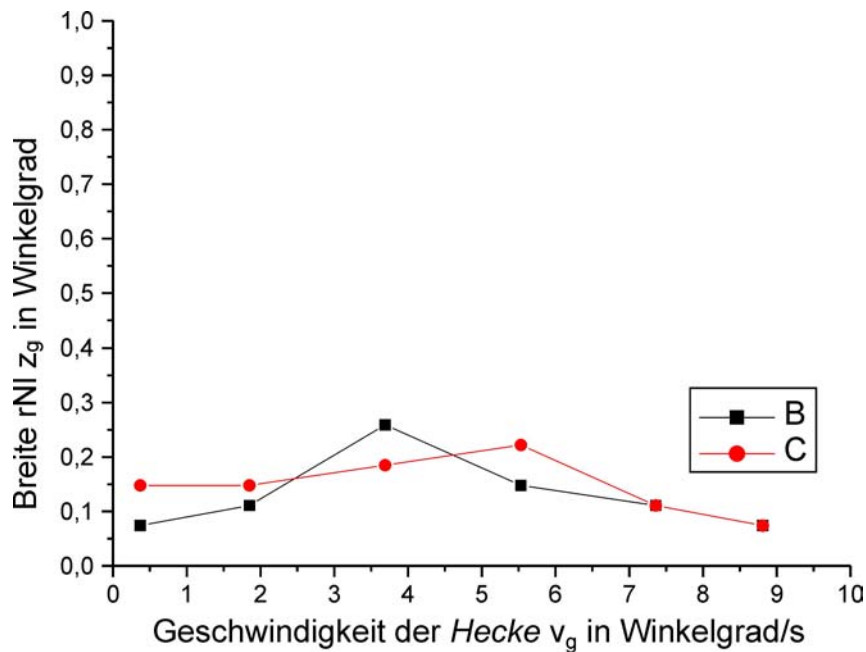
5. Messreihe mit Markierungsmethode (M) ($v_p = 10$, $k \cdot 20$ Pixel/s, $k=1, \dots, 12$):



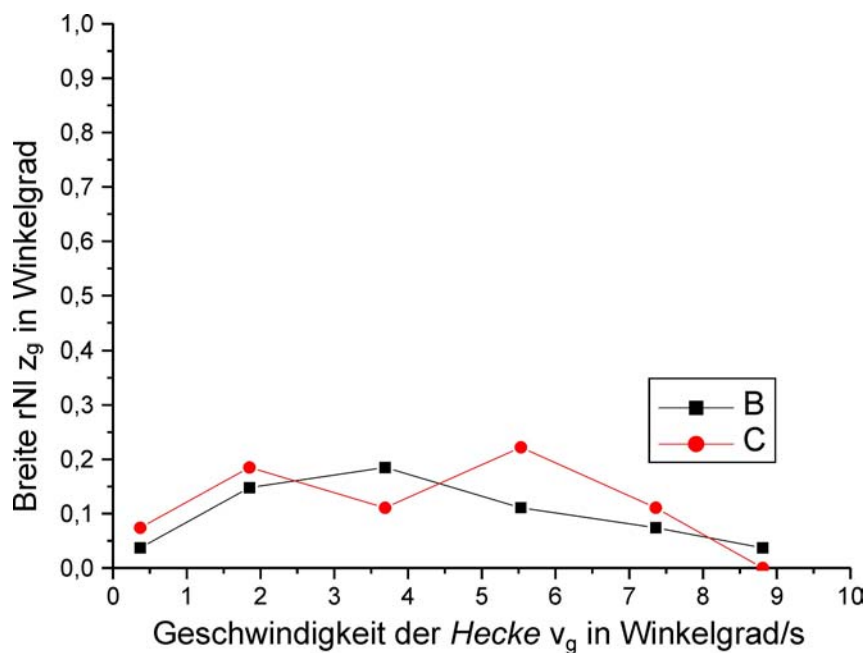
6. Messreihe mit Abgleichmethode (VN) ($d = z_p = 4k+1$ Pixel, $k=0, \dots, 5$):



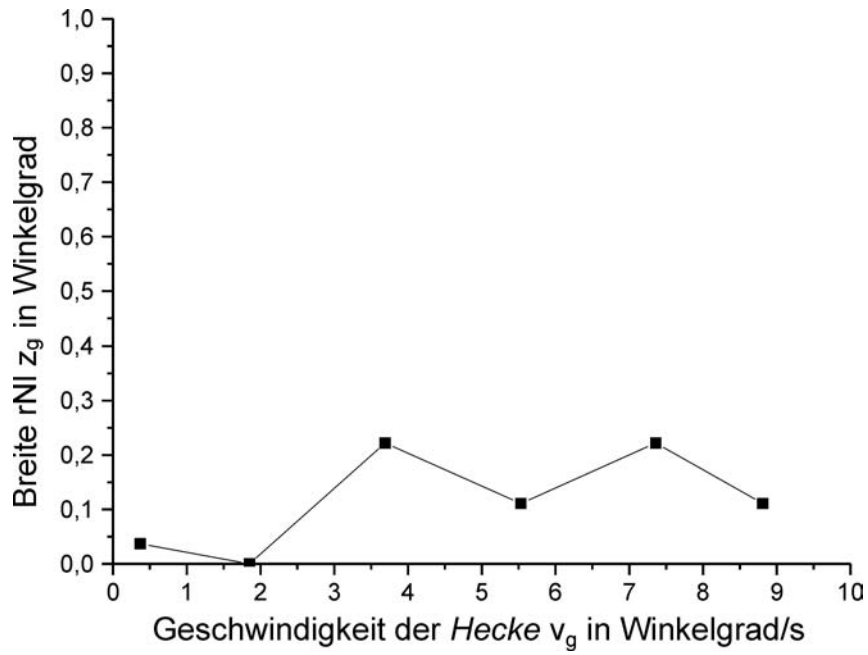
- 7. Messreihe mit Markierungsmethode (M) ($v_p = 10, 50, 100, 150, 200, 240$ Pixel/s),
RF *Hecke*: 1x1 Pixel, RF *Zweig*: 2x2 Pixel (B) sowie
- 8. RF *Hecke*: 2x2 Pixel, RF *Zweig*: 1x1 Pixel (C):



- 9. Messreihe mit Markierungsmethode (M) ($v_p = 10, 50, 100, 150, 200, 240$ Pixel/s),
AP *Hecke*: 25:75, AP *Zweig*: 75:25 (B) sowie
- 10. AP *Hecke*: 75:25, AP *Zweig*: 25:75 (C):



11. „Nullversuch“ ($v_p = 10, 50, 100, 150, 200, 240$ Pixel/s):



6.2.2 Zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse

In der Experimentalserie E2 wurde die Breite der DSI-Lücke in 8 (von 11) erfolgreichen Experimenten mit insgesamt 384 Einzelmessungen erfasst. Die 8 erfolgreichen Experimente bestanden dabei aus jeweils 48 Einzelmessungen, die sich aus der Summe von 13 Einzelmessungen im 5. Testlauf, 11 Einzelmessungen im 6. Testlauf und je 6 Einzelmessungen in den vier Testläufen 7-10 zusammen setzt. Die Rohdaten sind im Anhang unter 10.2.3 aufgelistet und in den Tabellen unter 10.2.4 und 10.2.5 zusammen gefasst.

6.2.2.1 *Zusammenfassung nach Messreihen*

Im folgenden werden die Ergebnisse aller Experimente für die einzelnen Messreihen getrennt zusammen gefasst und dargestellt.

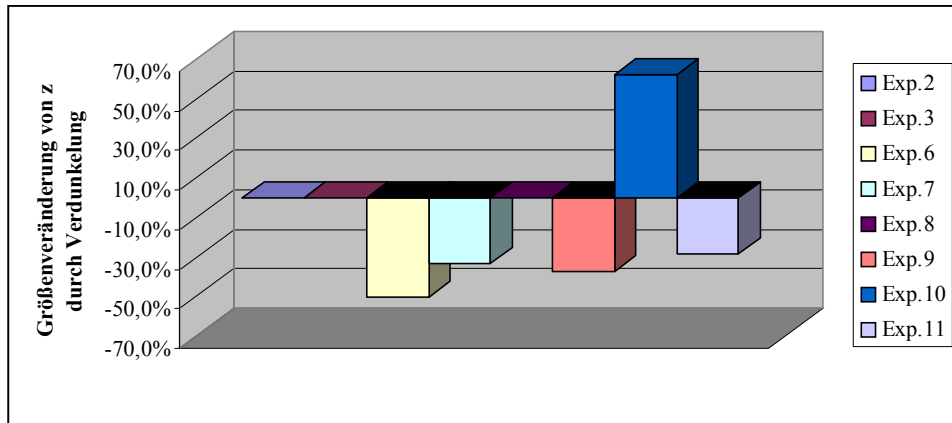
1. Testlauf:

Drei der elf Versuchspersonen (D, G und H) waren nicht in der Lage, das DSI-Phänomen zu erkennen. Das Experiment mit diesen Versuchspersonen wurde somit an dieser Stelle abgebrochen. Die übrigen acht Versuchspersonen der Experimentalserie E2 bestätigten, das DSI-Phänomen wahrnehmen zu können. Mit diesen Versuchspersonen wurden die weiteren Messreihen durchgeführt.

2. Testlauf mit Verdunkelungsbrille ($d = 10$ Pixel, $v = 60$ Pixel/s = $2,2$ °/s):

Eine Zusammenfassung der gesammelten Messergebnisse zeigen die folgende Tabelle und Grafik:

Experiment	Vp.	hell	dunkel	Wirkung auf z
1	D	-	-	-
2	E	11	11	0,0%
3	F	2	2	0,0%
4	G	-	-	-
5	H	-	-	-
6	I	12	6	-50,0%
7	J	3	2	-33,3%
8	K	5	5	0,0%
9	L	8	5	-37,5%
10	M	8	13	+62,5%
11	N	7	5	-28,6%



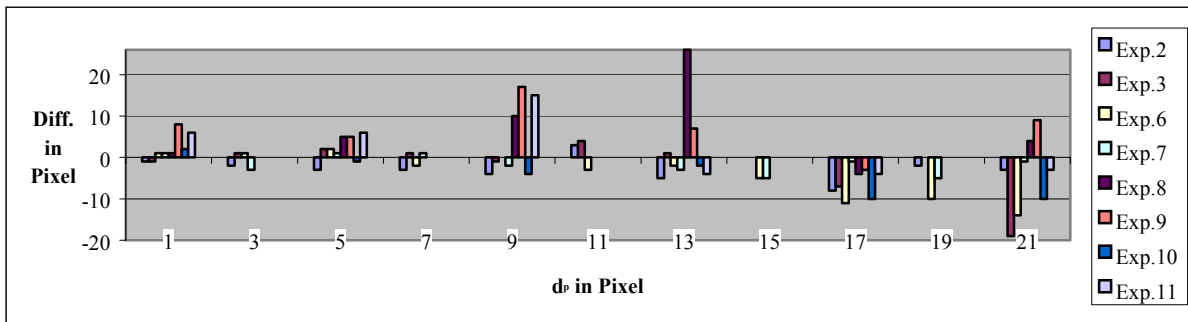
Bei Betrachtung der Szene durch eine um den Faktor 0,6 abdunkelnde Brille (Sonnenbrille) berichteten vier von acht Vpn. eine Verringerung des DSI Phänomens um 28,6 bis 50 Prozent, eine Vp. berichtete eine deutliche Vergrößerung um 62,5%, drei Vpn. meldeten keine Veränderung.

3. Testlauf „Einschätzung der tNI“:

Die oben aufgeführten Ergebnisse aller Experimente sind in folgender Tabelle und anschließender Grafik zusammengefasst. Für jede Einstellung von d_p (dessen Wert gleich der Breite des tNI in Pixel ist) ist die Differenz zu dem von der Versuchsperson eingestellten Wert z_p angegeben (z.B.: -1 bedeutet, dass die Vp. den tatsächlichen Wert um 1 Pixel unterschätzt hat).

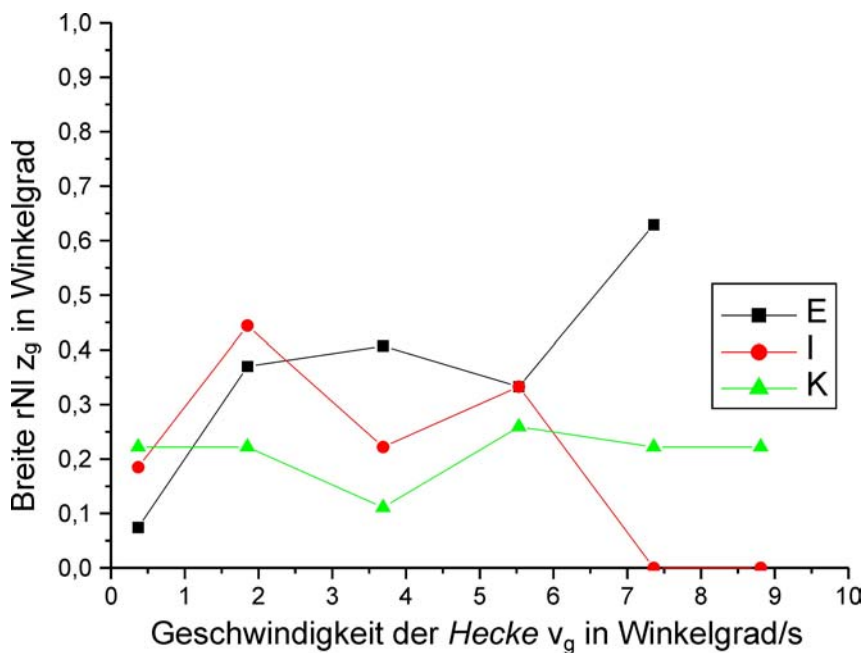
d_p	Exp.2	Exp.3	Exp.6	Exp.7	Exp.8	Exp.9	Exp.10	Exp.11
1	-1	-1	1	1	1	8	2	6
3	-2	1	1	-3				
5	-3	2	2	1	5	5	-1	6
7	-3	1	-2	1				
9	-4	-1	0	-2	10	17	-4	15
11	3	4	-3	0				
13	-5	1	-2	-3	26	7	-2	-4
15	0	0	-5	-5				
17	-8	-7	-11	-1	-4	-3	-10	-4
19	-2	0	-10	-5				
21	-3	-19	-14	-1	4	9	-10	-3

Aufgetragen als Grafik:

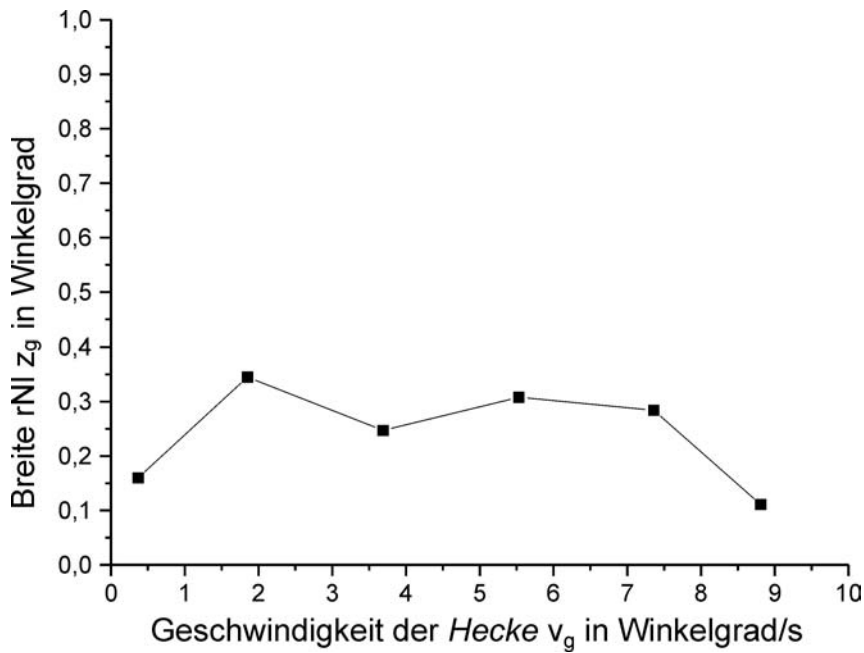


4. „Nullversuch“ vor den Messungen:

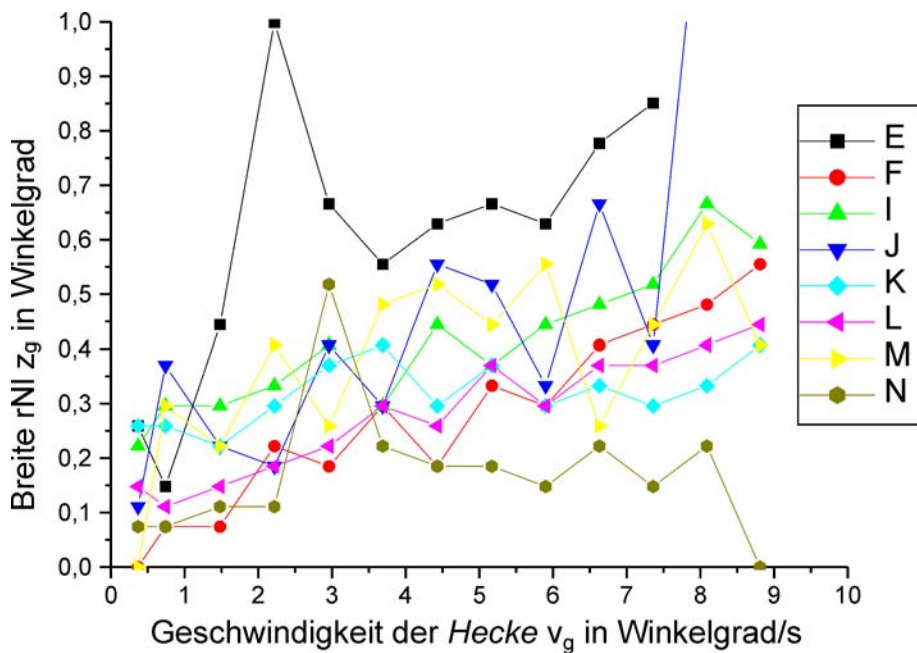
Nur drei der acht Versuchspersonen (E, I und K aus den Experimenten 2, 6 und 8) konnten im Nullversuch vor der eigentlichen Messreihe einen DSI-ähnlichen Effekt wahrnehmen. All diese Ergebnisse sind klein. Sie sind in folgendem Diagramm zusammengetragen:



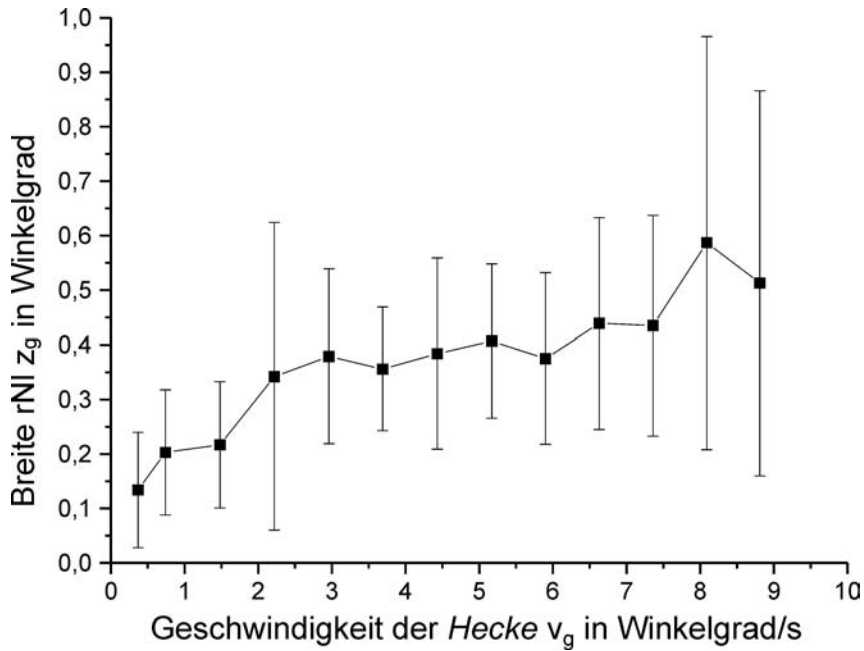
Mittelwertkurve:



5. Messreihe mit Markierungsmethode (M) ($v_p = 10$, $k \cdot 20$ Pixel/s, $k=1, \dots, 12$):
 Alle Messungen der erfolgreichen Experimente 2-3 und 6-11 mit den Versuchspersonen E, F, I, J, K, L, M und N sind in der folgenden Grafik zusammengefasst:



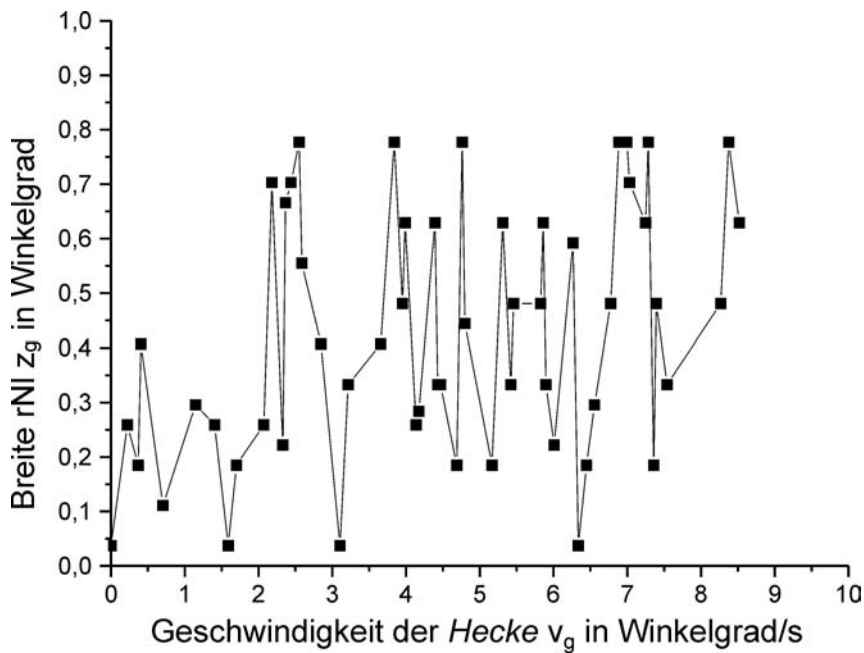
Mittelwertkurve über alle Experimente:



(Korrelationskoeffizient $\rho = 0,923$)

6. Messreihe mit Abgleichmethode (VN):

Alle Messungen der erfolgreichen Experimente 2-3 und 6-11 mit den Versuchspersonen E, F, I, J, K, L, M und N sind in der folgenden Grafik zusammengefasst:

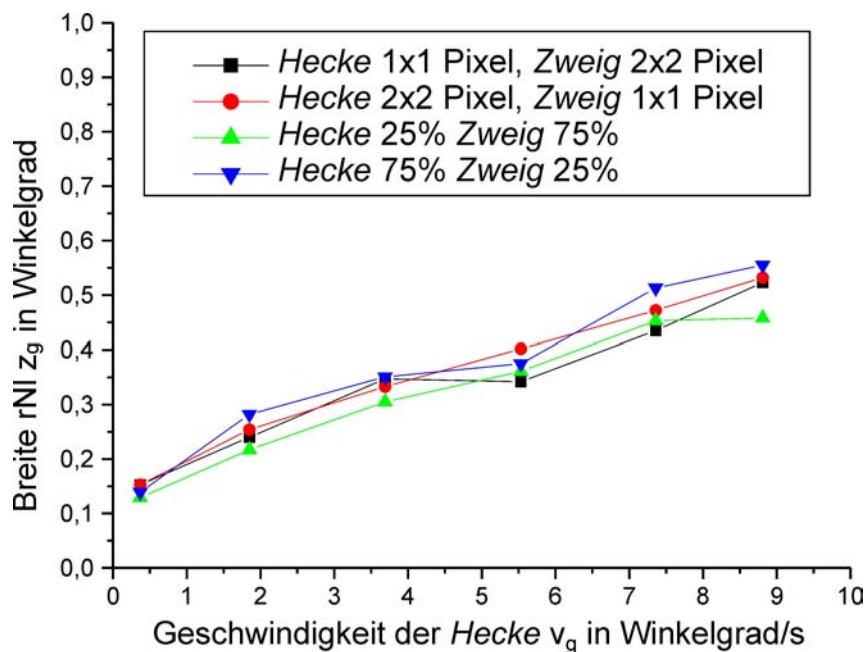


(Korrelationskoeffizient $\rho = 0,363$)

7. bis 10. Messreihe mit Markierungsmethode (M) ($v_p = 10, 50, 100, 150, 200, 240$ Pixel/s),
 7.: RF *Hecke*: 1x1 Pixel, RF *Zweig*: 2x2 Pixel
 8.: RF *Hecke*: 2x2 Pixel, RF *Zweig*: 1x1 Pixel
 9.: AP *Hecke*: 25:75, AP *Zweig*: 75:25
 10.: AP *Hecke*: 75:25, AP *Zweig*: 25:75.

Alle Messwerte der erfolgreichen Experimente 2-3 und 6-11 mit den Versuchspersonen E, F, I, J, K, L, M und N sind im Anhang unter 10.2.4. 7.-10. zusammen getragen.

Die Ergebnisse 7.-10., zusammen mit der oben ermittelten Mittelwertkurve M ergeben in einem Graphen zusammengefasst folgendes Bild:



Zu 7.-8. Raumfrequenz RF: Messwiederholungs-Varianzanalyse:

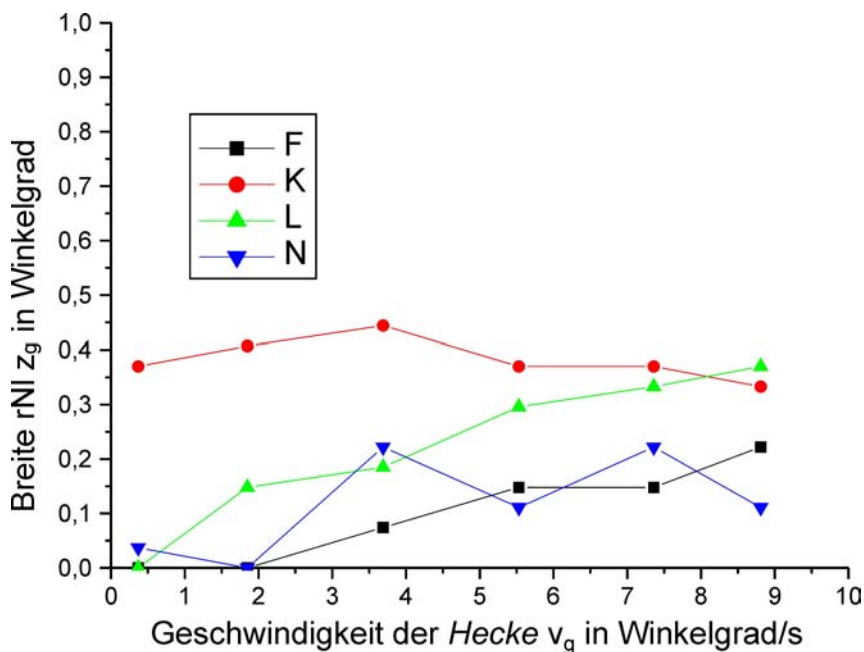
Haupteffekt v ($F(5,35)=11.77, p<.001$),
 kein signifikanter Haupteffekt RF ($F(1,7)=0.62, p=.46$)
 keine Interaktion ($F(5,35)=0.73, p=0.61$)

Zu 9.-10. Anzahl der Ankerpunkte AP: Messwiederholungs-Varianzanalyse:

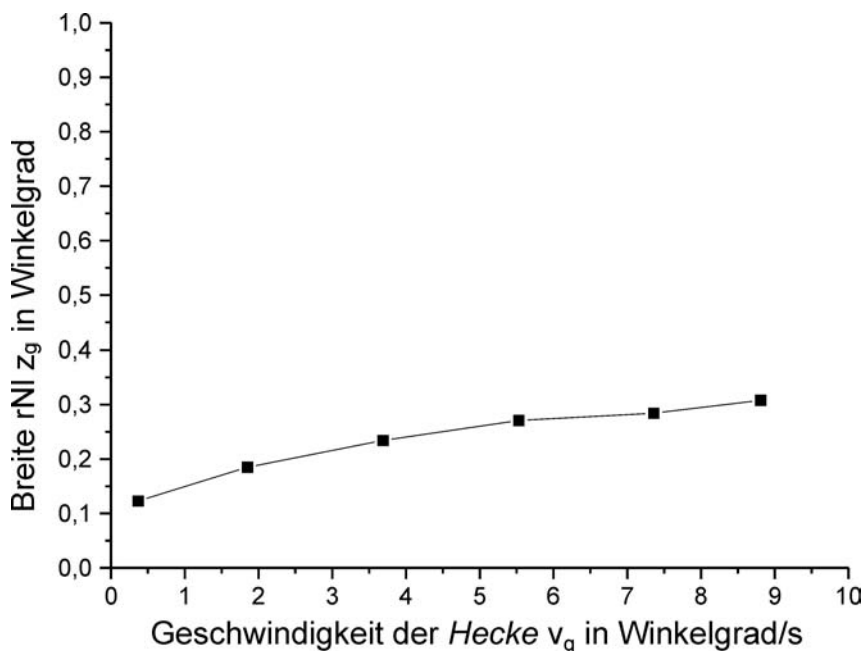
Haupteffekt v ($F(5,35)=7.00, p<.001$),
 kein signifikanter Haupteffekt AP ($F(1,7)=1.54, p=.26$)
 keine Interaktion ($F(5,35)=0.32, p=0.90$)

Somit: Kein signifikanter Effekt von RF und AP.

11. „Nullversuch“ mit dem *Zweig* vor der *Hecke* statt dahinter ($v_p = 10, 50, 100, 150, 200, 240$ Pixel/s):
 Nur vier der acht Versuchspersonen (F, K, L und N aus den Experimenten 3, 8, 9 und 11) konnten im Nullversuch vor der eigentlichen Messreihe einen DSI-ähnlichen Effekt wahrnehmen. All diese Ergebnisse sind klein. Sie sind in folgendem Diagramm zusammengetragen:



Mittelwertkurve:

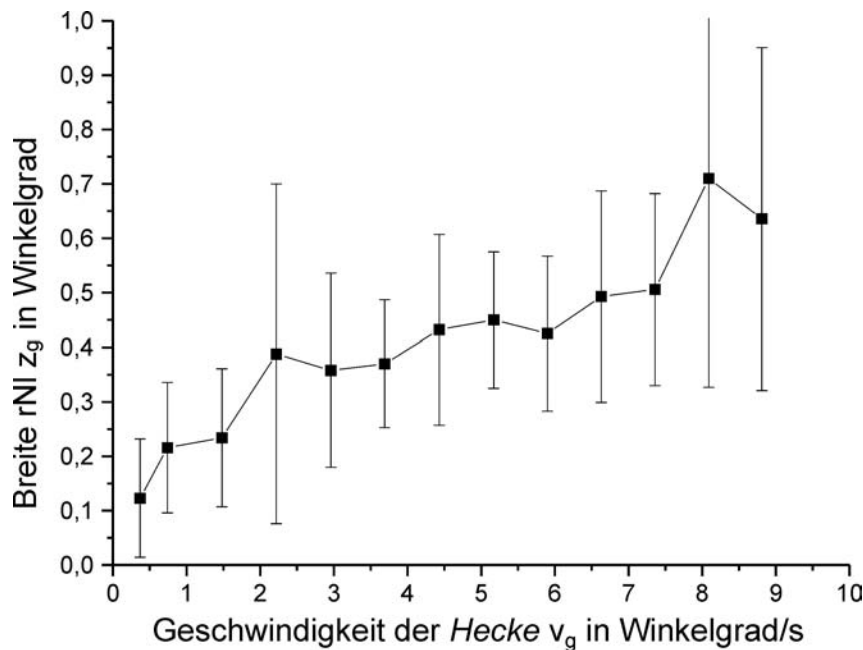


6.2.2.2 Zusammenfassung selektierter Versuchspersonen

Es ist immer problematisch, post hoc eine Selektion von einzelnen Versuchspersonen zu unternehmen, die Werte liefern, die mit denen der anderen nicht überein stimmen. Aus diesem Grund wurde die zusammenfassende Darstellung in 6.2.2.1 über alle Versuchspersonen unternommen, ohne die Ergebnisse der einzelnen Versuchspersonen zu beachten.

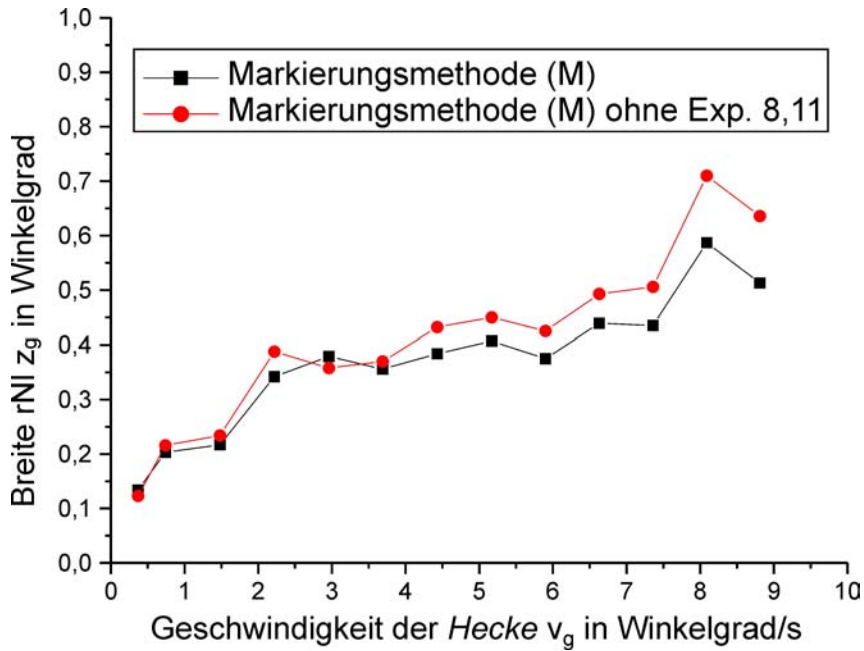
Sieht man sich jedoch die Ergebnisse an, so fällt auf, dass die Messwerte, die mit den Versuchspersonen K und N in den Experimenten 8 und 11 ermittelt wurden, deutlich von denen aus den übrigen Experimenten abweichen. (Zur weiteren Diskussion siehe 8.1). Betrachtet man selektiv nur die Ergebnisse der restlichen sechs Versuchspersonen, so ergeben sich leicht veränderte Graphen und Werte. Daher seien an dieser Stelle die relevanten Graphen (5.-10. Messreihe) der sechs übrigen Versuchspersonen E, F, I, J, L und M aus den Experimenten 2, 3, 6, 7, 9 und 10 (also ohne K und N aus 8 und 11) dargestellt:

5. Messreihe mit Markierungsmethode (M) ($v_p = 10, k \cdot 20$ Pixel/s, $k = 1, \dots, 12$): Die Mittelwertkurve über alle Messungen der erfolgreichen Experimente 2, 3, 6, 7, 9 und 10 mit den Versuchspersonen E, F, I, J, L und M (also ohne K und N aus 8 und 11) ist in der folgenden Grafik zusammengefasst:



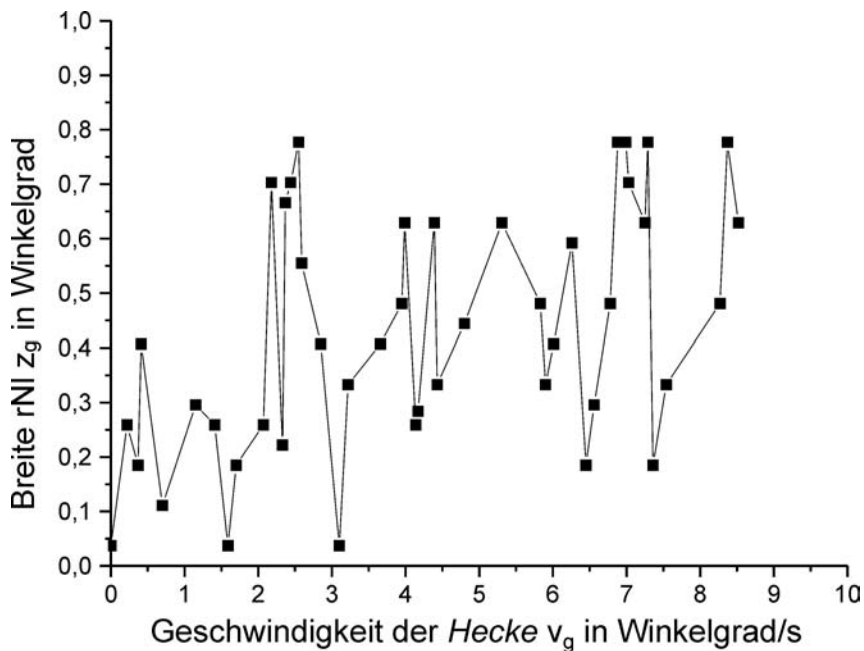
(Korrelationskoeffizient $\rho = 0,942$)

Der Unterschied zur Kurve unter 6.2.2.1 (5. Messreihe, Mittelwertkurve) wird klar, wenn man beide Graphen in ein Diagramm aufträgt:



6. Messreihe mit Abgleichmethode (VN):

Lässt man die Experimente 8 und 11 weg, so entsteht eine ähnliche Grafik wie in 6.2.2.1 (6. Messreihe). Alle Messungen der erfolgreichen Experimente 2, 3, 6, 7, 9 und 10 mit den Versuchspersonen E, F, I, J, L und M (also ohne K und N aus 8 und 11) sind also nun in der folgenden Grafik zusammengefasst:



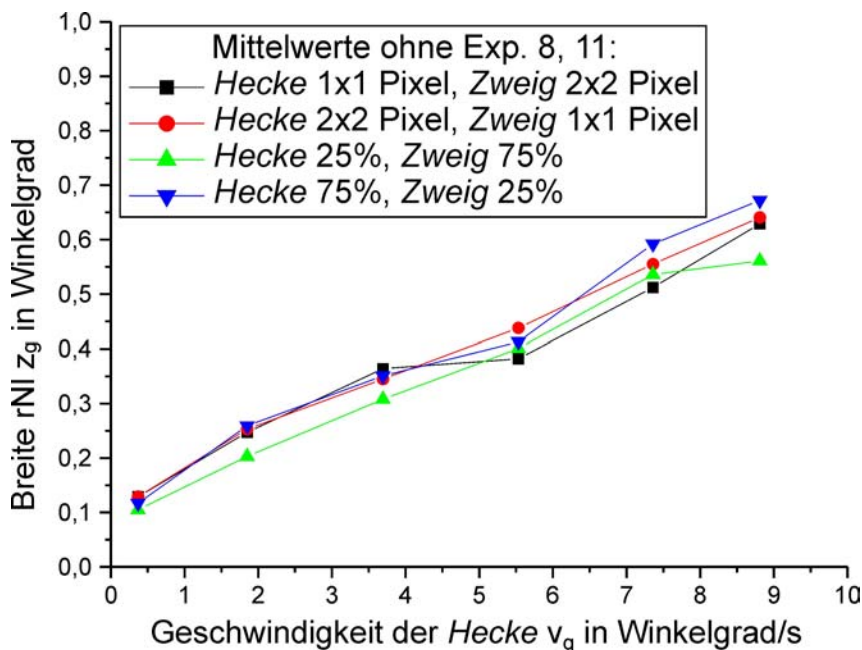
(Korrelationskoeffizient $\rho = 0,465$)

Der Unterschied zu der in 6.2.2.1 (6. Messreihe) angegebenen ähnlichen Kurve wird deutlich, wenn man die leicht veränderte Regressionsgerade einzeichnet (vgl. 6.2.2.3).

7. bis 10. Messreihe mit Markierungsmethode (M) ($v_p = 10, 50, 100, 150, 200, 240$ Pixel/s),
 7.: RF *Hecke*: 1x1 Pixel, RF *Zweig*: 2x2 Pixel
 8.: RF *Hecke*: 2x2 Pixel, RF *Zweig*: 1x1 Pixel
 9.: AP *Hecke*: 25:75, AP *Zweig*: 75:25
 10.: AP *Hecke*: 75:25, AP *Zweig*: 25:75

Alle Messwerte der erfolgreichen Experimente 2, 3, 6, 7, 9 und 10 mit den Versuchspersonen E, F, I, J, L und M (also ohne K und N aus 8 und 11) sind im Anhang unter 10.2.4. 7.-10. (jeweils in der Tabelle „ohne Exp. 8 und 11“) zusammen getragen.

Die Ergebnisse 7.-10., zusammen mit der oben ermittelten Mittelwertkurve M ergeben in einem Graphen zusammengefasst folgendes Bild:



Zu 7.-8. Raumfrequenz RF: Messwiederholungs-Varianzanalyse:

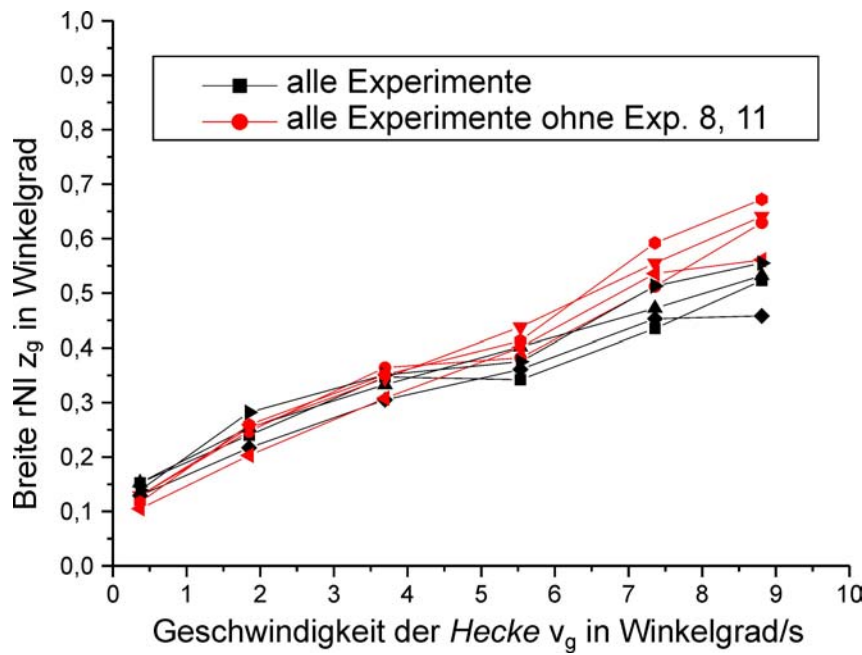
Haupteffekt v ($F(5,25)=36.29, p<.001$),
 kein signifikanter Haupteffekt RF ($F(1,5)=0.29, p=.61$)
 keine Interaktion ($F(5,25)=0.47, p=0.80$)

Zu 9.-10. Anzahl der Ankerpunkte AP: Messwiederholungs-Varianzanalyse:

Haupteffekt v ($F(5,25)=13.29, p<.001$),
 kein signifikanter Haupteffekt AP ($F(1,5)=0.83, p=.40$)
 keine Interaktion ($F(5,25)=0.23, p=0.95$)

Somit lag ebenfalls (wie in 6.2.2.1) kein signifikanter Effekt von der Parameter RF (Raumfrequenz) und AP (Anzahl der Ankerpunkte) vor.

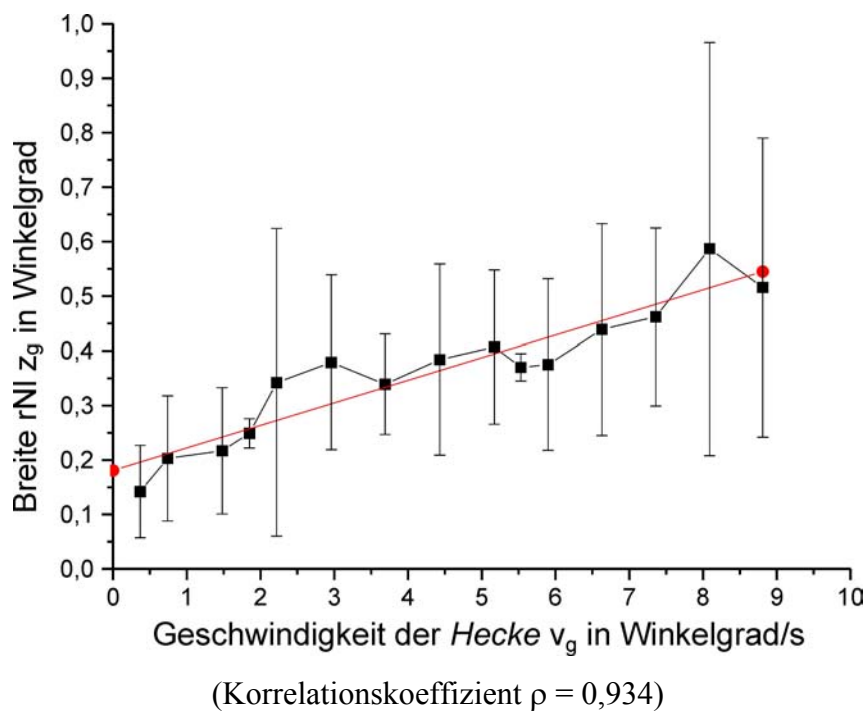
Der Unterschied zur Kurvenschar unter 6.2.2.1 (7.-10. Messreihe) wird klar, wenn man beide Kurvenscharen in einem gemeinsamen Diagramm aufträgt (schwarz: alle Experimente, rot: alle Experimente ohne Exp. 8 und 11):



6.2.2.3 Weitere Zusammenfassung aller relevanten Ergebnisse

Aufgrund der erhaltenen Ergebnisse macht es – ebenso wie in E1, vgl. 6.1.2, aus den gleichen Gründen – Sinn, die in E2 gewonnenen Messdaten weiter zusammen zu fassen – vgl. 6.2.4. Alle mit der Markierungsmethode (M) gewonnenen Messdaten – ohne die Nullversuche –, also die Messreihen 5 und 7-10 sind (inkl. Standardabweichung) im Anhang unter 10.2.5. tabellarisch zusammengefasst dargestellt.

Diese Zusammenfassung ergibt folgenden Mittelwert-Graphen für alle Experimente 2-3 und 6-11 mit der Markierungsmethode (M) – Messreihen 5 und 7-10 – der Experimentalserie E2, inkl. Regressionsgerade:



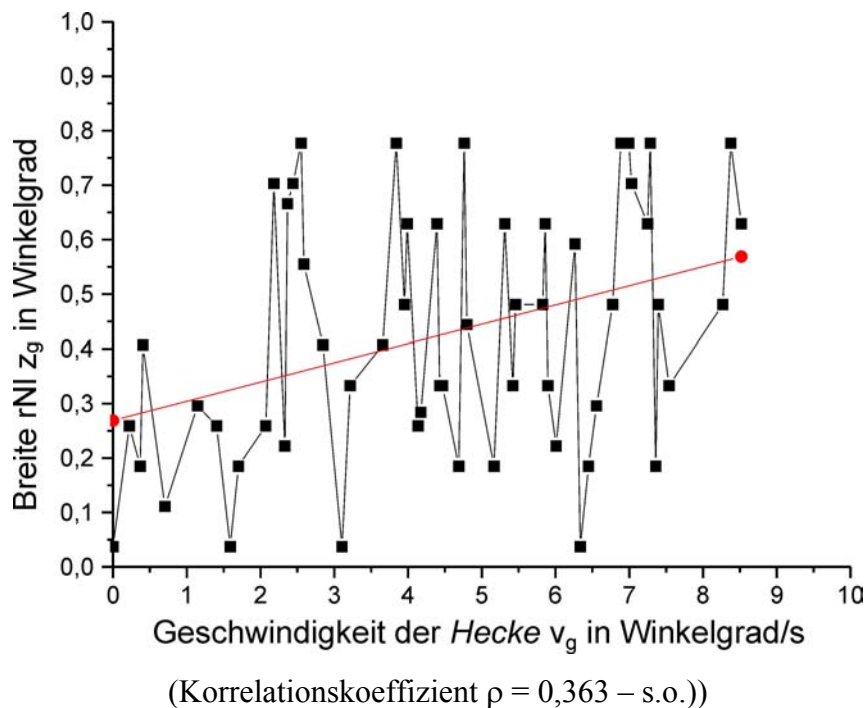
Nach Bortz (1993) erhält man für die Regressionsgerade mit $n =$ Anzahl der Messwerte, $x_i =$ eingestellte Werte der unabhängigen Variable v und $y_i =$ gemessene Werte für die abhängige Variable z ($i = 1, \dots, n$):

$$z(v) = k \cdot v + l,$$

$$\text{wobei } k = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \cdot \sum_{i=1}^n y_i}{n \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} = \mathbf{41 \text{ ms}}$$

$$\text{und } l = \frac{\sum_{i=1}^n x_i^2 \cdot \sum_{i=1}^n y_i - \sum_{i=1}^n x_i y_i \cdot \sum_{i=1}^n x_i}{n \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} = \mathbf{0,181^\circ}$$

Der Mittelwert-Graph für alle Experimente mit der Abgleichmethode (VN) der Experimentalserie E2 ist bereits oben dargestellt – vgl. 6.2.2 Punkt 6. Hier der Graph mit Regressionsgerade:



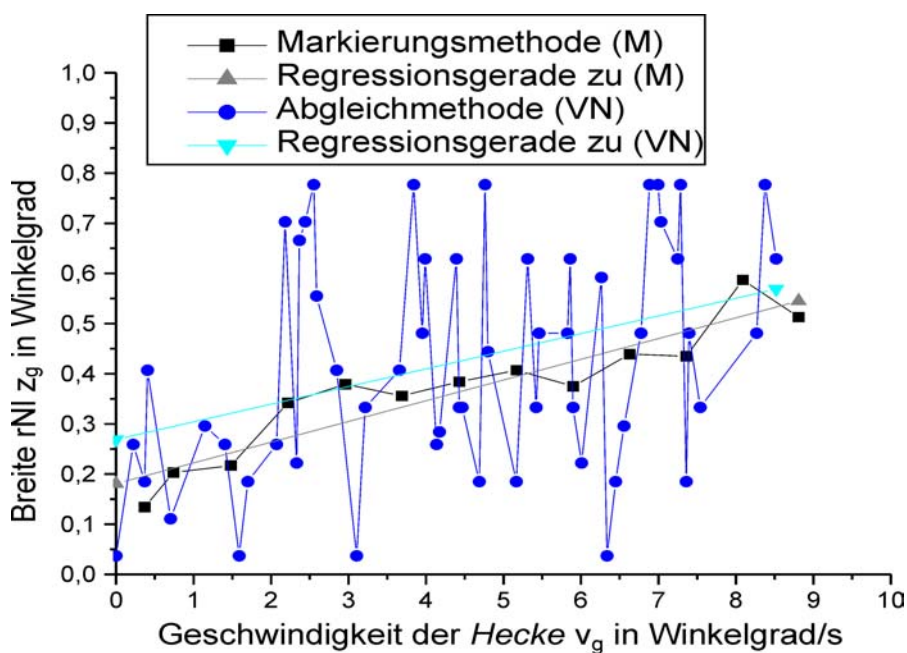
Nach Bortz (1993) erhält man für die Regressionsgerade mit $n =$ Anzahl der Messwerte, $x_i =$ gemessene Werte der abhängigen Variable v und $y_i =$ aus d resultierende Werte für die unabhängige Variable z ($i = 1, \dots, n$):

$$z(v) = k \cdot v + l,$$

$$\text{wobei } k = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \cdot \sum_{i=1}^n y_i}{n \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} = 35 \text{ ms}$$

$$\text{und } l = \frac{\sum_{i=1}^n x_i^2 \cdot \sum_{i=1}^n y_i - \sum_{i=1}^n x_i y_i \cdot \sum_{i=1}^n x_i}{n \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} = 0,268^\circ$$

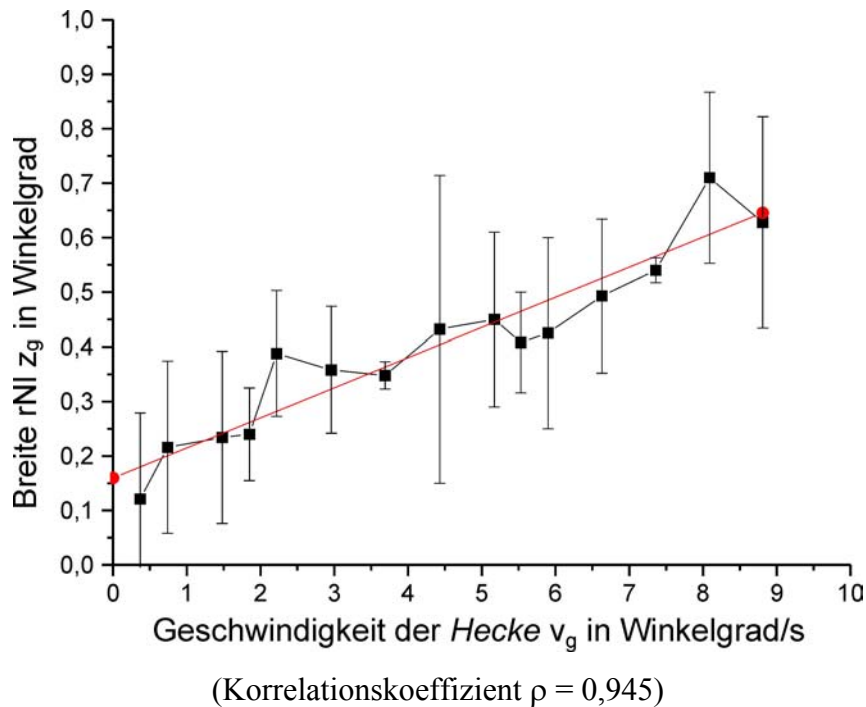
In der folgenden Grafik sind die beiden letzten Graphen zusammen gefasst:



6.2.2.4 Weitere Zusammenfassung und Selektion von Versuchspersonen

Selektiert man erneut – wie unter 6.2.2.2 begründet– und betrachtet man nur die Experimente 2,3,6,7,9 und 10 – also ohne Experiment 8 und 11 –, so ergeben sich folgende zu 6.2.2.3 analoge Werte und Graphen:

Mittelwert-Graph für die Experimente 2,3,6,7,9 und 10 – also ohne Experiment 8 und 11 – mit der Markierungsmethode (M) – Messreihen 5 und 7-10 – der Experimentalserie E2, inkl. Regressionsgerade:



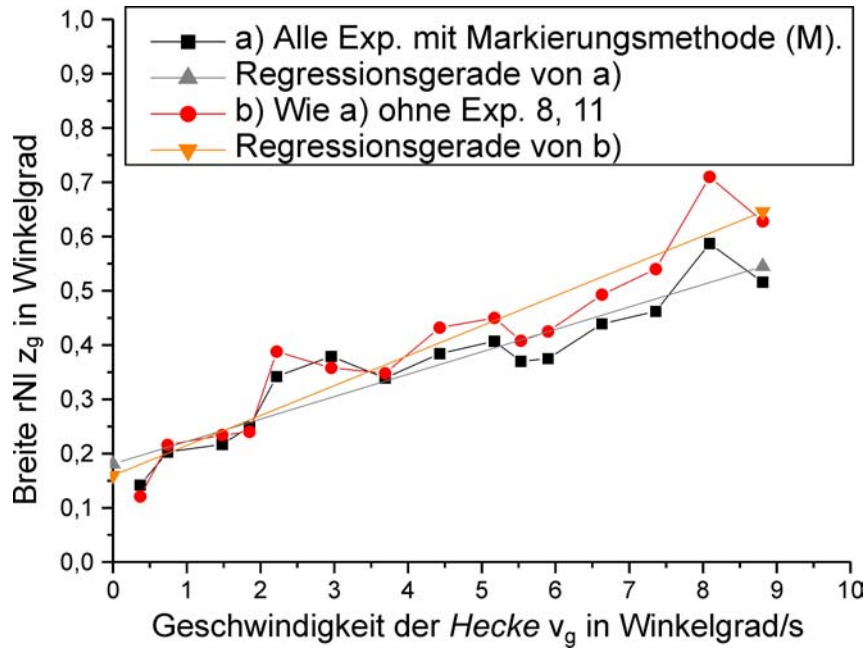
Nach Bortz (1993) erhält man für die Regressionsgerade mit $n =$ Anzahl der Messwerte, $x_i =$ eingestellte Werte der unabhängigen Variable v und $y_i =$ gemessene Werte für die abhängige Variable z ($i = 1, \dots, n$):

$$z(v) = k \cdot v + l,$$

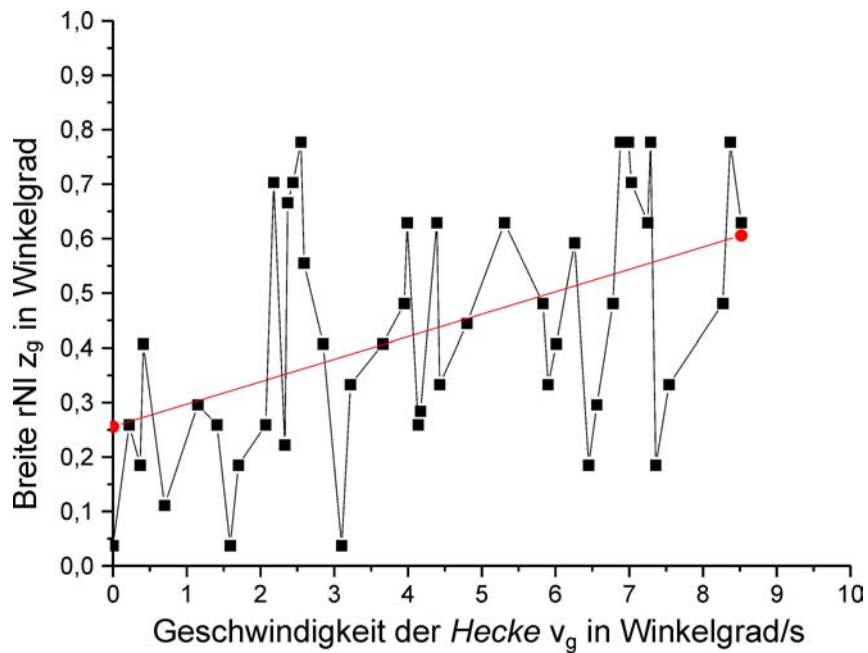
$$\text{wobei } k = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \cdot \sum_{i=1}^n y_i}{n \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} = \mathbf{55 \text{ ms}}$$

$$\text{und } l = \frac{\sum_{i=1}^n x_i^2 \cdot \sum_{i=1}^n y_i - \sum_{i=1}^n x_i y_i \cdot \sum_{i=1}^n x_i}{n \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} = \mathbf{0,160^\circ}$$

Ein Vergleich dieser Kurve mit der aus 6.2.2.3 ergibt sich, wenn man beide in ein Diagramm einträgt:



Der Mittelwert-Graph für die Experimente 2,3,6,7,9 und 10 (also ohne 8 und 11) mit der Abgleichmethode (VN) der Experimentalserie E2 mit Regressionsgerade ergibt sich wie folgt:



(Korrelationskoeffizient $\rho = 0,465 - s.o.$)

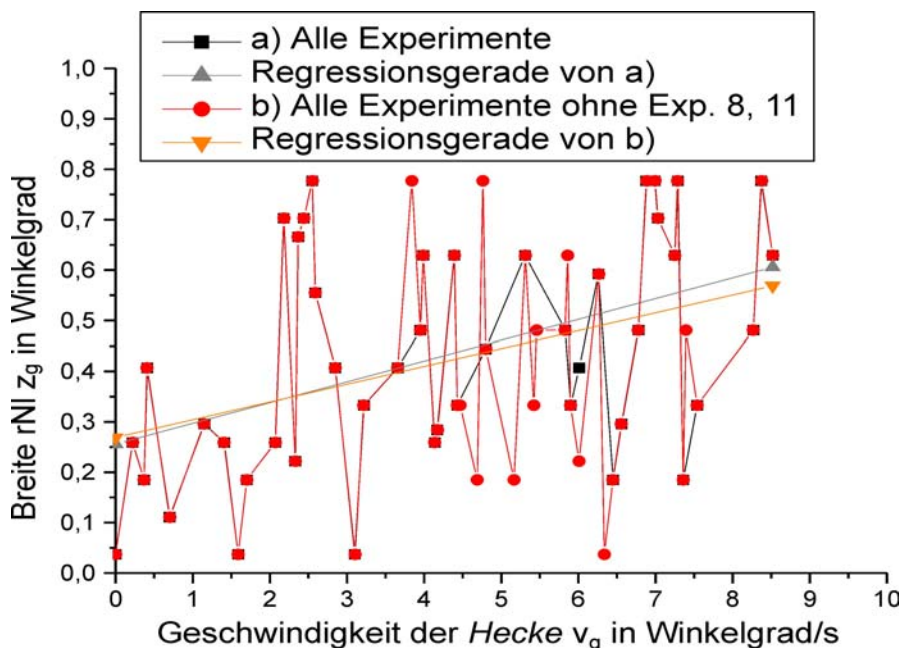
Nach Bortz (1993) erhält man für die Regressionsgerade mit $n =$ Anzahl der Messwerte, $x_i =$ gemessene Werte der abhängigen Variable v und $y_i =$ aus d resultierende Werte für die unabhängige Variable z ($i = 1, \dots, n$):

$$z(v) = k \cdot v + l,$$

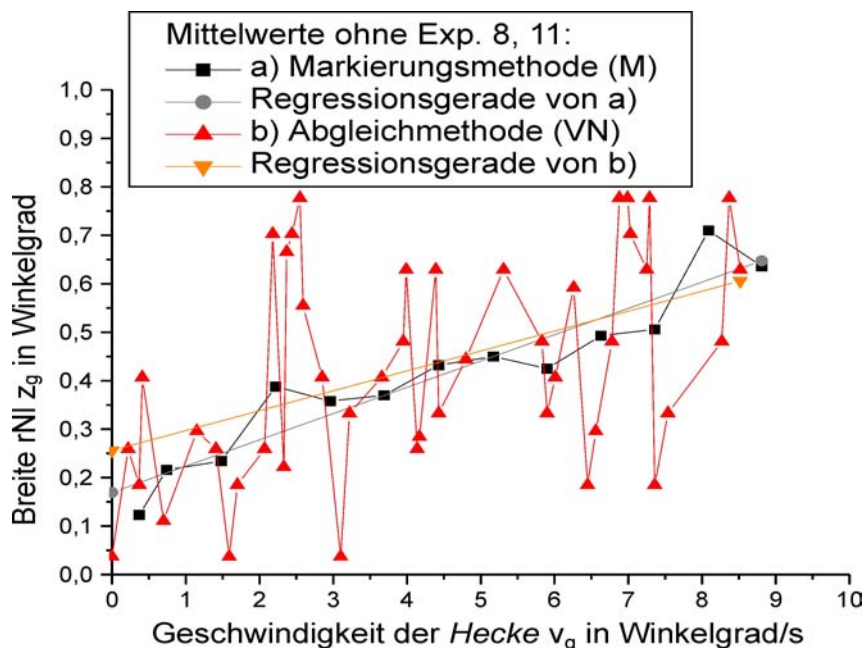
$$\text{wobei } k = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \cdot \sum_{i=1}^n y_i}{n \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} = 41 \text{ ms}$$

$$\text{und } l = \frac{\sum_{i=1}^n x_i^2 \cdot \sum_{i=1}^n y_i - \sum_{i=1}^n x_i y_i \cdot \sum_{i=1}^n x_i}{n \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} = 0,256^\circ$$

Ein Vergleich dieser Kurve mit der aus 6.2.2.3 ergibt sich, wenn man beide in ein Diagramm einträgt:



In der folgenden Grafik sind – analog wie in 6.2.2.3 die beiden Graphen für Markierungsmethode (M) und für Abgleichmethode (VN) in einem Diagramm zusammen gefasst:



6.2.2.5 Tabellarische Zusammenfassung der Ergebnisse von E2

Die relevanten Ergebnisse der Experimentalserie E2, also vor allem die Werte k für die als 3D-Ermittlungszeit interpretierte Steigung der Regressionsgeraden (zusammen mit deren Ordinatenabschnitten l) sind in der folgenden Tabelle zusammen gefasst:

Exp.	Vp.	Markierungsmethode (M) (Standard)		Abgleichmethode(VN)		Markierungsmethode (M) H:1x1 Pixel, Z:2x2 Pixel		Markierungsmethode (M) H:2x2 Pixel, Z:1x1 Pixel		Markierungsmethode (M) H:25%,Z:75%		Markierungsmethode (M) H:75%,Z:25%	
		k in [ms]	l in [°]	k in [ms]	l in [°]	k in [ms]	l in [°]	k in [ms]	l in [°]	k in [ms]	l in [°]	k in [ms]	l in [°]
2	E	19	0,531	141	0,168	60	0,116	82	0,164	59	0,124	142	-0,030
3	F	58	0,015	134	-0,344	77	-0,079	78	-0,071	93	-0,094	99	-0,060
6	I	42	0,225	93	0,002	46	0,232	61	0,139	47	0,137	66	0,187
7	J	104	0,046	121	0,102	54	0,157	49	0,223	59	0,146	39	0,094
8	K	11	0,269	-54	0,724	-6	0,352	0	0,350	-11	0,404	-3	0,446
9	L	38	0,112	234	-1,365	48	0,175	40	0,135	40	0,111	42	0,107
10	M	38	0,209	87	-0,059	40	0,159	41	0,153	37	0,150	-9	0,362
11	N	0	0,172	-96	0,919	-2	0,138	-7	0,181	-5	0,122	-8	0,153
Gesamt	E,F,I,J, K,L,M,N	41	0,186	35	0,269	40	0,156	43	0,159	40	0,138	46	0,157
Gesamt ohne 8, 11	E,F,I, J,L,M	54	0,170	41	0,256	54	0,127	59	0,124	56	0,096	63	0,110

(Tabelle 1)

Fasst man – wie in 6.2.2.3 und 6.2.2.4 beschrieben – alle Ergebnisse der mit Markierungsmethode (M) durchgeführten Experimente zusammen, so ergeben sich die folgenden Werte:

Exp.	Vp.	k in [ms]	l in [°]
Gesamt	E,F,I,J, K,L,M,N	41	0,181
Gesamt ohne 8, 11	E,F,I, J,L,M	55	0,160

(Tabelle 2)

Als Ergebnis von E2 lässt sich somit folgendes festhalten:

1. In den Experimenten wurden **durchschnittliche 3D-Ermittlungszeiten zwischen 35 und 63 ms** gemessen.
2. Ignoriert man die schwer interpretierbaren Ergebnisse der Versuchspersonen K und N aus den Experimenten 8 und 11, so ergeben sich aus den mit Markierungsmethode (M) durchgeführten Experimenten **durchschnittliche 3D-Ermittlungszeiten zwischen 54 und 63 ms, im Mittel: 57 ms**.
3. Ignoriert man die schwer interpretierbaren Ergebnisse der Versuchspersonen K und N aus den Experimenten 8 und 11, und lässt man die extremen Randwerte (19ms bei Exp. 2 und 142 ms bei Exp. 2) unbeachtet, so liefern die mit Markierungsmethode (M) durchgeführten Experimente **3D-Ermittlungszeiten, die interindividuell zwischen 37 und 99 ms variieren**.

Zur Diskussion der hier zusammen gestellten Daten sei auf Kapitel 8.1 verwiesen.

6.2.3 Lerneffekte

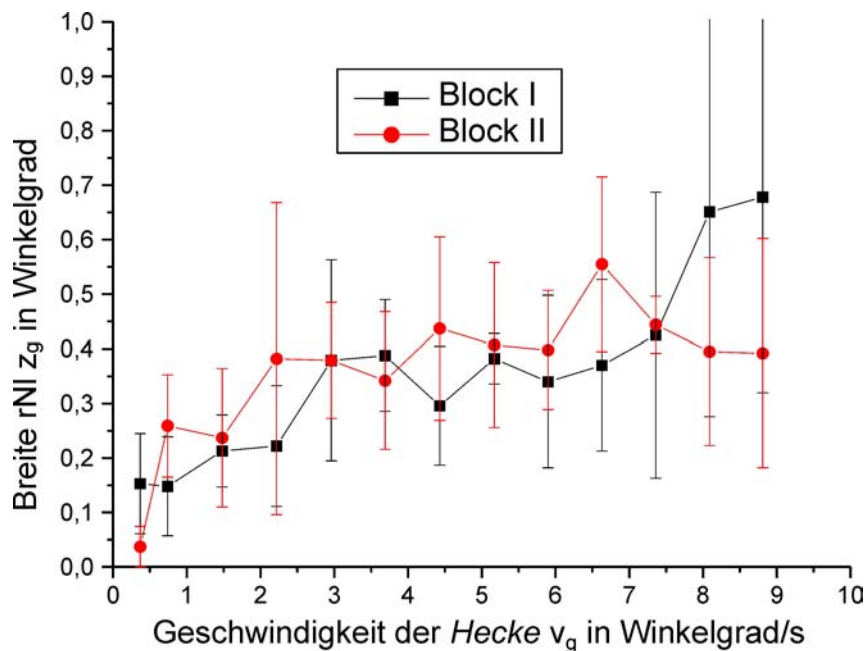
Die Reihenfolge der UV-Stufen für v wurde randomisiert dargeboten – vgl. 5.3.2.1 – und entsprechend der durchgeführten Reihenfolge nummeriert. Zur Untersuchung von Lerneffekten wurden die dreizehn Versuche der 5. Messreihe mit Markierungsmethode (M) in zwei Blöcke aufgeteilt, die nach den laufenden Nummern geordnet waren: Block I bestand aus Messung Nr. 1-7, Block II bestand aus Messung Nr. 7-13 (Messung Nr. 7 wurde sowohl zu Block I als auch zu Block II hinzugezählt, um die Blöcke gleich groß zu erhalten).

Folgende beiden Tabellen zeigen die Messwerte nach dieser Vorschrift sortiert und zusammen gefasst:

Block I	Exp.02	Exp.03	Exp.06	Exp.07	Exp.08	Exp.09	Exp.10	Exp.11	Mittelwert	Stdabw	Stdabw
v_g	Z_g	Z_g	Z_g	Z_g	Z_g	Z_g	Z_g	Z_g	Z_g		
[°/s]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]	[%]
0,37	0,259		0,222	0,111	0,259	0,148	0,000	0,074	0,153	0,092	59,7
0,74	0,148	0,074	0,296					0,074	0,148	0,091	61,2
1,48			0,296		0,222		0,222	0,111	0,213	0,066	31,0
2,22			0,333					0,111	0,222	0,111	50,0
2,96	0,666	0,185	0,407				0,259		0,379	0,184	48,5
3,69	0,555	0,296		0,296	0,407	0,296	0,481		0,388	0,102	26,2
4,43		0,185	0,444			0,259			0,296	0,109	36,8
5,17		0,333			0,370		0,444		0,382	0,046	12,1
5,90	0,629	0,296		0,333		0,296		0,148	0,340	0,158	46,3
6,63				0,666	0,333	0,370	0,259	0,222	0,370	0,157	42,4
7,36	0,851			0,407	0,296			0,148	0,425	0,262	61,6
8,09		0,481	0,666	1,369	0,333	0,407			0,651	0,375	57,7
8,81				1,184		0,444	0,407		0,678	0,358	52,8
									mittlere Stdabw:	0,162	45,1

Block II	Exp.02	Exp.03	Exp.06	Exp.07	Exp.08	Exp.09	Exp.10	Exp.11	Mittelwert	Stdabw	Stdabw
v_g	Z_g	Z_g	Z_g	Z_g	Z_g	Z_g	Z_g	Z_g	Z_g		
[°/s]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]	[%]
0,37		0,000						0,074	0,037	0,037	100,0
0,74				0,370	0,259	0,111	0,296		0,259	0,094	36,4
1,48	0,444	0,074	0,296	0,222		0,148			0,237	0,127	53,8
2,22	0,999	0,222		0,185	0,296	0,185	0,407		0,382	0,286	74,9
2,96				0,407	0,370	0,222		0,518	0,379	0,106	27,9
3,69	0,555		0,296	0,296				0,222	0,342	0,126	37,0
4,43	0,629			0,555	0,296		0,518	0,185	0,437	0,168	38,4
5,17	0,666	0,333	0,370	0,518		0,370		0,185	0,407	0,151	37,1
5,90			0,444		0,296	0,296	0,555		0,398	0,109	27,4
6,63	0,777	0,407	0,481						0,555	0,160	28,8
7,36		0,444	0,518			0,370	0,444		0,444	0,052	11,8
8,09					0,333		0,629	0,222	0,395	0,172	43,5
8,81		0,555	0,592		0,407		0,407	0,000	0,392	0,210	53,6
									mittlere Stdabw:	0,138	43,9

Die dazu gehörige Grafik:



Eine Messwiederholungs-Varianzanalyse nur zum Faktor „Block I vs. Block II“ ergibt keinen signifikanten Haupteffekt „Block I vs. Block II“ ($F(1,7)=0.11$, $p=0,75$).

6.2.4 Besprechung der Ergebnisse von E2

Zunächst zu den einzelnen Messreihen:

1. Testlauf: Nimmt die Versuchsperson den DSI-Effekt wahr?

Acht der elf Versuchspersonen nahmen den DSI-Effekt nach einer kurzen Eingewöhnungszeit (< 5 Minuten) wahr. Die übrigen drei Versuchspersonen (D, G und H aus den Experimenten 1, 4 und 5) waren auch nach 15 Minuten und mehreren Versuchen nicht in der Lage, den Effekt wahrzunehmen – sie gaben stattdessen übereinstimmend an, einen etwa ein bis zwei Pixel breiten „verschwommenen Bereich“ an der Stelle wahrzunehmen, wo die DSI-Lücke zu erwarten ist. Dieser Bereich wurde von den Versuchspersonen übereinstimmend als geschwindigkeitsunabhängig beschrieben und hat vermutlich nichts mit der DSI zu tun. Da dieser Bereich unabhängig von der gewählten Geschwindigkeit immer in etwa gleich groß wahrgenommen wurde, kann er nicht als „Verrechnungszeit“ bzw. 3D-Ermittlungszeit interpretiert werden. Vielmehr scheint es sich um ein Artefakt zu handeln, möglicherweise verstärkt durch die Erwartung der Versuchspersonen, irgend etwas wahrnehmen zu „müssen“. Die Messungen mit diesen drei Vpn. wurden abgebrochen, diese Experimente gehen in den Datenpool nicht ein. Der verwendete Datenpool besteht somit aus den Versuchspersonen E, F, I, J, K, L, M, N, getestet mit den Experimenten 2-3 und 6-11.

2. Testlauf mit Verdunkelungsbrille ($d = 10$ Pixel, $v = 60$ Pixel/s = $2,2$ °/s)

Die Ergebnisse, dargestellt in 6.2.2, Punkt 2., ergeben kein einheitliches Bild. Insbesondere konnte die Hypothese $H_0(L)$ (vgl. 4.3) unter diesen Bedingungen nicht bestätigt werden. Dies führt der Autor darauf zurück, dass der Verdunkelungsfaktor der benutzten

Verdunkelungsbrille zu gering war, um einen klaren Effekt auf die Beobachtungen zu erzielen. In der Tat liegt beim normalen Pulfrich-Pendelexperiment die zeitliche Verzögerung beim abgedunkelten Auge im Bereich weniger Millisekunden (von Campenhausen, 1993, S.215-217) – eine Zeit, die angesichts der Streuung der ermittelten rNI-Werte sich praktisch kaum auf den DSI-Effekt auswirken sollte. Schuchardt (2003) gelang der Nachweis, dass beim skotopischen Sehen die DSI-Lücke auf mehr als die doppelte Breite anwächst. Eine extreme Abdunkelung schlägt sich also, wie in der Hypothese $H_0(L)$ postuliert, in einer deutlichen Verlängerung der 3D-Ermittlungszeit nieder. Die hier gesammelten Werte dienen als unsystematischer Vorversuch für die dortige Untersuchung.

3. Testlauf „Einschätzung der tNI“:

Die oft großen Abweichungen an den einzelnen Messpunkten dieses Testlaufes zeigen, dass es für die Versuchspersonen keineswegs immer leicht ist, die tatsächliche Breite der tNI zu erkennen und mit der angegebenen Methode per Marke abzugleichen. Oftmals war dies den Versuchspersonen gar nicht bewusst, und sie gaben an, die Breite subjektiv richtig eingestellt zu haben. Tendenziell werden kleine tNI bis zur Breite von 13 Pixel eher überschätzt und größere tNI ab 15 Pixel eher unterschätzt. Dieses Ergebnis ist wichtig für die Beurteilung der durch die Abgleichmethode (VN) gewonnenen Ergebnisse und erklärt zu einem großen Teil die dort auftretenden hohen Streuungen, die die mit Abgleichmethode (VN) erfassten Werte aufweisen (mehr dazu in den Diskussionen 6.3.2 und 8.1).

4. und 11. „Nullversuche“ vor und nach den Messungen:

Theoretisch ist nach der in dieser Arbeit angebotenen Erklärung für die DSI (vgl. 4.2) kein Effekt zu erwarten, wenn sich der *Zweig* vor der *Hecke* befindet, da sich an deren Tiefenposition nichts ändert. Diese Situation liegt den Nullversuchen zugrunde.

Bei beiden Nullversuchen (4. vor und 11. nach den Messungen) ergibt sich bei den meisten Versuchspersonen, die im jeweiligen Nullversuch von Null verschiedene Daten lieferten, eine nahezu waagerechte Gerade im v-z-Diagramm, die im Durchschnitt unterhalb von 1 Grad liegt. Da die Messungen geschwindigkeitsunabhängig sind (waagerechte Gerade im v-z-Diagramm), verbietet sich eine Interpretation dieser Werte als Verrechnungs- bzw. 3D-Ermittlungszeit (vgl. 1. Testreihe).

Zwei der acht Versuchspersonen aus dem Datenpool (J und M aus den Experimenten 7 und 10) gaben an, weder bei dem Nullversuch vor noch nach den Messungen 5.-10. eine DSI-Lücke zu erkennen. Eine Versuchsperson (K aus Experiment 8) konnte in beiden Fällen von Null verschiedene Messwerte liefern. Beide Messkurven liegen bei dieser Versuchsperson in vergleichbarer Höhe wie die übrigen Messergebnisse und verlaufen parallel zur Abszisse. (Zur weiteren Diskussion vgl. 8.1).

Zwei der Versuchspersonen (E und I aus Experiment 2 bzw. 6) lieferten von Null verschiedene Daten nur im Nullversuch vor den Messungen. Die übrigen drei Versuchspersonen (F, L und N aus den Experimenten 3, 9 und 11) lieferten nur im Nullversuch nach den Messungen von Null verschiedene Werte, wobei Versuchspersonen F und L aus den Experimenten 3 und 9 jeweils einen steigenden Kurvenverlauf im v-z-Diagramm zeigten, die Versuchsperson N aus Experiment 11 dagegen ein nahezu abszissenparallel verlaufenden Graphen liefert – in der gleichen Größenordnung wie die Ergebnisse der Messreihen 5 und 7-10 mit Markierungsmethode (M). (Weiteres zu den Versuchspersonen K und N siehe Diskussion in 8.1).

Einige Versuchspersonen, die von Null verschiedene Daten in den Nullversuchen lieferten, gaben an, dass sie unter dieser Bedingung den DSI-Effekt nur sehr undeutlich und rudimentär wahrnehmen. Dies zeigt, dass die DSI sich bei der Anordnung, in der sich der *Zweig* hinter der *Hecke* befindet, ganz offenbar von einem vagen Zusatzeffekt unterscheidet, der möglicherweise entweder durch die Erwartung des Effekts (Nullversuch vor den

Messungen) oder durch Gewöhnung an den zuvor beobachteten (Nullversuch *nach* den Messungen) zustande kommt (was ebenfalls als Erwartungshaltung interpretiert werden könnte – weiteres dazu siehe 8.1).

5. Messreihe mit Markierungsmethode (M):

Die in dieser Messreihe gewonnenen Daten sind das Kernstück der Experimentalserie E1. Sie können mit denen aus den Messreihen 7.-10. zusammen interpretiert werden, wie man am Graph sieht und der Varianzanalyse entnehmen kann. Der Verlauf der Messwerte im v-z-Diagramm ist deutlich ansteigend und bestätigt so erneut diesen Teil der Hypothese H1. Eine Interpretation der Daten als 3D-Ermittlungszeit – im Sinne von H1 – ist somit möglich und naheliegend.

Zur weiteren Diskussion, insbesondere zur Angabe von 3D-Ermittlungszeiten sei auf 6.3.2 verwiesen, wo eine breitere Datenbasis (unter Hinzuziehung der Messreihen 7.-10.) herangezogen wird.

6. Messreihe mit Abgleichmethode (VN):

Wie bereits der 3. Testlauf zeigt (siehe dortige Diskussion), weisen die mit Abgleichmethode (VN) gewonnenen Messwerte große Streuungen auf (vgl. auch die deutlich niedrigeren Werte für die Korrelationskoeffizienten ρ). Die individuellen Messwerte der einzelnen Versuchspersonen sind kaum einzeln interpretierbar. Interessanterweise zeigt die Zusammenfassung der Daten aller Experimente mit Abgleichmethode (VN) allerdings einen zwar stark streuenden (Korrelationskoeffizient $\rho = 0,363$ bzw. $\rho = 0,465$ ohne K und N), aber deutlich ansteigenden Verlauf.

7. und 8.: Messreihe mit Markierungsmethode (M) (Raumfrequenz) sowie

9. und 10.: Messreihe mit Markierungsmethode (M) (Anzahl der Ankerpunkte):

Sehr deutlich erkennt man am Verlauf der Datenpunkte im v-z-Diagramm, dass die Messwerte der Messreihen 7.-10. zusammen fasst, dass die Variation der Parameter „Raumfrequenz“ und „Anzahl der Ankerpunkte“ keinerlei Einfluss auf die abhängige Variable z ausübt. Dies ist auch das Ergebnis der Varianzanalyse (s. 6.2.2.1, 7-10). Die Verläufe der Graphen sind im Rahmen der Messgenauigkeit nahezu identisch.

Aus diesem Grund können die so ermittelten Messwerte mit denen der 5. Messreihe zusammen gefasst werden (Ab 6.3 wird so verfahren).

11. „Nullversuch“: siehe Punkt 4.

Zu möglichen individuellen Lerneffekten:

Da es sich bei der DSI um eine schwer zu erfassende Größe handelt, liegt die Vermutung nahe, dass sich im Laufe eines Experiments die Wahrnehmungsleistung der Versuchspersonen verändert. Um zu verhindern, dass sich dieser systematische Effekt auf die Messdaten auswirkt, wurden die Daten randomisiert dargeboten. Untersucht man nun die Daten nach der Reihenfolge ihrer Erhebung, so kann man ex post durch den Vergleich des Verlaufs der Graphen erkennen, ob Lerneffekte im Spiel waren oder nicht.

Vergleicht man die gemittelten Messdaten, die in den ersten sieben Einzelmessungen Nr. 1 bis Nr. 7 (Block I) erfasst wurden mit denen aus Block II (Einzelmessungen Nr. 7 bis 13), so zeigen die Verläufe der beiden Graphen allerdings keine signifikanten Unterschiede (vgl. Varianzanalyse). Auch die Streuungen der Datenblöcke (Messung 1-7 vs. Messung 7-13) weisen

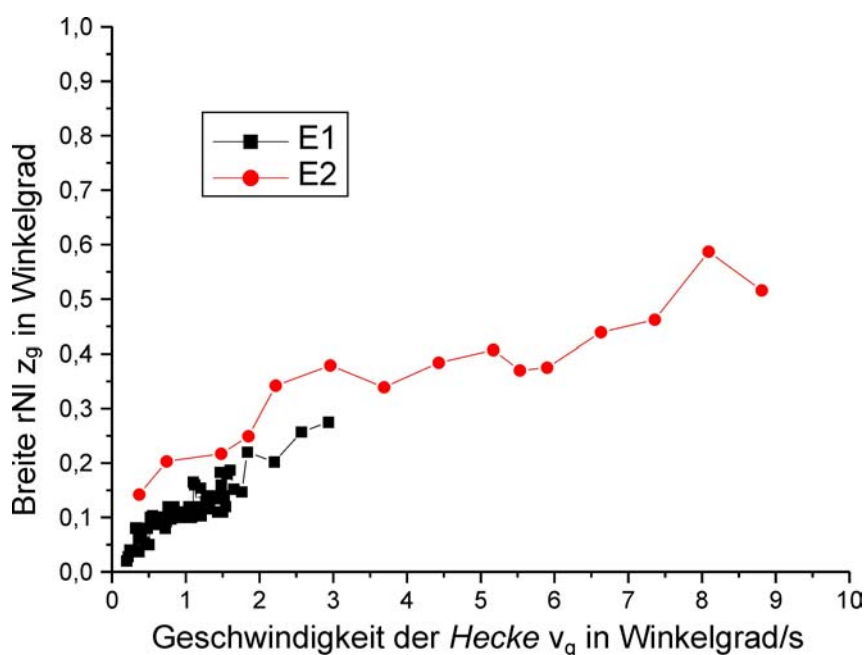
keinen signifikanten Unterschied auf, der auf eine Veränderung der Einzelstreuung zurückzuführen wäre. Somit waren – entgegen der oben angedeuteten Erwartung – keine Lerneffekte feststellbar.

Zur Diskussion der in 6.2.2.2 und 6.2.2.4 dargestellten Selektion von Versuchspersonen sei auf Kapitel 8.1 verwiesen. Im folgenden Kapitel 6.3 werden die unselektierten Daten verwendet – analog sind die folgenden Darstellungen in 6.3 jedoch auch mit den entsprechenden (ähnlichen) Graphen aus 6.2.2.2 und 6.2.2.4 möglich.

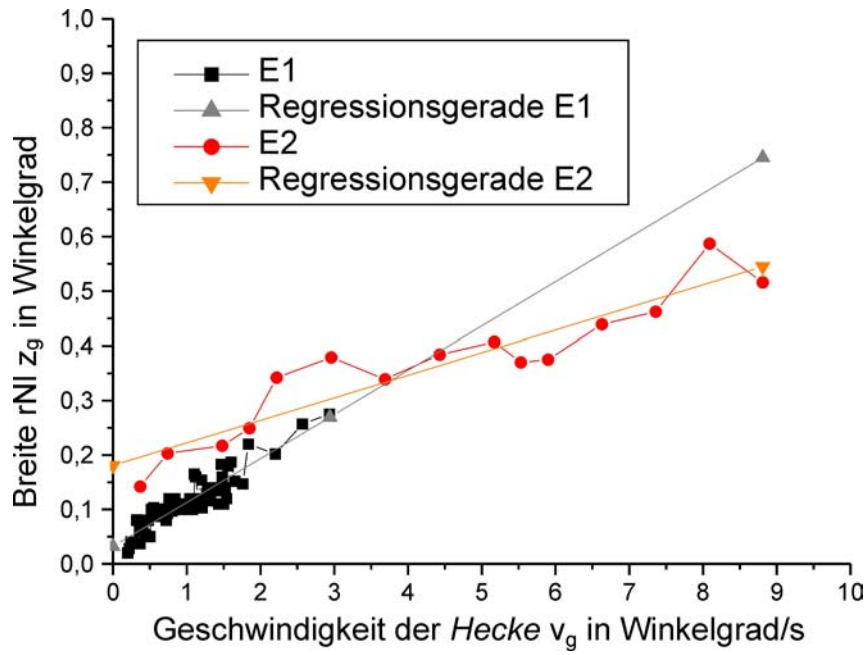
6.3 Zusammenfassung der Ergebnisse von E1 und E2

6.3.1 Grafische Darstellung der experimentell erzielten Resultate

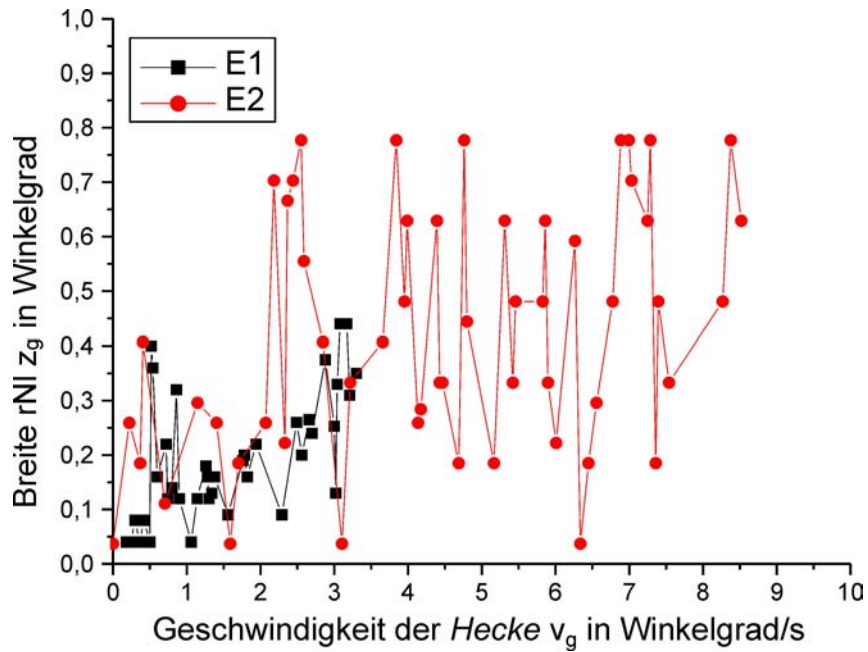
Die in E1 und E2 mit der Markierungsmethode (M) gewonnenen Mittelwertergebnisse sind in folgender Abbildung zusammen dargestellt:



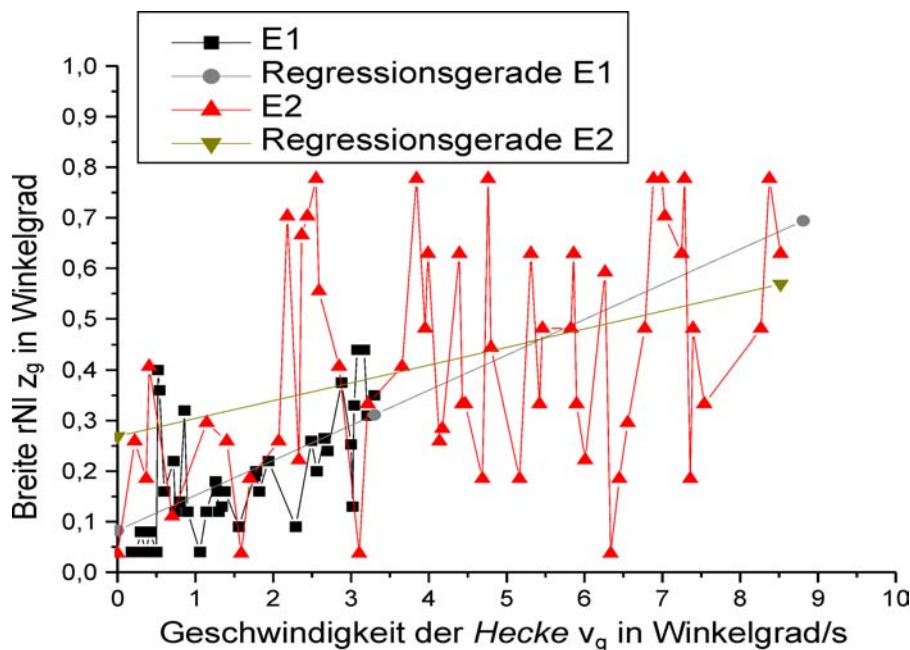
Mit eingezeichneten Regressionsgeraden ergibt sich:



Die in E1 und E2 mit der Abgleichmethode (VN) gewonnenen Mittelwertergebnisse zeigt folgende Abbildung:



Mit eingezeichneten Regressionsgeraden ergibt sich:



6.3.2 Besprechung der Ergebnisse E1 und E2 im Zusammenhang

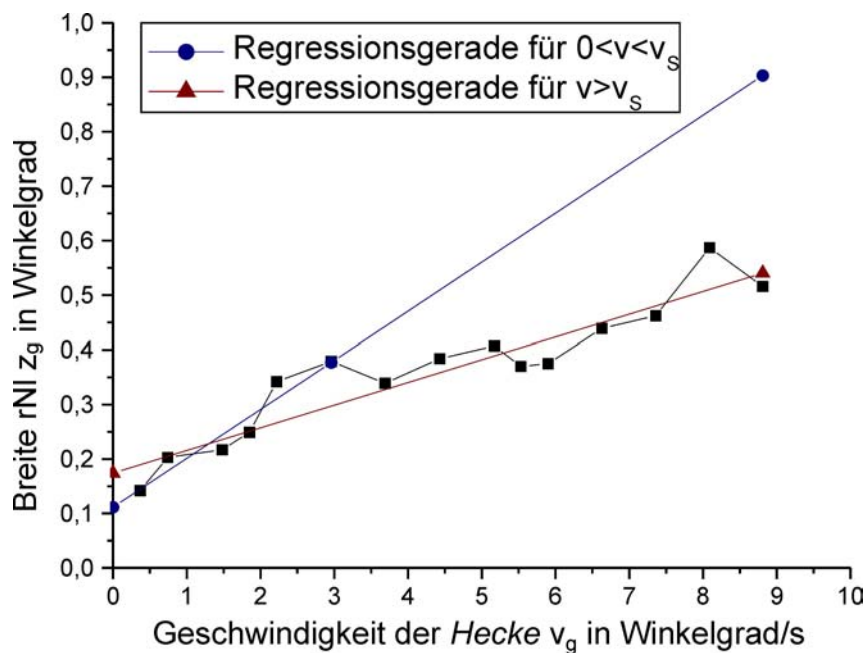
Wie bereits in 6.1.3 erwähnt, sind die Regressionsgeraden durch die ermittelten Datenpunkte – insbesondere deren Steigung – relevant für die Frage nach der 3D-Ermittlungszeit. Ein wichtiges Ergebnis der Experimentalserie E2 ist die erneute qualitative Bestätigung der Hypothese H1 (vgl. 4.3): Alle ermittelten Regressionsgeraden zeigen einen ansteigenden Verlauf.

An den in 6.3.1 dargestellten Graphen ist zu erkennen, dass die Regressionsgeraden der in E1 und in E2 ermittelten Messdaten beide zwar jeweils ansteigend sind, jedoch sich in Steigung und Ordinatenabschnitt qualitativ unterscheiden. Die in E1 ermittelten Regressionsgeraden verlaufen steiler (mit höherer Steigung) als die von E2. Zudem weisen sie einen deutlich kleineren (positiven) Ordinatenabschnitt auf. Der Ordinatenabschnitt der Regressionsgeraden in E2 ist – verglichen mit den Werten in E1 – sehr hoch: Bei Markierungsmethode (M) durchschnittlich $0,181^\circ$ in E2 (gegenüber $0,032$ mit Mittelungsvariante MV1 bzw. $0,036$ mit MV2 in E1 – vgl. 6.1.2.3), bei Abgleichmethode (VN) durchschnittlich $0,269^\circ$ in E2 (gegenüber $0,083$ mit MV1 bzw. $0,036$ mit MV2 in E1 – Messdaten zu E1 aus Tabelle in 6.1.2.3). Regressionsgeraden, die durch den Ursprung gehen, würden sich daher so stark von den gesammelten Messpunkten entfernen, dass eine Annäherung durch sie nicht mehr zulässig erscheint. Daher wurden bei der Darstellung der Messwerte von E2 in 6.2 nur noch Regressionsgeraden durch die gemessenen Datenpunkte ermittelt (die also nicht notwendig durch den Ursprung verlaufen). Zur einer Deutung des hohen Ordinatenabschnitts sei auf Unterschiede der Versuchspersonen in E1 und E2 verwiesen. Eine weiter führende Diskussion der Ursachen für den positiven Ordinatenabschnitt findet sich unter 8.1.

In E1 und E2 fällt gleichermaßen auf, dass die mit der Abgleichmethode (VN) erhobenen Daten – wie bereits besprochen – jeweils eine starke Streuung aufweisen (weiteres hierzu siehe 8.1). In E3 beschränkte man sich daher auf Messungen mit der verlässlicheren Markierungsmethode (M).

Eine Schwachstelle der Experimentalserien E1 und insbesondere E2 liegt darin, dass jeder gemessene Datenpunkt – insbesondere in E2 – nur einmal gemessen wurde (Ausnahmen: Versuchspersonen A und C in E1). Messwerte werden um so zuverlässiger, je größer die Datenbasis ist, auf die sie sich stützen können. In der folgenden abschließenden Experimentalserie E3 wurde daher jeder Messwert in mehreren Durchgängen erhoben. Der daraus resultierende Mittelwert verdient höheres Vertrauen als die bisher in E1 und E2 erhobenen Einzelmessungen.

Die Messwerte der Experimentalserie E1 wurden allesamt im Bereich $v < 3,3^\circ/s$ (Markierungsmethode (M): $v < 2,9^\circ/s$) erhoben, während die Messungen in E2 bis zum Wert $v = 8,8^\circ/s$ reichten. Betrachtet man nun von den in E2 mit Markierungsmethode (M) ermittelten Messwerten nur diejenigen in einem mit E1 vergleichbaren Bereich $0 < v < v_s$, wobei hier zunächst $v_s = 3^\circ/s$ nach Ansicht des Graphen ad hoc festgesetzt wird, so erhält man in diesem Bereich beispielsweise eine Steigung der Regressionsgerade von rund **90 ms** und einen Abszissenabschnitt von $0,111^\circ$ (errechnet nach Bortz, 1993, S. 170, aus den Tabellen in 10.2.5)! Die restlichen Messwerte in E2 für Geschwindigkeitswerte im Bereich $v_s < v < 8,8^\circ/s$ ergeben dann eine deutlich flachere Regressionsgerade mit der Steigung **42 ms** und einen Abszissenabschnitt von $0,174^\circ$. Dies ist in der folgenden Grafik verdeutlicht:



Angesichts dieser Überlegungen könnte man – anstelle der Hypothese H1 – zu einer alternativen Vermutung kommen: Dass nämlich in einem Bereich von etwa $v < v_s$ das dreidimensionale Sehen eine längere „Verrechnungs-“ bzw. Ermittlungszeit benötigt als für höhere Geschwindigkeiten (vgl. Rosenzweig et al., 2002-1). Dies würde einen zusammengesetzten Verlauf von zwei verschiedenen Regressionsgeraden ergeben, wie er oben aus den Daten von E2 post hoc konstruiert wurde. Sollte diese Vermutung zutreffen, würde dies auf zwei unterschiedliche Verarbeitungssysteme hinweisen (vgl. 8.1). Natürlich sind die in E1 und E2 gesammelten Daten nicht geeignet, diese post-hoc aus den Daten von E1 und E2 abgeleitete Hypothese zu belegen. Zur Testung dieser Hypothese sind neue Messungen nötig. Hierzu wurde in der abschließenden Experimentalserie E3 insbesondere ein Bereich, in dem v_s aufgrund der bisherigen Ergebnisse zu vermuten ist – also etwa $1,5^\circ/s < v < 4^\circ/s$ – untersucht.

7 Experimentalserie E3: Ergebnisse und Auswertung

7.1 Vorbemerkung

Die Ergebnisse von E1 und E2 und die in 6.3 zusammen gefassten Erkenntnisse berücksichtigend, wurde die Experimentalserie E3 entworfen, um die Frage zu klären, ob an dem DSI-Effekt wirklich zwei verschiedene, unterschiedlich schnelle 3D-Verarbeitungssysteme beteiligt sind. An E3 nahmen drei erfahrene stereotüchtige Versuchspersonen teil. Jede der drei Versuchspersonen hatte bereits in E1 (Versuchsperson A in Experiment 3) oder E2 (Versuchspersonen J und I in den Experimenten 7 und 6) an einem Experiment teilgenommen, ist also als „erfahrener DSI-Beobachter“ anzusehen (siehe auch 5.3.3.1).

Wie bereits in 6.3.2 beschrieben, wurde in E3 der Bereich $1,5^\circ/s < v < 4^\circ/s$ an fünfzehn verschiedenen diskreten Stellen von v untersucht (vgl. 7.2). Darüber hinaus wurden in E3 pro Durchgang vier, also insgesamt pro Experiment 20 verschiedene Messwerte an der maximalen Geschwindigkeit $v_{\max} = 8,8^\circ/s$ erfasst. Die bei v_{\max} gemessenen Werte dienten als „Ankerpunkt“ im maximalen Geschwindigkeitsbereich, der den Graphenverlauf im Bereich hoher Geschwindigkeiten charakterisieren sollte. Die von v_{\max} verschiedenen Werte von v wurden wie bisher randomisiert dargeboten, die Werte von z an der Stelle v_{\max} wurden in jedem Durchgang am Anfang, nach dem 5., dem 10. und dem letzten Messwert ermittelt. Die genau eingestellten Werte für v ergeben sich aus den Rohdaten im Anhang unter 10.2.8.

Die Ergebnisse sind im folgenden dargestellt.

7.2 Ergebnisse von E3

Die Experimentalserie E3 wurde mit Hilfe der gleichen Hardware durchgeführt wie E2. Verstärkt wurden die Versuchspersonen angehalten, die „Einkreisemethode“ beim Messen zu verwenden. Ansonsten stimmen die Bedingungen von E3 mit denen unter E2 (6.2, Punkt 5.) überein. Unabhängige Variable ist die *Heckengeschwindigkeit* v , abhängige Variable ist wieder die Breite des rNI z – es wird also Markierungsmethode (M) angewandt. Als Erhebungsmodus wird wie in E2 durchgehend auf den Shutterbrillen-Modus (S) (vgl. 4.4.3) zurück gegriffen.

Es wurden insgesamt 285 Messwerte von drei Versuchspersonen erhoben. Die Beobachtungsentfernung in der gesamten Experimentalserie E3 betrug wie bei E2 einheitlich $r = 0,7$ m.

Pro Versuchsperson wurde ein Experiment durchgeführt. In allen drei Fällen konnte das Experiment ohne störende Einflüsse bis zum geplanten Ende ausgeführt werden. Bei allen Experimenten lagen Disparitäten D von etwa 21 Bogenminuten vor. Die rechnerischen Werte sind in der folgenden Tabelle (analog zu den Tabellen in 6.1 und 6.2) aufgeführt:

Exp.	Vp.	Augenabstand a in [mm]	virt. Abst. Zw-He. x in [mm]	Disparität D in [°]	Disparität D in [']
1	J	60	53	0,343	20,6
2	I	60	53	0,343	20,6
3	A	66	48	0,346	20,7

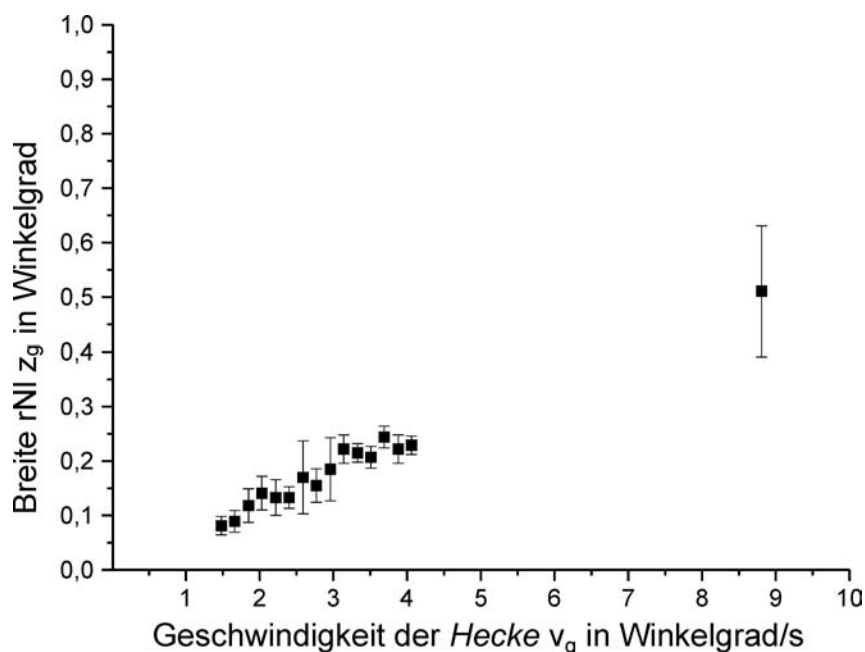
Jedes Experiment hatte fünf analog gestaltete Durchgänge. Jeder Durchgang bestand aus insgesamt fünfzehn Messwerten mit festgelegten Werten für die *Heckengeschwindigkeit* v : $v = 40, 45, 50, 55, \dots, 105, 110$ Pixel/s. Diese wurden in randomisierter Reihenfolge dargeboten. Darüber hinaus wurden vier weitere Messwerte mit jeweils der Maximalgeschwindigkeit von $v=8,8$ Grad/s dargeboten, und zwar am Anfang, nach dem 5., nach dem 10. und am Schluss, also nach dem 15. Messwert (vgl. Rohdaten im Anhang unter 10.2.8).

Die Parameter der Experimente waren gleichbleibend wie bei E2 (Punkt 5.) auf den Default-Wert eingestellt, also RF *Hecke* = RF *Zweig*: 2x2 Pixel, AP *Hecke* = AP *Zweig*: 50:50.

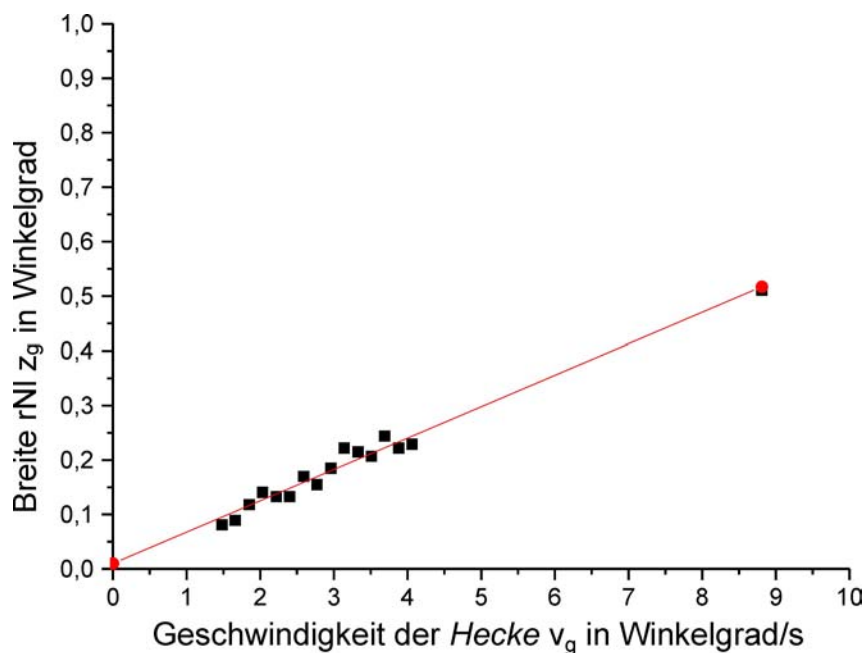
7.2.1 Grafische Darstellung der Messergebnisse

In jedem Experiment ist jeder angegebene Messwert, der in den Graphen dargestellt ist, der Mittelwert aus den fünf in Durchgang 1-5 gesammelten Einzelmesswerten. In jedem Experiment geben die Balken der ersten dargestellten Graphen die Standardabweichung dieser Mittelwertbildung an.

Experiment 1 (Versuchsperson J):



Mit Regressionsgerade:



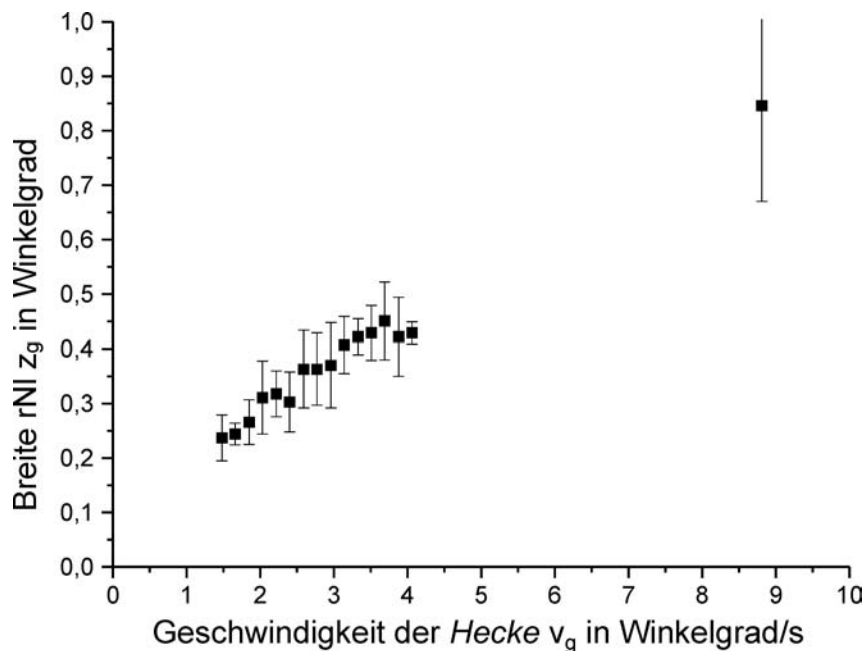
(Korrelationskoeffizient $\rho = 0,989$)

Nach Bortz (1993) erhält man für die Regressionsgerade mit $n =$ Anzahl der Messwerte, $x_i =$ eingestellte Werte der unabhängigen Variable v und $y_i =$ gemessene Werte für die abhängige Variable z ($i = 1, \dots, n$):

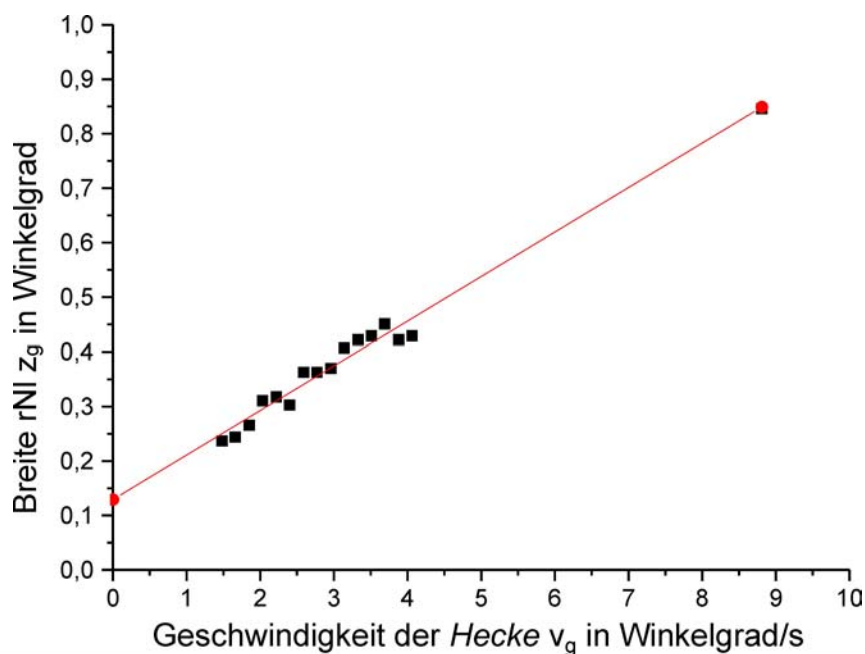
$$z(v) = k \cdot v + l,$$

$$\text{wobei } k = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \cdot \sum_{i=1}^n y_i}{n \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} = \mathbf{58 \text{ ms}}$$

$$\text{und } l = \frac{\sum_{i=1}^n x_i^2 \cdot \sum_{i=1}^n y_i - \sum_{i=1}^n x_i y_i \cdot \sum_{i=1}^n x_i}{n \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} = \mathbf{0,010^\circ}$$

Experiment 2 (Versuchsperson I):

Mit Regressionsgerade:



(Korrelationskoeffizient $\rho = 0,991$)

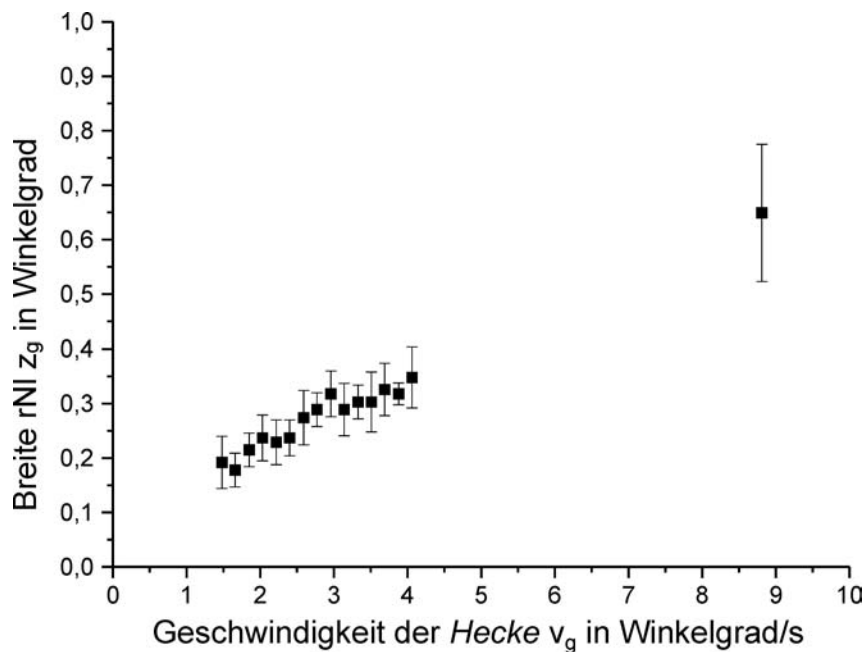
Nach Bortz (1993) erhält man für die Regressionsgerade mit $n =$ Anzahl der Messwerte, $x_i =$ eingestellte Werte der unabhängigen Variable v und $y_i =$ gemessene Werte für die abhängige Variable z ($i = 1, \dots, n$):

$$z(v) = k \cdot v + l,$$

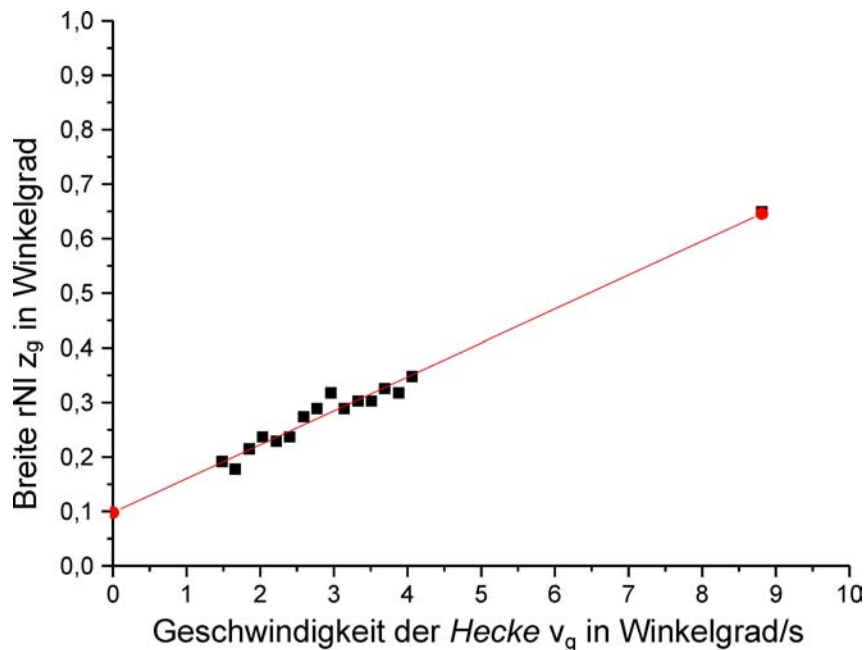
$$\text{wobei } k = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \cdot \sum_{i=1}^n y_i}{n \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} = \mathbf{82 \text{ ms}}$$

$$\text{und } l = \frac{\sum_{i=1}^n x_i^2 \cdot \sum_{i=1}^n y_i - \sum_{i=1}^n x_i y_i \cdot \sum_{i=1}^n x_i}{n \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} = \mathbf{0,129^\circ}$$

Experiment 3 (Versuchsperson A):



Mit Regressionsgerade:



(Korrelationskoeffizient $\rho = 0,990$)

Nach Bortz (1993) erhält man für die Regressionsgerade mit $n =$ Anzahl der Messwerte, $x_i =$ eingestellte Werte der unabhängigen Variable v und $y_i =$ gemessene Werte für die abhängige Variable z ($i = 1, \dots, n$):

$$z(v) = k \cdot v + l,$$

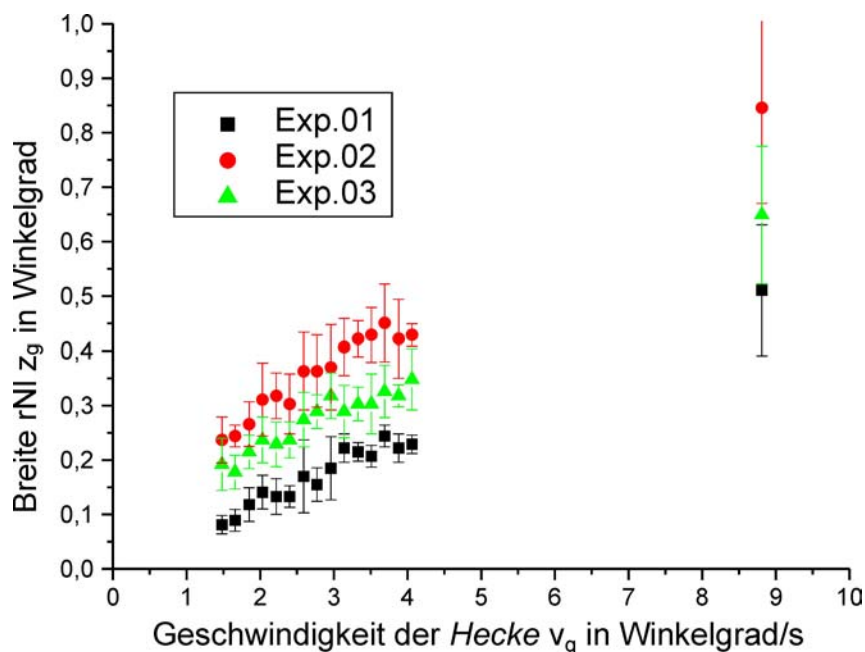
$$\text{wobei } k = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \cdot \sum_{i=1}^n y_i}{n \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} = \mathbf{62 \text{ ms}}$$

$$\text{und } l = \frac{\sum_{i=1}^n x_i^2 \cdot \sum_{i=1}^n y_i - \sum_{i=1}^n x_i y_i \cdot \sum_{i=1}^n x_i}{n \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} = \mathbf{0,098^\circ}$$

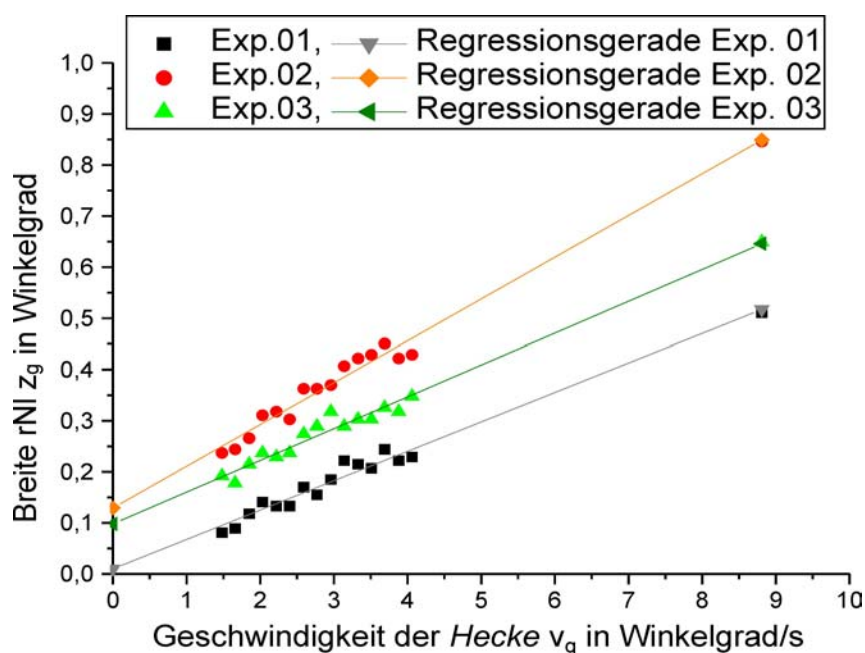
7.2.2 Zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse

In der Experimentalserie E3 wurde die Breite der DSI-Lücke in insgesamt 3 Experimenten mit jeweils 5 Durchgängen und je 19 Einzelmessungen pro Durchgang, also insgesamt 285 Einzelmessungen erfasst. Die Rohdaten sind im Anhang unter 10.2.3 aufgelistet und in den Tabellen unter 10.2.4 und 10.2.5 zusammen gefasst.

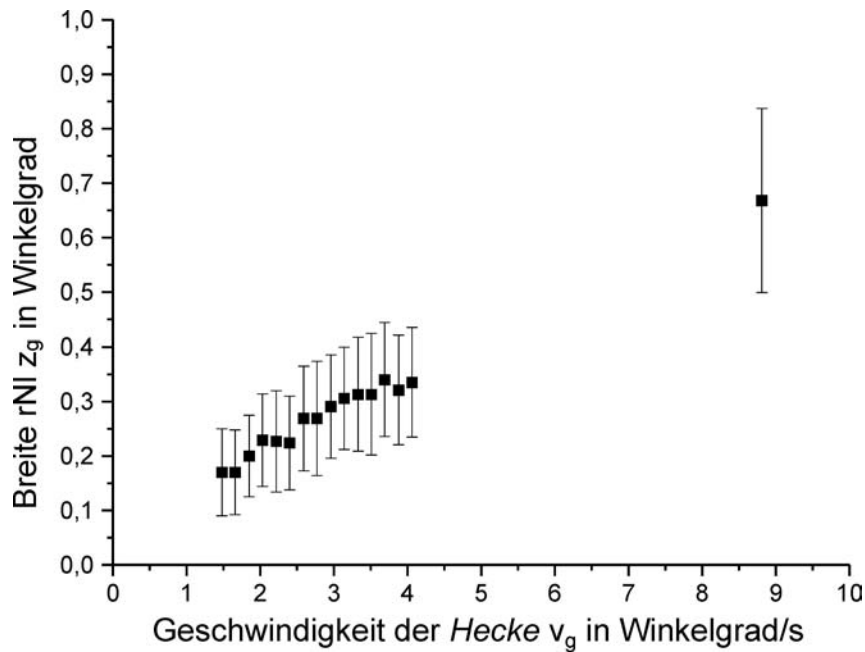
Trägt man die gesammelten Messwerte aus den drei Experimenten mit den drei Versuchspersonen J, I und A (ohne Fehlerbalken) in ein Diagramm auf, so erhält man folgende Grafik:



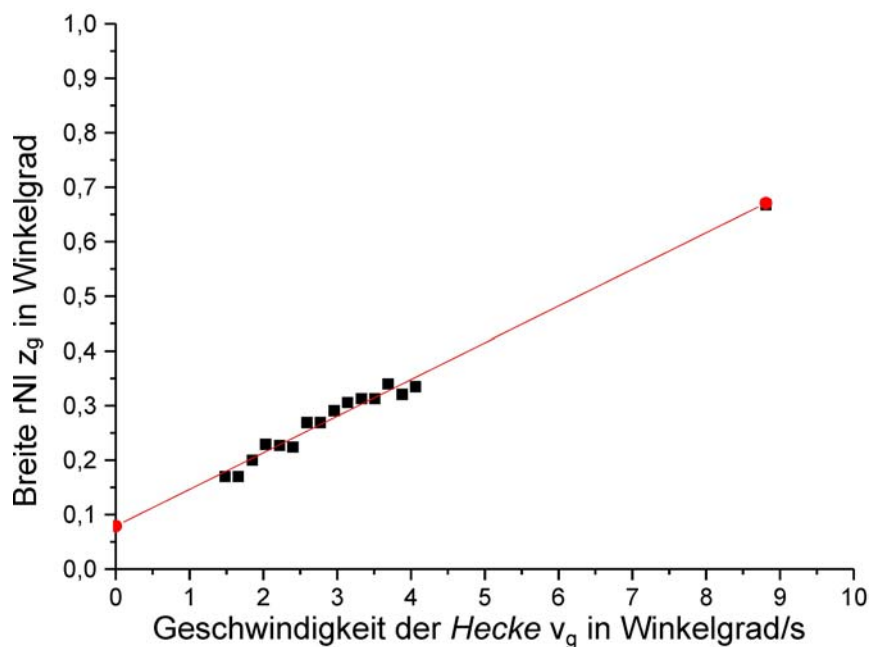
Mit Regressionsgeraden:



Errechnet man aus dieser Darstellung den Mittelwertgraph zu den Messwerten aus den Experimenten 1-3, so erhält man:



Die Größe der „Fehlerbalken“ ergibt sich aus der breiten Streuung der individuellen Graphen. Mit Regressionsgerade:



(Korrelationskoeffizient $\rho = 0,994$)

Eine Messwiederholungs-Varianzanalyse zum Faktor v ergibt einen hochsignifikanten Haupteffekt v ($F(15,35)=61.93$, $p<0,001$).

Nach Bortz (1993) erhält man für die Regressionsgerade mit n = Anzahl der Messwerte, x_i = eingestellte Werte der unabhängigen Variable v und y_i = gemessene Werte für die abhängige Variable z ($i = 1, \dots, n$):

$$z(v) = k \cdot v + l,$$

$$\text{wobei } k = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \cdot \sum_{i=1}^n y_i}{n \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} = \mathbf{67 \text{ ms}}$$

$$\text{und } l = \frac{\sum_{i=1}^n x_i^2 \cdot \sum_{i=1}^n y_i - \sum_{i=1}^n x_i y_i \cdot \sum_{i=1}^n x_i}{n \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} = \mathbf{0,079^\circ}$$

7.2.3 Besprechung der Ergebnisse von E3

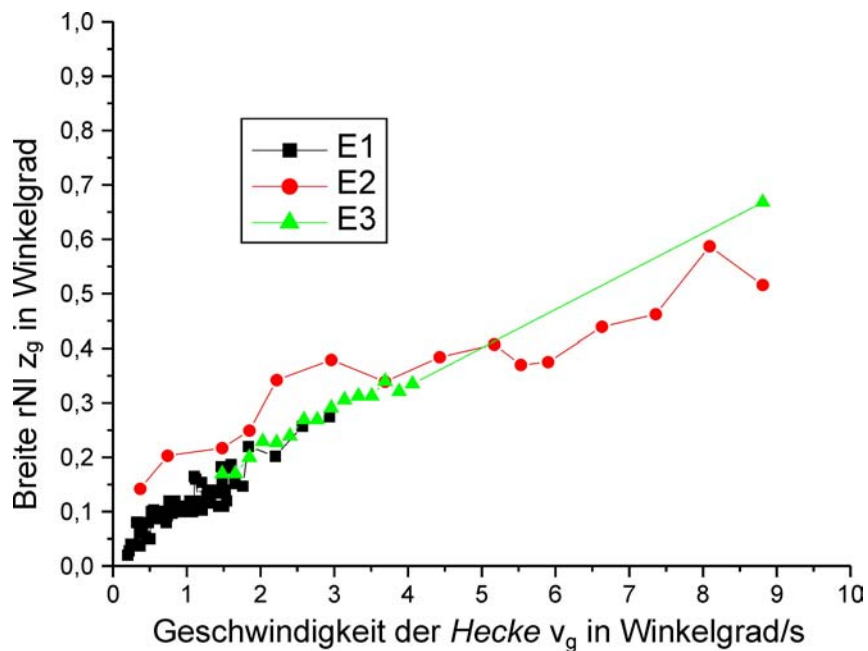
Die Experimente in E3 wurden mit drei verschiedenen Versuchspersonen unter identischen Bedingungen durchgeführt. Die Werte für k und l aus der Regressionsgleichung $y = k \cdot x + l$ sowie weitere relevante Werte sind in folgender Tabelle zusammen gefasst:

	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3	MW 1-3
Stdabw. für z in den fünf Durchgängen in [%]	19	15	16	
Steigung der Regressionsgeraden k in [ms]	58	82	62	67
Ordinatenabschnitt l in [°]	0,010	0,129	0,098	0,079
mittlere Abweichung von z vom MW in [%]	36	-34	-2	
Stdabw. in [%]	9	6	5	

Zur weiteren und ausführlichen Diskussion der Ergebnisse im Zusammenhang mit den anderen Experimentalserien sei auf 8.1 verwiesen.

7.3 Darstellung aller Ergebnisse von E1, E2 und E3

Die Durchschnittswerte aller drei Experimentalserien E1, E2 und E3 sind in der folgenden Grafik zusammen gefasst:



Zur Diskussion sei auf das folgende Kapitel verwiesen.

8 Diskussion

In drei Experimentalserien wurden insgesamt 881 Messwerte von drei Vpn. in E1, 8 erfolgreichen Vpn. in E2 und drei Vpn. in E3 erhoben. Die Messergebnisse aus diesen drei Experimentalserien, dargestellt in den Kapiteln 6 und 7 bilden die Grundlage für die nun folgende Diskussion.

8.1 Inhaltliche Deutung der Ergebnisse

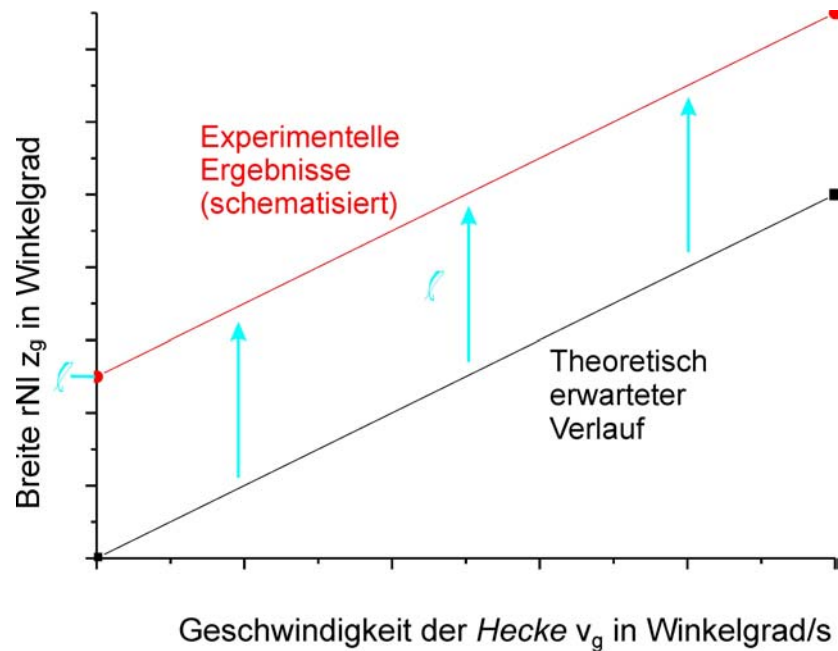
Ziel dieser Arbeit ist es, die unter 2.2 beschriebene Beobachtung qualitativ und quantitativ zu untersuchen und daraus Rückschlüsse auf die Geschwindigkeit zu ziehen, mit der das Gehirn stereoptische Tiefendaten verarbeitet. Die Ausgangsfrage lautete genauer: Wie lange braucht das Gehirn, um eine plötzlich auftauchende „neue“ Struktur aufgrund der Disparitätswerte in seiner räumlichen Tiefe wahrzunehmen?

Autor und Projektteam gingen ursprünglich von der Annahme aus, dass das Gehirn eine feste, konstante Zeitspanne („3D-Ermittlungszeit“) benötigt, um die Tiefenposition des bei konstanter *Zweig-* bzw. *Hecken-*Geschwindigkeit „aus dem Nichts“ auftauchenden Musters in der betreffenden Szene zu ermitteln. Diese plausible Annahme impliziert, dass es im Gehirn einen (einzigsten) Verarbeitungsmechanismus gibt, der für dreidimensionale Wahrnehmung zuständig ist – wie es etwa einen Erkennungsmechanismus für Formen, Farben etc. gibt (vgl. beispielsweise Goldstein, 1997, S. 109ff).

Aus der o.g. Annahme ergibt sich als Interpretation des beobachteten DSI-Phänomens die Hypothese H1 (siehe 4.3). H1 besagt, die Breite z der beobachteten DSI-Lücke sei proportional zur Bewegungsgeschwindigkeit v . Die in Vorversuchen und insbesondere in der ersten Experimentalserie E1 gewonnenen Messwerte ergaben Hinweise darauf, dass man mit dieser Hypothese auf dem richtigen Weg ist. Zur detaillierteren Überprüfung dienten alle drei Experimentalserien E1, E2 und E3, die in dieser Arbeit beschrieben sind und im folgenden diskutiert werden. Insbesondere ergeben sich aus den Ergebnissen Werte für die Zeit, die unser Gehirn benötigt, eine Szene stereoptisch dreidimensional wahrzunehmen, kurz: die **3D-Ermittlungszeit** t_{DSI} .

Der nach H1 theoretisch zu erwartende Kurvenverlauf im v - z -Diagramm ist eine Ursprungsgerade mit einer Steigung k . Diese Steigung ist nach H1 als 3D-Ermittlungszeit t_{DSI} zu interpretieren.

Nähert man die gemessenen Daten mit einer Regressionsgeraden durch den Ursprung an, so sind die Fehler – wie bereits in 6.1.3 erwähnt – signifikant höher als wenn man die Ursprungs-Bedingung nicht voraus setzt. Die tatsächlichen Daten weichen von der theoretisch vorhergesagten Ursprungsgeraden durch einen (fast ausschließlich positiven) Ordinatenabschnitt l ab.



Wie ist dieser Wert l zu interpretieren? Als Erklärung bieten sich drei Effekte an, die additiv zusammen wirken und je nach Versuchsperson unterschiedlich hoch sein könnten: Dabei dürfte für den Wert l vor allem der erstgenannte Effekt maßgebend verantwortlich sein.

1. Mehrere Studien haben festgestellt, dass statische Objekte im Zusammenhang mit einem sich bewegenden Muster in Bewegungsrichtung verschoben wahrgenommen werden (Whitney und Cavanagh, 2000, Anstis und Ramachandran, 1991, Anstis, 1989). Im Fall der in dieser Arbeit beschriebenen Experimente liegt genau diese Situation vor: Die Versuchspersonen müssen ein Phänomen, das sich auf einem bewegten Muster manifestiert (die DSI-Lücke) in ihrer Größe beurteilen. Durch den zitierten Effekt wird die Breite der DSI-Lücke, also die abhängige Variable z , überschätzt. Zur Ausprägung dieses Effektes bietet eine Untersuchung von de Valois und de Valois (1991) einen wichtigen Anhaltspunkt. In dieser Studie wird die Abhängigkeit zwischen l und der Geschwindigkeit der Hecke anhand Daten von drei Vpn. dargestellt. Weitere Ausführungen zu diesem Punkt – der auch bei der Interpretation der Ergebnisse von E2 herangezogen werden kann – sind aufgrund ihrer möglichen Bedeutung für die Untersuchungen in dieser Arbeit in einem eigenen Abschnitt in 8.4 zusammen gefasst.
2. Ein weiterer Störfaktor liegt in der Tatsache, dass die Versuchspersonen die Markierung nur in Pixelschritten, also stufenweise verstellen können. Die Versuchspersonen wurden instruiert, den unteren Rand der (strichförmigen) Markierung auf den oberen Rand der wahrgenommenen DSI-Lücke einzustellen – vgl. 5.4.3, Punkt 15. Aufgrund dieser Instruktion neigen sie vielleicht dazu, Pixelbruchteile eher dem höheren ganzzahligen Wert zuzuordnen als dem niedrigeren. Es ist also mit der Möglichkeit zu rechnen, dass die Versuchspersonen die Markierung eher einen Pixel(-Bruchteil) zu hoch als einen Pixel (-Bruchteil) zu niedrig eingestellt haben. Die Größe dieses Störeffekts scheint somit aber auf maximal 1 Pixel beschränkt zu sein.
3. Schließlich spielt auch hier die schwere Quantifizierbarkeit des DSI-Phänomens, von der nahezu alle Versuchspersonen berichteten, eine Rolle (vgl. 8.3). Dies führt jedoch (im Gegensatz zu den beiden anderen genannten) nicht immer zwangsläufig zu einer Überschätzung der abhängigen Variable z und stellt einen unsystematischen Störeffekt dar.

Vor allem die Effekte 2. und 3. wirken sich bei den weniger stereoerfahrenen oder mit dem Effekt nicht vertrauten Versuchspersonen sowie auch bei den weniger stark motivierten vermutlich stärker aus. Aus diesen Überlegungen kann die Voraussage abgeleitet werden, dass diese Störungen bei erfahrenen und motivierten Versuchspersonen, die sich zur Einstellung Zeit nehmen und die Einkreismethode praktizieren, minimiert wird.

Die Versuchsperson-Populationen aus E1 und E3 unterscheiden sich von der in E2 in drei Punkten: Erstere haben längere Erfahrung im Stereosehen, speziell in der Beobachtung des DSI-Effekts und sie dürften eine höhere persönliche Motivation aufweisen: An E1 nahmen nur Mitarbeiter des DSI-Projekts und ein Bekannter eines Mitarbeiters teil, an E3 nur Bekannte des Autors, die bereits E1 bzw. E2 absolviert hatten. Die Versuchspersonen in E2 wurden dagegen (mit Ausnahmen von I und J) beliebig aus einer Versuchspersonen-Datenbank ausgewählt. Ihre Motivation bestand einzig darin, für die Zeit des Experiments finanziell (geringfügig) entlohnt zu werden. Die Tatsache, dass der Störeffekt bei den Versuchspersonen aus E2 stärker ist, die Messwerte für z_g also höher liegen, weist auf einen Einfluss der oben genannten Störeffekte hin.

Nimmt man alle drei genannten Effekte zusammen, so erklärt dies zwanglos einen interindividuell variierenden, in der Regel positiven Ordinatenabschnitt I in der Größenordnung wie er in den Experimentalserien E1-E3 auftaucht – zu beachten sind hierbei die Ausführungen in 8.4. **Akzeptiert man diese Interpretation, so kann die Steigung der Regressionsgeraden durch die Messpunkte im v-z-Diagramm – unabhängig von der Größe des Ordinatenabschnittes I – wie oben angedeutet als 3D-Ermittlungszeit t_{DSI} interpretiert werden.** Dies wird in der weiteren Diskussion voraus gesetzt.

An der Experimentalserie E1 waren drei Versuchspersonen mit insgesamt 14 Experimenten beteiligt. Alle Versuchspersonen lieferten verwertbare Messergebnisse, die der folgenden Diskussion zugrunde liegen.

Das Design der Experimentalserie E1 entsprach den in den Vorversuchen gewonnenen Erfahrungen. Bei der Instruktion wurde insbesondere darauf geachtet, dass die Versuchspersonen ausreichend verstanden hatten, was sie mit welcher Methode messen sollen und worauf sie bei der Messung zu achten haben. Die Experimente 1-8 wurden mit der Markierungsmethode (M) ermittelt, 9-14 mit Abgleichmethode (VN) (vgl. 5.3.2).

Die Experimente 7 und 8 mit der Versuchsperson A dienen dazu, den Einfluss des Parameters „Raumfrequenz“ von *Hecke* und *Zweig* auf die abhängige Variable z („rechen“-zeitbedingtes Niemandsland rNI) zu prüfen, also die Richtigkeit von Hypothese $H_0(RF)$ zu klären (vgl. 4.3).

Die Ergebnisse der Experimente 7-1 bis 7-4 sowie 8-1 und 8-2 weisen darauf hin, dass **der Parameter „Raumfrequenz“ keinerlei Auswirkung hat auf die Ausprägung der abhängigen Variable z (Breite des rNI) – vgl. 6.1.1. Die Nullhypothese $H_0(RF)$ kann somit anhand dieser Daten als bestätigt gelten.** Um dieses Ergebnis mit noch mehr Messwerten systematisch zu festigen, wurde die Hypothese bei der Planung der Experimentalserie E2 erneut einbezogen – vgl. 6.2, Punkte 7-8. Da auch diesmal keine Abhängigkeit des DSI-Effekts vom Parameter „Raumfrequenz“ festgestellt wurde (vgl. 6.2.2.1 Punkt 7-10), wurden die in den Experimenten 7 und 8 gewonnenen Ergebnisse in die Gesamtbilanz der Messergebnisse von E1 aufgenommen und gehen in die Mittelwertbildung ein.

Versuchsperson A lieferte in den mit Markierungsmethode (M) durchgeführten Experimenten 1,2 und 6-8 in sich konsistente Ergebnisse. Als Steigung der Regressionsgeraden durch den Ursprung und somit 3D-Ermittlungszeit ergibt sich bei Versuchsperson A ein Wert von **85 ms** (vgl. Tabelle 1 in 6.1.2.3). Auch die Experimente 9-11 der Versuchsperson A verzeichnen in sich konsistente Messergebnisse. Der Verlauf ist deutlich erkennbar linear, als Steigung der Regressionsgeraden und somit 3D-Ermittlungszeit resultiert der Wert von **76 ms** (vgl. Tabelle 3 in 6.1.2.3).

Versuchsperson B lieferte im mit Markierungsmethode (M) durchgeführten Experiment 5 mit der 3D-Ermittlungszeit von **72 ms** (vgl. Tabelle 1 in 6.1.2.3) einen Wert, der in der Größenordnung mit dem der Versuchsperson A vergleichbar ist. In Experiment 14 – Abgleichmethode (VN) – ergab sich eine schwer zu deutende Datenwolke, deren Mittelwerte sich von den mit Markierungsmethode (M) ermittelten Ergebnissen unterscheiden. Die aus diesen Daten ermittelte – mit hoher Streuung versehene 3D-Ermittlungszeit ergibt mit **93 ms** (vgl. Tabelle 3 in 6.1.2.3) noch einen durchaus vergleichbaren Wert. Im allgemeinen sind die Messergebnisse von Versuchsperson B jedoch weniger verlässlich, da die Messpunkte nur auf jeweils einer einzigen Messung beruhen. Da in E1 noch nicht ermittelt wurde, wie verlässlich die einzelnen Versuchspersonen die Breite des rNI einstellen konnten (wie in E2 mit Testlauf 3, vgl. 5.4.3 Punkt 26), kann nicht beurteilt werden, ob dieser Punkt entscheidend für die hohen Streuungen bei Anwendung der Abgleichmethode (VN) war.

Bei *Versuchsperson C* liefert in den Experimenten 3 und 4 – Markierungsmethode (M) – Werte, die zusammen genommen eine ziemlich flache Gerade mit einer Steigung von **33 ms** (vgl. Tabelle 1 in 6.1.2.3) ergeben. In den mit Abgleichmethode (VN) durchgeführten Experimenten 12 und 13 ergibt sich dagegen eine Datenwolke, an die man eine Regressionsgerade mit der Steigung **114 ms** (vgl. Tabelle 3 in 6.1.2.3) anpassen kann. Diese Regressionsgerade besitzt noch dazu als einzige (in allen Experimenten in E1, E2 und E3) einen *negativen* Ordinatenabschnitt $l = -0,028$. Versuchsperson C liefert nicht nur die mit Abstand größte Differenz zwischen den Messwerten aus den beiden Methoden (M) und (VN). Ihre Messwerte unterscheiden sich auch deutlich von denen der beiden anderen Versuchspersonen in E1. Es ist schwer zu interpretieren, was die Ursache für diese unterschiedlichen Differenzen ist. Es kann vermutet werden, dass Versuchsperson C mit der schweren Erfassbarkeit des DSI-Phänomens zu kämpfen hatte.

Insgesamt fällt auf, dass Messwerte, die mit Abgleichmethode (VN) gewonnen wurden, eine höhere Streuung aufweisen als diejenigen mit Markierungsmethode (M). Zwar sind Abgleichmethoden in der Regel präziser, im vorliegenden Fall wurde der Abgleich jedoch erschwert, da eine waagerechte mit einer senkrechten Lücke zu vergleichen war. Möglicherweise ist für die hohe Streuung der Abgleichmethode (VN) ein Fehler bei der Abschätzung der Breite der „topologischen“ (Juleszschen) Niemandsländer verantwortlich. Voraussetzung für die korrekte Datenerhebung mit dieser Methode ist, dass die Versuchspersonen die Breite der „topologischen“ Niemandsländer, die sie mit der Breite des rNI am oberen Rand subjektiv angleichen sollen, richtig einschätzen. Der Abschätzungsfehler wirkt sich bei jeder Versuchsperson und an jedem Messpunkt anders aus, je nachdem, ob die Versuchsperson die Breite der topologischen Niemandsländer unter- oder überschätzt. Bei einer Unterschätzung der topologischen Niemandsländer kommt es zu einer folgerichtigen Unterschätzung des rNI und somit zu einer systematisch falschen – da zu kleinen – Einstellung der Geschwindigkeit v bei festem z . Diese Vermutung wird in der Experimentalserie E2 durch einen Vorversuch und

erneute Erhebung von Messwerten mit Abgleichmethode (VN) getestet (Diskussion s.u.). Da diese Methode ein indirekter Weg ist, den gesuchten Parameter, die Breite des rNI, zu bestimmen und somit anfälliger für Fehler ist, sind Ergebnisse, die mit Markierungsmethode (M) gemessen werden, als zuverlässiger anzusehen.

Zusammen gefasst zeigen die Ergebnisse der Experimentalserie E1 – trotz interindividueller Unterschiede der Versuchspersonen – einen mehr oder weniger genau proportionalen Zusammenhang zwischen z und v . Dies gilt qualitativ sowohl für die mit Markierungsmethode (M) als auch für die mit Abgleichmethode (VN) erhobenen Daten. Der Parameter Raumfrequenz erwies sich als unerheblich für die Messungen, was allerdings nur durch zwei Experimente an einer Versuchsperson geprüft, und daher in E2 erneut und systematischer untersucht wurde.

Zusammen fassend kann man festhalten:

Durch die Experimentalserie E1 wurde die Hypothese H1 (vgl. 4.3) im gemessenen Bereich bis ca. $v=3$ Grad/s bestätigt. Als konstante durchschnittliche 3D-Ermittlungszeiten wurden bei den Versuchspersonen A und B Werte zwischen 72 und 93 ms gemessen. Versuchsperson C lieferte mit Markierungsmethode (M) 33 ms, mit Abgleichmethode (VN) 114 ms. Als durchschnittliche 3D-Ermittlungszeit ergeben sich (je nach Mittelungsvariante) aus den Daten von E1 Werte von 81 bzw. 70 ms mit Markierungsmethode (M) und 69 bzw. 91 ms bei Abgleichmethode (VN).

Leider waren diese Ergebnisse durch die verwendete Hardware auf eine maximale Geschwindigkeit von 80 Pixel/s beschränkt. Dies wurde in den Experimentalserien E2 und E3 durch Verwendung einer leistungsstärkeren Hardware verbessert. Diese Hardware ermöglichte es, Bewegungsgeschwindigkeiten (der *Hecke*) bis zu 240 Pixel/s zu erzeugen, was bei einem Beobachtungsabstand von 70 cm etwa 8,8 Grad/s entspricht.

Erfahrungen aus der Auswertung der Experimentalserie E1 wurden in der Experimentalserie E2 berücksichtigt. So wurde eine einheitliche für den Versuch optimierte Beobachtungsentfernung von 70 cm gewählt. Darüber hinaus wurden die Messwerte für z immer an den gleichen, fest definierten Werten von v erfasst.

An der Experimentalserie E2 waren elf Versuchspersonen beteiligt, acht davon lieferten Messwerte, die der folgenden Diskussion zugrunde liegen. Mit jeder Versuchsperson wurde je ein Experiment mit den in der Einleitung von 6.2 beschriebenen Einzelmessungen durchgeführt.

In Experimentalserie E2 musste das Experiment bei drei von elf Versuchspersonen gleich zu Beginn abgebrochen werden. Dies kann wie folgt erklärt werden: Zur Beobachtung und anschließenden Quantifizierung des DSI-Phänomens benötigt man ein gewisses Maß an Seherfahrung im dreidimensionalen Sehen. Alle Versuchspersonen waren zwar stereotüchtig, dennoch gelang es diesen drei Probanden nicht, das Phänomen so wahrzunehmen, dass sie es quantitativ bestimmen konnten. Dies weist auf die **schwere quantitative Bestimmbarkeit des Phänomens** hin, von der bereits von Versuchspersonen in E1 berichtet wurde: Es ist zwar ohne Probleme zu erkennen, jedoch fällt es den Versuchspersonen sehr schwer, das Phäno-

men präzise zu quantifizieren. Wenn sie angeben mussten, wie groß die wahrgenommene „Lücke“ ist, berichteten die Versuchspersonen, dass eine Größenangabe nur geschätzt werden kann, da kein hinreichend scharfer Rand sichtbar war. Letztlich gelang es jedoch allen Versuchspersonen – teils mit gewisser Mühe – sich mit der Einkreisemethode auf Messwerte festzulegen.

Warum gab es erfolglose Probanden nur in E2 und nicht in E1 oder E3? Bei E1 und E3 fand eine gewisse Auswahl an Versuchspersonen statt. In E1 und E3 stammen alle Versuchspersonen aus dem Bekanntenkreis des Autors, was die Motivation für den Versuch steigerte. Zudem ist von allen diesen Versuchspersonen bekannt, dass sie einerseits eine gewisse Erfahrung im Stereosehen aufweisen und andererseits bereits durch frühere Experimente bzw. Vorversuche mit dem DSI-Phänomen vertraut waren. Der Experimentalserie E2 dagegen lag eine Probanden-Datenbank mit zufällig ausgewählten Personen zugrunde, die – mit Ausnahme der Versuchspersonen I und J – nicht aus dem Bekanntenkreis des Autor stammen, und angesichts der Schwierigkeit, sich im Einzelexperiment auf bestimmte Messwerte festlegen zu sollen, eher aufgaben.

Ziel von E2 war es, die Hypothese H1 (vgl. 4.3) in einem höheren Geschwindigkeitsbereich als bei E1 zu testen. Zu Beginn der relevanten Messungen gab es sogenannte „Nullversuche“ ohne Tiefenumkehr. *Vor* und *nach* den Haupt-Messreihen (5-10) dienten sie dazu, mögliche systematische Mess-Artefakte zu erkennen und auszuschließen. „Nullversuch“ bedeutet in diesem Zusammenhang, dass die bekannte Szene (bewegte *Hecke*, ruhender *Zweig*) unter Bedingungen zu beobachten ist, unter denen das DSI-Phänomen theoretisch nicht zu beobachten sein dürfte, nämlich wenn der *Zweig* sich vor der *Hecke* befindet statt dahinter (vgl. 4.2). Sollten die Versuchspersonen dennoch Werte angeben, so kann es sich dabei nur um Artefakte handeln.

Qualitativ zeigten die Messdaten von sechs der acht Versuchspersonen deutlich einen Anstieg der Kurve im v-z-Diagramm. Bei den Versuchspersonen K (Exp. 8) und N (Exp. 11) ergab sich im v-z-Diagramm eine nahezu flache Gerade (parallel zur Abszisse) – vgl. 6.2.1. Wie sind solche Unterschiede zu deuten? Dürfen Resultate, die von der Mehrheit der Daten abweichen, ignoriert werden? Eine Selektion von Versuchspersonen a posteriori ist wissenschaftstheoretisch problematisch. Allerdings unterscheiden sich die Ergebnisse dieser beiden Versuchspersonen deutlich von den Ergebnissen aller übrigen Versuchspersonen. Bei der Darstellung der Ergebnisse wurde daher so verfahren, dass sowohl eine Mittelwertbildung über alle Versuchspersonen als auch eine Mittelwertbildung unter Ausschluss der beiden genannten „Außenseiter“ angeboten wurde (vgl. 6.2.2).

Warum aber sind die Ergebnisse in den Experimenten 8 und 11 so verschieden von denen der übrigen Experimente 2, 3, 6, 7, 9 und 10 (vgl. jeweils 6.2.1)? Zunächst ist festzuhalten, dass sowohl in Experiment 8 als auch in Experiment 11 die mit Markierungsmethode (M) erfassten Ergebnisse annähernd konsistent sind: Wie Tabelle 1 in 6.2.2.5 zeigt, liefert Experiment 8 für die Steigung k die Werte 11, -6, 0, -11, -3; Experiment 11 liefert für k die Werte 0, -2, -7, -5, -8 – mit Ausnahme des ersten Wertes alle Werte ≤ 0 . Die – ebenfalls negativen – mit Abgleichmethode (VN) ermittelten Werte weichen davon deutlich in der Größenordnung ab (Experiment 8: -54; Experiment 11: -96)

Es ist offensichtlich, dass im Falle negativer Werte die Steigung k der Regressionsgeraden nicht als 3D-Ermittlungszeit interpretiert werden kann. Die Ergebnisse der Experimente 8 und 11 scheinen also die Hypothese H1 zu widerlegen. Was ist der Grund hierfür?

Hier zeigt sich, dass die Nullversuche – vgl. 6.2.5 Punkte 4. und 11. – wertvolle Interpretationshilfen geben können: Versuchsperson K in Experiment 8 war die einzige Versuchsperson, die sowohl im Nullversuch vor als auch im Nullversuch nach den Experimenten Werte für z

angab (vgl. 6.2.1 und 6.2.2.1 Punkt 4. und 11.). Die Höhe dieser Werte ist bei dieser Versuchsperson in der gleichen Größenordnung wie die gemessenen Werte in den Messreihen 5 und 7-10 mit Markierungsmethode (M). Auch Versuchsperson N in Experiment 11 gab im Nullversuch nach den Experimenten positive Werte von z an, die in der Größenordnung der in den Messreihen 5 und 7-10 mit Markierungsmethode (M) ermittelten Werte lagen. Im Unterschied dazu gaben die übrigen Versuchspersonen in den Nullversuchen entweder:

- a) gar keine Werte zu Protokoll, konnten somit – wie theoretisch zu erwarten – keine DSI-Lücke wahrnehmen (Versuchspersonen J und M aus Exp. 7 und 10 – vgl. 6.2.1 und 6.2.2.1 Punkt 4. und 11.) oder
- b) Werte im Nullversuch *vor* den Experimenten zu Protokoll, die in deutlich geringerer Größenordnung lagen und keinen Zusammenhang zwischen v und z zeigten, also eine Abszissenparallele bildeten (Versuchspersonen E und I aus den Experimenten 2 und 6 – vgl. 6.2.1 und 6.2.2.1 Punkt 4. und 11.) oder
- c) Werte im Nullversuch *nach* den Experimenten zu Protokoll, die einen Zusammenhang zwischen v und z in Form einer nahezu linear ansteigenden Kurve zeigten (Versuchspersonen F und L aus den Experimenten 3 und 9 – vgl. 6.2.1 und 6.2.2.1 Punkt 4. und 11.).

Der Fall c) signalisiert eine Ermittlungszeit und ist daher bemerkenswert. Zur weiteren Interpretation der Nullversuche siehe unten.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass die Versuchspersonen K und N in den Experimenten 8 und 11 in den Nullversuchen jeweils Messwerte lieferten, die mit denen aus den Messreihen 5 und 7-10 vergleichbar waren. Es ist somit anzunehmen, dass das, was diese beiden Versuchspersonen gemessen haben, nichts mit dem DSI-Phänomen zu tun hatte. Wenn man diese Interpretation akzeptiert, darf man die Ergebnisse der Experimente 8 und 11 nicht in das Gesamtergebnis integrieren. Verfährt man so, dann ergibt sich nach 6.2.2.5 eine mit der Markierungsmethode (M) über alle *übrigen* Versuchspersonen ermittelte **durchschnittliche 3D-Ermittlungszeit von 55 ms**.

Nun noch zu den weiteren Detail-Ergebnissen aus der Experimentalserie E2.

Zunächst wurde im **2. Testlauf** angetestet, ob eine **Verdunkelungsbrille** (Verlaufs-Sonnenbrille) mit Verdunkelungsfaktor 0,6 Einfluss auf die Breite des rNI hat. Drei Versuchspersonen berichteten, keine Veränderung wahrzunehmen, vier Versuchspersonen gaben eine Verkleinerung (um durchschnittlich ca. 37%), eine Versuchsperson eine Vergrößerung um ca. 60% an. Da die Ergebnisse derart uneinheitlich sind, lassen sich aus diesen Werten keine zuverlässigen Aussagen ableiten. In der Tat war der Verdunkelungsfaktor, den die benutzte Verdunkelungsbrille lieferte, nicht ausreichend, um einen Effekt zu zeigen (vgl. Howard, Rogers 1995, S. 535ff). Da dies ausführlich in Schuchardt (2003) untersucht wird, beließ es der Autor dieser Arbeit bei dieser dürftigen Datenerhebung, die allenfalls Vorversuchscharakter hat.

Der **3. Testlauf** sollte untersuchen, inwieweit die Versuchspersonen in der Lage sind, **die Breite der Juleszchen „topologischen“ Niemandsländer richtig einzuschätzen**. Diese Fähigkeit ist für die Abgleichmethode (VN) von entscheidender Bedeutung. Gelingt es nicht, die Breite dieser „topologischen“ Niemandsländer auf ca. einen Pixel genau einzustellen, so sinkt die Aussagekraft der Abgleichmethode (VN) rapide, da dieses Unvermögen unmittelbar als Fehler in die Messung eingeht. Erstaunlicherweise war keine einzige Versuchsperson in der Lage, die Werte korrekt einzustellen – die meisten lagen sogar mindestens einmal eklatant (>10 Pixel) daneben (Experimente 3, 6, 8, 9, 10, 11 – vgl. 6.2.2.1 Punkt 3.). Dieses Ergebnis deutet darauf hin, dass die mit Abgleichmethode (VN) ermittelten Werte fehlerbehaftet sind. (Für die mit Markierungsmethode (M) ermittelten Werte sind die in diesem 3. Testlauf erho-

benen Ergebnisse irrelevant.) **Damit können die in allen Experimenten von E1 und E2 mit Abgleichmethode (VN) festgestellten großen Streuungen (vgl. 6.1.3 sowie 6.2.5, Punkt 6.) erklärt werden.** Darüber hinaus ist dieser Befund ein Hinweis darauf, dass die mit Markierungsmethode (M) ermittelten Messwerte als zuverlässiger angesehen werden dürfen.

Zur Bedeutung der Nullversuche:

Nullversuch vor den Versuchsreihen: Hier sind die Versuchspersonen noch ziemlich unerfahren – sie haben das Phänomen erst ein Mal im 1. Testlauf kennen gelernt. Möglicherweise deuten sie eine gewisse „Unschärfe“ des auftauchenden Musters als DSI-Phänomen fehl. Der Verlauf der Kurven deutet jedoch (mit Ausnahme von Experiment 2) nicht darauf hin, dass 3D-Ermittlungszeiten – etwa t_{jul} (vgl. 8.2) eine Rolle spielen, da sonst ein linear ansteigender Verlauf im v - z -Diagramm zu erwarten wäre. Die Mittelwerte deuten vielmehr auf einen konstanten Effekt hin, der unabhängig von der Geschwindigkeit ist und somit nicht als 3D-Ermittlungszeit bzw. als (wie auch immer geartete) „Verrechnungs“-Zeit interpretiert werden kann.

Nullversuch nach den Versuchsreihen: Inzwischen kennen die Versuchspersonen den DSI-Effekt sehr gut, sie haben sich in den langen Messreihen an das Phänomen „gewöhnt“. Es erscheint ihnen derart normal, dass das DSI-Phänomen als Artefakt auch dann noch wahrnehmbar ist, wenn es beim normalen Tiefensehen in der Regel gar nicht sichtbar ist – kann doch die Tiefenposition der *Hecke* problemlos, weil in Übereinstimmung mit der lebenslangen Seherfahrung – extrapoliert werden, so dass die DSI-Lücke „ausgefüllt“ wird. Der leicht ansteigende Verlauf der Messwerte (mit Ausnahme von Experiment 8 und Experiment 11, s.o.) deutet auf einen nur geringen Zusammenhang zwischen der Breite der Lücke und der Geschwindigkeit v der *Hecke* hin (vgl. 6.2.2.1 Punkt 11.) – im Gegensatz zu den Nullversuchen vor der Versuchsreihe (vgl. 6.2.2.1 Punkt 4.). Dieser Anstieg ist zwar gering, aber dennoch bemerkenswert, da die Reihenfolge sowohl in den Messreihen, als auch in den Nullversuchen immer randomisiert wurde. Offenbar haben die Versuchspersonen entweder „gemerkt“ oder als unbewusste Hypothese voraus gesetzt, dass das rNl mit der Geschwindigkeit anwächst, und übertrugen dann diese implizite Annahme auf das im Nullversuch wahrgenommene Artefakt, oder der DSI-Effekt setzt sich auf die Situation des *Zweiges* vor der *Hecke* fort und die in 4.2 angesprochene Extrapolation findet nicht mehr statt. Um diese alternativen Deutungen zu bestätigen, müssten jedoch weitere Experimente mit geeigneten Versuchspersonen (nicht alle Versuchspersonen in E2 bestätigten dieses Nullversuch-Phänomen) gemacht werden.

Der **Hauptversuch, 5. Messreihe mit Markierungsmethode (M)** wird weiter unten im Zusammenhang mit den Ergebnissen der **Messreihen 7-10** diskutiert.

Mit **Abgleichmethode (VN)** wurde die **6. Messreihe** durchgeführt. Die gesammelten Daten zeigen starke interindividuelle Unterschiede. Die einzelnen Messergebnisse der Versuchspersonen ergeben jeweils eine sehr schwer zu deutende Datenwolke (vgl. 6.2.2.1 Punkt 6.). Dennoch kann man nach Zusammenfassung der erfolgreichen Experimente (2, 3 und 6-11) mit hohen Streuungen eine Tendenz erkennen. Lässt man die Experimente 8 und 11 unbeachtet (siehe oben), so ergibt sich eine streuende Datenwolke, durch die man eine Regressionsgerade mit der als 3D-Ermittlungszeit interpretierten Steigung von **41 ms** legen kann. (Die Regressionsgerade hat den Ordinatenabschnitt von 0,256 – vgl. weitere Diskussion der Ergebnisse mit Markierungsmethode (M) s.u.) Diese Zeit liegt in einer vergleichbaren Größenordnung wie der analoge Wert nach Zusammenfassung aller Experimente mit Markierungsmethode (M) von 55 ms. Dies bedeutet, dass die Abgleichmethode (VN) trotz der hohen Streuung und trotz des Befundes aus dem 3. Testlauf (s.o.) annähernd vergleichbare Werte liefert wie die Markierungsmethode (M), was erneut das Vertrauen in die ursprüngliche Hypothese H1 stärkt.

Die *Messreihen 7-8 und 9-10* zeigen, dass die Parameter „**Raumfrequenz**“ und „**Anzahl der Ankerpunkte**“ in der gemessenen Ausprägung keine signifikante Rolle für die Breite des rNl spielen (vgl. 6.2.2.1 Punkte 7-10.). **Die Nullhypothesen $H_0(\text{RF})$ und $H_0(\text{AP})$ wurden somit bestätigt.** Aus diesem Grund dürfen die in den Messreihen 7-10 ermittelten Messwerte in die Gesamtheit aller mit Markierungsmethode (M) ermittelten Messwerte aufgenommen werden.

Kernstück der Experimentalserie E2 sind die mit **Markierungsmethode (M)** ermittelten Messwerte (*Messreihen 5 und 7-10*). Die Ergebnisse dieser Messreihen sind in 6.2.2.3 und 6.2.2.4 zusammen gefasst. Es zeigen sich – wie in E1 – interindividuell unterschiedliche Verläufe im v-z-Diagramm. Dennoch liefern nahezu alle Versuchspersonen (mit Ausnahme von K und N in den Experimenten 8 und 11 – s.o.) eine ansteigende Kurve. Betrachtet man trotz interindividueller Streuung die Verteilung der Mittelwerte, so ergibt sich – wie in E1 – ein nahezu proportionaler Verlauf des Graphen im v-z-Diagramm, der allerdings – noch deutlicher als in E1 – nicht mehr als Ursprungsgerade gedeutet werden kann (vgl. 6.2.2.3 und 6.2.2.4).

Die durchschnittlichen Ordinatenabschnitte der Messreihen 5 und 7-10 lagen **zwischen 0,138 und 0,186 Winkelgrad** mit einem **Durchschnitt von 0,181 Winkelgrad** – bzw. **zwischen 0,096 und 0,170 Winkelgrad** mit einem **Durchschnitt von 0,160 Winkelgrad**, wenn man die Experimente 8 und 11 außer acht lässt. Nach der oben angegebenen Interpretation werden die Steigungen der Regressionsgeraden als 3D-Ermittlungszeiten interpretiert.

Fasst man alle mit Markierungsmethode (M) ermittelten Messwerte zusammen, so ergeben sich interindividuell unterschiedliche 3D-Ermittlungszeiten **zwischen 37 und 99 ms** (wenn man die Experimente 8 und 11 und von den übrigen Messwerten die extremen Randwerte von 19 und 142 ms außer acht lässt). Die durchschnittlichen 3D-Ermittlungszeiten der Messreihen 5 und 7-10 lagen **zwischen 40 und 46 ms** mit einem **Durchschnittswert von 41 ms** – bzw. **zwischen 41 und 63 ms** mit einem **Durchschnitt von 55 ms**, wenn man die Experimente 8 und 11 außer acht lässt. Diese Werte liegen niedriger als die in E1 ermittelten.

Gibt es Lerneffekte?

In E2 wurde auch der Einfluss von Lerneffekten untersucht. Hierzu wurden die Messwerte in zwei Blöcke eingeteilt: Der erste Block bestehend aus den ersten sieben Messwerten einer Reihe (mit 13 Messwerten insgesamt) und der zweite Block bestehend aus den letzten sieben Messwerten (wobei der mittlere siebte Messwert aus Symmetriegründen zu beiden Blöcken hinzugerechnet wurde).

Überraschenderweise zeigen die Graphen in 6.2.3, dass die abhängige Variable durch die Zugehörigkeit zu den Blöcken nicht beeinflusst wurde. Laut Tabelle in 6.2.4 trat in Block II, also bei den späteren Messungen, allenfalls eine kleine (nichtsichere) Verringerung der Standardabweichung von 45,1% auf 43,9% auf, die nicht als Lerneffekt – im Sinne einer geringer werdenden Streuung der Messwerte – interpretiert werden kann. Insgesamt konnten also keine Lerneffekte festgestellt werden.

Zusammenfassend ist festzuhalten:

Durch die Experimentalserie E2 wurde die Hypothese H1 in einem erweiterten Geschwindigkeitsbereich bis $v = 8,8$ Grad/s bestätigt. Zwei Versuchspersonen konnten dieses Ergebnis nicht bestätigen. Deren Messergebnisse lassen sich zwanglos als Artefakte deuten. Bei den sechs erfolgreichen Versuchspersonen ergaben sich mit Markierungsmethode (M) konstante durchschnittliche 3D-Ermittlungszeiten zwischen 54 und 63 ms, im Mittel 57 ms. Es wurden keine Lerneffekte beobachtet, die Parameter „Raumfrequenz“ und „Anzahl der Ankerpunkte“ hatten keinen Einfluss auf die Ausprägung der abhängigen Variable (die Breite des „rechen-“zeitbedingten Niemandslandes).

Zwischen den Ergebnissen der Experimentalserien E1 und E2 gab es Unterschiede in der Quantität der abhängigen Variable z , der Breite des „rechen-“zeitbedingten Niemandslandes: Die Werte in E2 lagen mit durchschnittlich **55 ms** niedriger als diejenigen aus E1 (**zwischen 70 und 81 ms**).

Hierbei ist zu beachten, dass in E1 mit Markierungsmethode (M) nur Messwerte im Geschwindigkeitsbereich $0 < v < 2,9^\circ/s$ ermittelt wurden. Betrachtet man nun in E2 nur diejenigen – ebenfalls mit Markierungsmethode (M) erfassten – Werte von z , die bei Geschwindigkeiten $v < 2,9^\circ/s$ ermittelt wurden, so erhält man in diesem Bereich eine 3D-Ermittlungszeit von rund **90 ms** (vgl. 6.3.2)! Dies führte zu einer post-hoc-Vermutung, dass nämlich in einem Bereich bis etwa $3^\circ/s$ das dreidimensionale Sehen eine höhere Ermittlungszeit benötigt als für höhere Geschwindigkeiten (vgl. Rosenzweig et al., 2002-1). Träfe diese Hypothese zu, wäre sie leicht zu interpretieren. Gegenfurtner et al. (1996) beschreiben unterschiedliche Verarbeitungswege für schnelle und langsame Bewegungen. Ähnliche Aussagen finden sich in van de Grind et al. (2000), Edwards et al. (1997) und Anderson, Burr (1985). Sollte sich die genannte Vermutung bestätigen, so würde dies darauf hindeuten, dass es verschiedene Verarbeitungswege für schnelle und langsame Bewegungen auch beim 3D-Sehen gibt. Im v - z -Diagramm würde sich dies durch eine Verlaufsveränderung, einen „Knick“ der Messkurve manifestieren (vgl. Diagramm in 6.3.2). Die Messwerte in E2 bilden aber für diese Hypothese keine ausreichende Grundlage, zumal es sich um eine aus den Daten von E1 und E2 konstruierte post-hoc-Vermutung handelt. Um eine Entscheidung zu treffen, ob diese Vermutung zutrifft, war es daher unumgänglich, neue Daten zu erheben.

Die Messergebnisse aus der abschließenden Experimentalserie E3 konnten die post-hoc vermutete Verlaufsänderung im v - z -Diagramm, die auf verschiedene Verrechnungssysteme hingedeutet hätte, nicht reproduzieren. Daher wurde die Vermutung verworfen (vgl. Rosenzweig et al., 2002-2) und die Ausgangshypothese H1 erneut bestätigt. Eine alternative Deutung des Messkurvenverlaufs in E2 anhand der bereits oben zitierten Studie von de Valois und de Valois (1991) wird unter 8.4 diskutiert.

Ein weiteres Problem der bisherigen Experimente in E1 und E2 bestand darin, dass starke interindividuelle Unterschiede festgestellt wurden. Eine Mittelwertbildung über mehrere Versuchspersonen verwischt diese individuellen Unterschiede. In der neuen Experimentalserie E3 wurden daher für jeden Wert von v pro Versuchsperson insgesamt fünf verschiedene Messwerte ermittelt. So konnten für jede beteiligte Versuchsperson individuelle und weit verlässlichere Messkurven erstellt werden.

An der Experimentalserie E3 waren drei Versuchspersonen beteiligt. Alle Versuchspersonen lieferten verwertbare Messwerte, die der folgenden Diskussion zugrunde liegen. Jedes Experiment bestand aus fünf Durchgängen, in denen Messwerte für festgelegte Werte der unabhängigen Variable v in randomisierter Reihenfolge erfasst wurden.

Für jeden Wert v wurde aus den fünf Messungen der Durchschnittswert ermittelt. Die *Standardabweichungen* dieser Durchschnittsbildung variierten hierbei mit Werten zwischen 6,4% in Exp. 3 und 26,1% in Exp. 1 (wenn man die extrem aus dem Rahmen fallenden Randwerte von 4,7% in Exp. 2 und 39,5% in Exp. 1 unbeachtet lässt). Die *durchschnittlichen Standardabweichungen* der einzelnen Experimente sind: Experiment 1: ca. **19%**, Experiment 2: ca. **15%** und Experiment 3: ca. **16%**. (Die Daten ergeben sich aus den Tabellen in 10.2.8.)

Die quantitativ sich unterscheidenden Ergebnisse der drei Versuchspersonen deuten auf starke interindividuelle Unterschiede hin. Ähnliche interindividuelle Unterschiede wurden bereits in E1 und E2 beobachtet. Dennoch erkennt man an dem zusammenfassenden Diagramm (vgl. 7.2.2), dass die v - z -Diagramme für jede Versuchsperson einen analogen Verlauf zeigen: Alle drei ermittelten Graphen ergeben – in Bestätigung der Hypothese H1 – einen nahezu linearen Zusammenhang zwischen der unabhängigen Variable, der *Heckengeschwindigkeit* v , und der abhängigen Variable, der Breite des „rechen-“zeitbedingten Niemandslandes z .

Die nach H1 als 3D-Ermittlungszeit zu interpretierende Steigung ergibt die folgenden unterschiedlichen Werte:

- Exp. 1: **58 ms** (mit Ordinatenabschnitt $l = 0,010^\circ$),
- Exp. 2: **82 ms** (mit Ordinatenabschnitt $l = 0,129^\circ$),
- Exp. 3: **62 ms** (mit Ordinatenabschnitt $l = 0,098^\circ$).

Wenn man die einzelnen Messwerte an den verschiedenen Werten von v mittelt, ergibt sich als Durchschnittswert **67 ms** (mit Ordinatenabschnitt $l = 0,098^\circ$).

Der Unterschied zwischen den Resultaten der drei Versuchspersonen liegt vor allem im Betrag des (jeweils positiven) Ordinatenabschnittes der ermittelten Regressionsgeraden. Die von der Versuchsperson in Experiment 1 gelieferten Messwerte liegen um etwa **36% niedriger** (Stdabw. 9%), die in Experiment 2 um durchschnittlich **34% höher** (Stdabw. 6%) und die in Experiment 3 um durchschnittlich **2% höher** (Stdabw. 5%) **als der gemeinsame Mittelwert**. Hier zeigt sich erneut deutlich die interindividuelle Variabilität des Parameters l , der den Ordinatenabschnitt darstellt. Sie ist höher als die intraindividuelle Streuung, die die Versuchspersonen zwischen den eigenen Messwerten aufweisen. Dieser Parameter kann wie bei der Diskussion von E2 beschrieben interpretiert werden.

Der Unterschied der drei Versuchspersonen im Betrag der Steigung der als 3D-Ermittlungszeit zu interpretierenden Regressionsgeraden erweist sich als viel geringer.

Zusammenfassend kann man festhalten:

Durch die Experimentalserie E3 wurde die Hypothese H1 im gleichen Bereich wie in E2, also bis ca. $v = 8,8$ Grad/s bestätigt. Im Vergleich mit E1 und E2 lieferte E3 die verlässlichsten Resultate, da die angegebenen Messwerte sich aus dem Mittelwert von jeweils fünf Einzelmessungen zusammen setzten. Bei den drei Versuchspersonen ergaben sich mit Markierungsmethode (M) drei unterschiedliche Werte für die konstante durchschnittliche 3D-Ermittlungszeit. Sie betragen 58 ms, 82 ms und 62 ms. Der Durchschnittswert liegt bei 67 ms.

Die Ergebnisse von E3 bilden einen Rahmen, in dem sowohl die in E1 als auch die in E2 – jeweils mit Markierungsmethode (M) – gemessenen Werte für die 3D-Ermittlungszeit eingeordnet werden können: E1 lieferte durchschnittliche 3D-Ermittlungszeiten zwischen 70 und 81 ms (je nach Mittelungsvariante – vgl. 6.1.2.3 Tabelle 5), E2 eine durchschnittliche 3D-Ermittlungszeit von 57 ms (vgl. 6.2.2.5 Punkt 2.) und E3 3D-Ermittlungszeiten von 58, 82 und 62 ms, im Durchschnitt: 67 ms (vgl. 7.2.3).

Zusammenfassend folgt aus auswertbaren Messdaten dieser Arbeit:

1. Mit wachsender Geschwindigkeit v der bewegten *Hecke* vergrößert sich das rNI stetig. Die Interpretation, dass eine 3D-Ermittlungszeit die Ursache für das dieser Arbeit zugrunde liegende DSI-Phänomen ist, kann somit als bestätigt gelten.
2. Mustereigenschafts-Parameter wie Raumfrequenz und Anzahl der Ankerpunkte sowohl von *Hecke* als auch von *Zweig* haben im Bereich der getesteten Werte keinen Einfluss auf das DSI-Phänomen.
3. Die DSI-Lücke kann von fast allen stereotüchtigen Personen wahrgenommen werden – ihre Quantifizierung ist jedoch aufgrund der subjektiv empfundenen schweren Bestimmbarkeit mit Schwierigkeiten verbunden. Nicht alle Versuchspersonen waren in der Lage, den DSI-Effekt zuverlässig zu quantifizieren.
4. Es wurden interindividuelle Unterschiede festgestellt, die sich zum größeren Teil in einem konstanten additiven Zusatzfaktor (Ordinatenabschnitt l), und zum geringeren Teil im Betrag der abhängigen Variable, des „rechen-“zeitbedingten Niemandlandes manifestierten. Dennoch verlaufen die ermittelten Graphen im v - z -Diagramm analog.
5. Die in dieser Arbeit ermittelten 3D-Ermittlungszeiten liegen zum großen Teil im Bereich zwischen 50 und 80 ms.

8.2 Verallgemeinerung der Ergebnisse

Wie bereits beschrieben gibt es interindividuelle Unterschiede zwischen den Versuchspersonen, die jedoch nur die Quantität des DSI-Phänomens betreffen, also die Höhe der gemessenen Werte der DSI-Lücke z. Qualitativ verzeichnen verschiedene Versuchspersonen jedoch einen weitgehend gleichen Verlauf im v-z-Diagramm – vgl. 6.1.3, 6.2.4 und 7.2.3. Für die Verallgemeinerbarkeit der Ergebnisse ist wichtig, welche Prozesse bei der Wahrnehmung des DSI-Phänomens eine Rolle spielen. Wie geht das Gehirn beim 3D-Sehen vor, welche Ermittlungs- oder „Verrechnungs-“ Zeiten sind für das räumliche Sehen relevant?

Nach Julesz et al. (1976) und Breitmeyer et al. (1975) – vgl. auch Julesz (1995) – gibt es eine Mindestpräsentationszeit der Einzelbilder beim dynamischen Random-dot-Stereogramm. Hierbei handelt es sich um ein Random-dot-Stereogramm, das ein Objekt (beispielsweise das „schwebende Quadrat“) darstellt, und das in jeder Zeiteinheit mit einer neuen Pixeldarstellung realisiert wird. Bis zu einer Schwelle von etwa 60 Hz werden dynamische Random-dot-Stereogramme gerade noch räumlich wahrgenommen, sofern sich die räumliche Anordnung der gebotenen Tiefenebenen nicht ändert. Dies entspricht einer Darbietungszeit von $t_{\text{Jul}} \sim 17$ ms. Dieser Wert liegt weit unter den in dieser Arbeit ermittelten 3D-Ermittlungszeiten. Er könnte allenfalls als „Sockelwert“ interpretiert werden, wenn man davon ausgeht, dass die Verarbeitung seriell geschieht. In jedem Fall ist t_{Jul} mit knapp 17 ms viel zu kurz, um die Tiefenpositionen bei jedem Bildwechsel jedes Mal neu zu errechnen. Vielmehr scheint das Sehsystem – vielleicht anhand von „Stichproben“ – lediglich zu überprüfen, dass sich die Tiefenverhältnisse nicht verändert haben, und hält das Perzept des schwebenden Quadrats solange aufrecht.

Eine weitere Möglichkeit, 3D-Ermittlungszeiten zu erfassen, besteht im folgenden: Bietet man ein Random-dot-Stereogramm, etwa mit einem schwebenden Quadrat (wie der *Zweig* in den hier beschriebenen Experimentalserien), alternierend hinter bzw. vor dem Grundmuster (hier: *Hecke*) dar, so wird der *Zweig* (um bei der Terminologie zu bleiben) bis zu einer bestimmten Frequenz auch alternierend vor bzw. hinter der *Hecke* wahrgenommen. Ab einer Grenzfrequenz der alternierenden Darbietungen (aufgrund von Vorversuchen etwas über 10 Hz; Wolf, unpubl.) wird der *Zweig* für einige Zeit in einer der beiden Positionen dauerhaft wahrgenommen – das visuelle System „kommt nicht mehr hinterher“ und entscheidet sich für eine der beiden Interpretationen, kann diese Interpretation aber ändern. Diese Schwellenfrequenz führt zu einer Präsentationszeit t_{inv} des *Zweiges*, bei der das Umspringen von hinten nach vorne gerade noch wahrnehmbar ist. Auch dies kann als eine für das 3D-Sehen relevante Ermittlungs- bzw. „Verrechnungs-“ Zeit angesehen werden.

Doch im Gehirn wird nicht nur die räumliche Position, sondern auch allen weiteren Eigenschaften von Mustern, Szenen und Objekten verarbeitet. Bei serieller Verarbeitung (und nur dann) beeinflussen diese Verarbeitungszeiten die Zeit bis zur korrekten 3D-Wahrnehmung. Da verschiedene Gehirne abhängig von Prädisposition und Intensität der „Nutzung“ unterschiedlich schnell arbeiten können (zur Plastizität vgl. Birbaumer, Schmidt, 1996, Kap. 24, S. 565ff) verwundern die gefundenen interindividuellen Unterschiede nicht. Umgekehrt deutet der vergleichbare Verlauf der ermittelten Graphen im v-z-Diagramm darauf hin, dass in den Experimentalserien tatsächlich ein fundamentaler, Zeit benötigender Mechanismus gemessen wurde, der für das 3D-Sehen charakteristisch ist.

Wie weit diese Erkenntnis verallgemeinert werden kann, wird im folgenden Kapitel diskutiert.

8.3 Kritik des Versuchsplans bzgl. Störfaktoren

An dem Versuchsplan kann an mehreren Stellen Kritik geübt werden, die die Interpretationskraft der gewonnenen Ereignisse reduziert, ihre Verallgemeinerbarkeit einschränkt und die Aussagekraft schmälert.

Ein grundsätzlich immer auftretendes Problem von Laborversuchen ist die **Reduktion** eines in der Natur beobachteten Phänomens **auf eine Laborsituation**. Der Vorteil der Kontrollierbarkeit der Parameter wird dabei mit dem Nachteil der eingeschränkten Übertragbarkeit auf natürliche Umweltbedingungen bezahlt. In unserem Falle kommt die Übertragung des natürlichen Phänomens auf das Medium PC und die zusätzliche Nutzung einer Shutterbrille hinzu. Dabei wird nicht eine natürliche kontinuierliche Bewegung, sondern eine künstliche diskrete Scheinbewegung dargeboten. Diese wird jedoch (wie im Film) als Bewegung wahrgenommen und unterscheidet sich kaum von der Wahrnehmung kontinuierlicher (also natürlicher) Bewegungen. Bei der Darstellung der Szene im Shutter-Modus (S) kommt hinzu, dass *Zweig* und *Hecke* den beiden Augen nur mit der Hälfte der Darstellungsfrequenz des Monitors geboten werden können. Aus den in 4.4.1 beschriebenen Gründen entschloss sich der Autor dieser Arbeit dennoch, den Schritt zum PC-Modell zu machen. Die beschriebenen Modellreduzierungen scheinen zu keinen messbaren Störeffekten zu führen (vgl. Schuchardt, 2003).

Dennoch sei in diesem Zusammenhang auf eine mögliche Quelle von Störfaktoren hingewiesen, die in der Reduktion des Modells von der realen Situation auf die Darstellung im PC begründet ist: In der realen Situation befindet sich der *Zweig* einem Abstand x von der *Hecke* entfernt (tatsächlich: *vor* der *Hecke*, pseudoskopisch: *hinter* der *Hecke*). Auf jeden Fall liegen *Hecke* und *Zweig* in zwei Ebenen, die sich in unterschiedlicher Entfernung vom Beobachter befinden. Der Konvergenzwinkel (vgl. 3.1.1) bei Betrachtung von *Hecke* und *Zweig* ist somit in der realen Situation verschieden. In der PC-Simulation ist dies nicht der Fall, da die Darstellung auf dem Monitor, also in einer einheitlichen Entfernung vom Beobachter erfolgt. In den Experimenten mit Markierungsmethode (M) in E2 beispielsweise betrug der „imaginäre Zweigabstand“ x aber nur rund 5 cm bei einer Beobachtungsentfernung von $r = 70$ cm – siehe Tabelle 6.2. Der genannte Effekt dürfte somit in den in dieser Arbeit betrachteten Größenordnungen klein genug sein, um zu keinen messbaren Störungen zu führen.

Ein problematischer Faktor bei allen psychophysischen Experimenten ist die Motivation und Konzentration der Versuchspersonen. Diese hängt sowohl von der momentanen Stimmung als auch von der Beziehung ab, die die Versuchsperson zum Versuchsleiter hat. Hinzu kommt, dass die Stereoerfahrung der Versuchspersonen unterschiedlich ist. Weiterhin hatten Versuchspersonen in E1 und E3 – im Gegensatz zu E2 – bereits Erfahrungen in der Beobachtung, diejenigen in E3 sogar mit der Quantifizierung des DSI-Phänomens gesammelt. So zeigen sich in der Tat Abweichungen der in E2 erhobenen Daten von denen, die unter vergleichbaren Bedingungen in E1 und E3 erfasst wurden.

Ein weiteres Problem, das als Störfaktor bei unerfahrenen Versuchspersonen aufgetreten sein könnte, ist die im Vorversuch VV2 (vgl. 5.2) angedeutete **Prägung der subjektiven Wahrnehmung**. Möglicherweise haben Prägungseffekte dazu geführt, dass einige Versuchspersonen in E2 das Phänomen nicht sofort erkennen konnten und dann nicht mehr in der Lage waren, von dieser „Nicht-Erkennungs-Wahrnehmung“ wieder abzukommen. Dies verhinderte deren weitere Teilnahme an den Experimenten – vgl. 6.1.1. Dieser Effekt könnte auch an den abweichenden Ergebnissen der beiden Versuchspersonen K und N aus den Experimenten 8 und 11 in E2 beteiligt gewesen sein (vgl. 6.2.1).

Der **Beobachtungsabstand** ist eine Größe, die in E2 und E3 konstant (bei 70 cm) festgelegt wurde. In die Größen, die in der Einheit „Grad“ gemessen werden, geht der Beobachtungsabstand als Rechenparameter ein. Das Verhältnis z/v ist jedoch unabhängig vom Beobachtungsabstand. Aus diesem Grund wurde darauf verzichtet, den Beobachtungsabstand – etwa durch ein Beißbrett – exakt zu halten. Der Beobachtungsabstand wurde zu Beginn der Messreihe pro Versuchsperson ausgemessen und dann die gesamte Messreihe über möglichst genau beibehalten.

In der Instruktion wurden die Versuchspersonen gebeten, als Einstellmethode bei der Messung der abhängigen Variable die „**Einkreismethode**“ zu benutzen. Dies wurde von den Versuchspersonen in unterschiedlicher Ausprägung umgesetzt. Die meisten Versuchspersonen entwickelten im Lauf der Messungen eine eigene individuelle Art und Weise, wie sie die Messwerte eingrenzten. Ob dies als Mitursache für die interindividuellen Unterschiede zwischen den Versuchspersonen verantwortlich gemacht werden kann, bleibt unklar. Zumindest soll es als möglicher Störfaktor an dieser Stelle erwähnt werden. Ein Vergleich der Ergebnisse von E2 und E3 legt nahe, dass im Einzelfall konsequentes Anwenden der Einkreismethode den systematischen Überschätzungsfehler minimieren könnte; in E3 wurde verstärkt darauf geachtet, dass die Einkreismethode angewandt wird. Allerdings wurde nicht evaluiert, inwieweit dies konsequent von den Versuchspersonen umgesetzt wurde.

Wie bereits in 6.1.3 und in 8.1 beschrieben, ist offensichtlich ein Störfaktor aufgetreten, der dafür sorgte, dass die von den Versuchspersonen eingestellten Werte der abhängigen Variable z – nach der hier beschriebenen Interpretation – etwas größer angegeben wurden als tatsächlich wahrgenommen. Im v - z -Diagramm manifestiert sich dieser Störfaktor als positiver Ordinatenabschnitt I. Eine ausführliche Diskussion dieses Störfaktors hat bereits in 8.1 stattgefunden. Entscheidend hierbei sind vor allem aber die Betrachtungen im folgenden Abschnitt 8.4.

Ungeklärt bleibt, inwieweit sich der **Fixierpunkt** bzw. von Probanden ausgeführte **Augenbewegungen** auf das DSI-Phänomen auswirken. Die Versuchspersonen wurden zwar anfangs instruiert, den Rand des *Zweiges* zu fixieren. Dies wurde in den Experimentalserien jedoch nicht kontrolliert. Auch wurden keine Aufzeichnungen der Augenbewegungen durchgeführt. Nach Yarrow K. et al. (2001) sehen wir nach einer Augenbewegung das neue Bild um genau so viel länger wie die Augenbewegung zuvor gedauert hat. Sollten sich dies als Störfaktor herausstellen, so würde sich das interindividuell bemerkbar machen.

Zusammenfassend zeigen die Überlegungen, dass die Störfaktoren in Summe die Ergebnisse zwar geringfügig beeinträchtigen können. Dennoch kann man davon ausgehen, dass sich die Beeinträchtigung in engen Grenzen hält und die Ergebnisse weder systematisch noch in größerem Umfang quantitativ verfälscht wurden. Die in der Arbeit gemachten Aussagen erscheinen daher zuverlässig.

Viele der genannten Störfaktoren sind abhängig von den einzelnen Versuchsperson und wirken sich allenfalls auf die interindividuelle Vergleichbarkeit der Messwerte aus. Dabei ist schwer zu beurteilen, welchen Anteil diese Störfaktoren auf den interindividuellen Unterschied haben, und welcher Anteil daher rührt, dass die Sehsysteme der Versuchspersonen verschieden schnell oder auf etwas unterschiedliche Weise arbeiten. Jedoch ist auch darin kein Grund zu sehen, die Aussagekraft der vorliegenden experimentellen Ergebnisse als fragwürdig anzusehen.

8.4 Der de Valois'sche „Verschiebungseffekt“

An dieser Stelle sei nun auf Ergebnisse der bereits zweifach zitierten Studie von de Valois und de Valois (1991) verwiesen. Darin wird die subjektiv wahrgenommene Verschiebung eines Objektes untersucht, auf dem sich ein Muster bewegt – das Phänomen, das nach der unter 8.1 diskutierten Deutung für den positiven Ordinatenabschnitt I der in dieser Arbeit ermittelten v-z-Diagramme verantwortlich ist. Ursache für diesen Effekt ist die Fähigkeit unseres Gehirns, Ereignisse vorzudatieren. In der Tat scheint es biologisch sinnvoll zu sein, den Ort eines bewegten Objekts durch Extrapolation etwa um die Strecke vorzudatieren, die es während der Ermittlungszeit seiner Bewegungsdaten zurücklegt.

Die Bewegungsinformation im untersuchten Bereich (im Falle dieser Arbeit also des *Heckenmusters*) führt dazu, dass das Gehirn den untersuchten Bereich, also die DSI-Lücke in Bewegungsrichtung verschiebt. Dies müsste zur Folge haben, dass sich auch der untere Rand der DSI-Lücke (der mit dem oberen Rand des *Zweiges* zusammen fällt) um den gleichen Betrag verschiebt – ein Umstand, der Gegenstand von weiterführenden Experimenten sein sollte (s.u.).

In der aus de Valois und de Valois (1991) übernommenen Abbildung 8.4 zeigten drei Vpn. unterschiedliche Abhängigkeiten zwischen der wahrgenommenen Verschiebung und der Geschwindigkeit des Musters. Die Mustergeschwindigkeit ist in der Originalabbildung als „temporal frequency“ in Hz dargestellt, wobei bei einer Raumfrequenz der in der Studie verwendeten Gabor-Patches von 2 c/deg folglich die Umrechnungsformel: $1^\circ/\text{s} = 2\text{Hz}$ gilt.

Das in diesem Abschnitt beschriebene Phänomen sei in den hier aufgeführten Betrachtungen als **de Valois'scher „Verschiebungseffekt“** bezeichnet.

Wie in 6.3 beschrieben, zeigen insbesondere die Messergebnisse der Experimentalserie E2 einen Verlauf, der auf einen „Knick“ hinweist. Trägt man nun die entsprechend umgeformten Daten aus Abbildung 8.4 aus de Valois und de Valois (1991) zusammen mit den in E2 mit Markierungsmethode (M) gesammelten Messwerten gemeinsam in ein Diagramm ein, so erhält man die folgende Grafik:

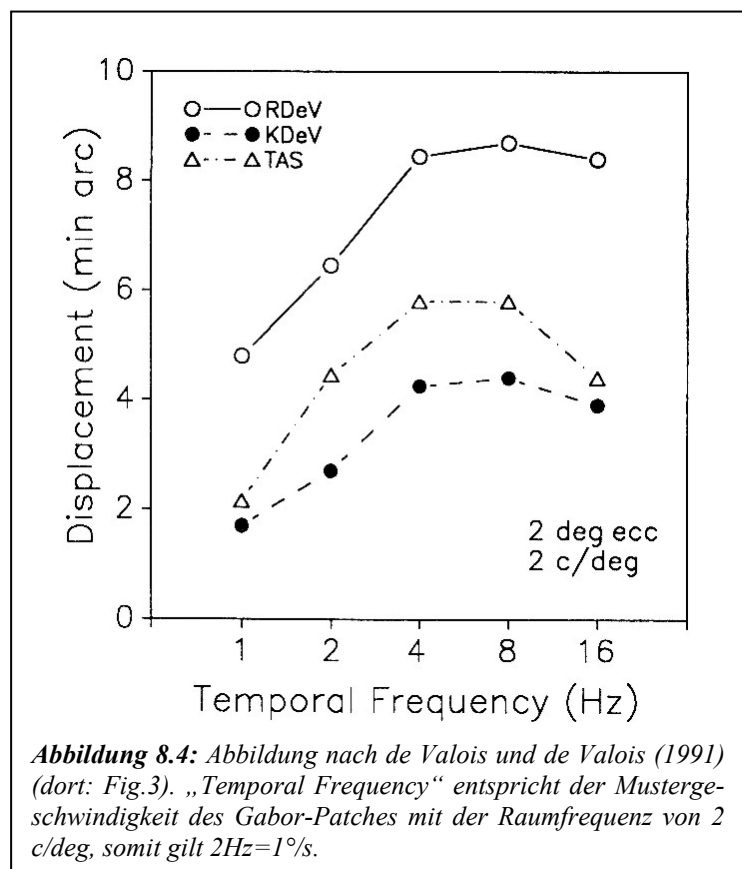
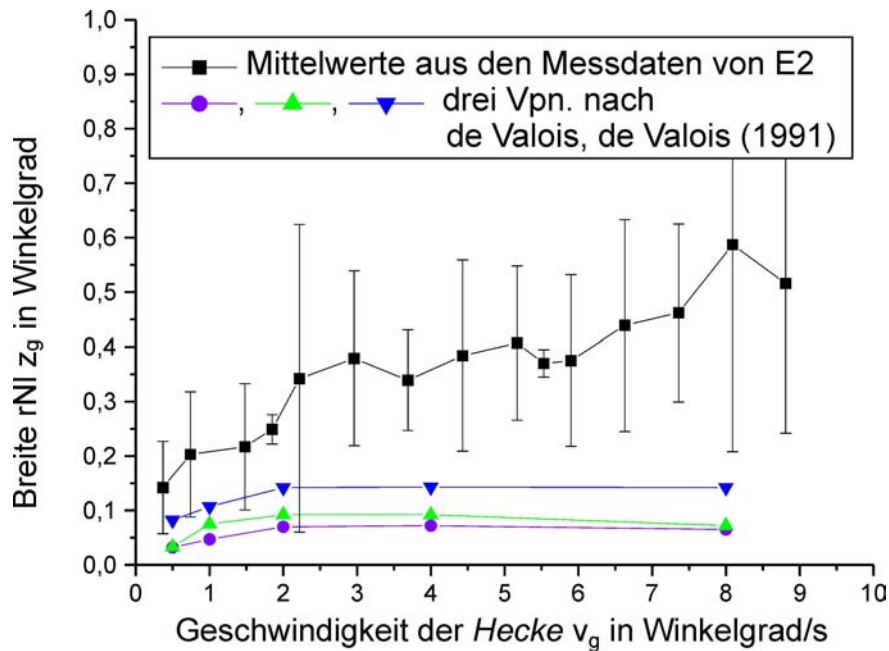


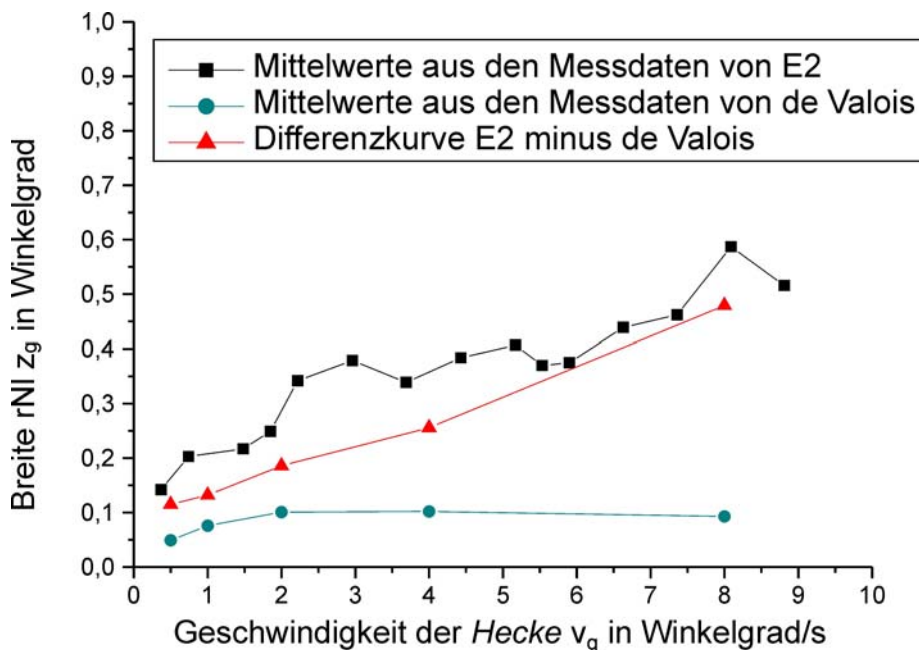
Abbildung 8.4: Abbildung nach de Valois und de Valois (1991) (dort: Fig.3). „Temporal Frequency“ entspricht der Mustergeschwindigkeit des Gabor-Patches mit der Raumfrequenz von 2 c/deg, somit gilt $2\text{Hz} = 1^\circ/\text{s}$.



Man erkennt leicht, dass das von de Valois und de Valois (1991) ermittelte Maximum der Verschiebung zwischen den Zeitfrequenzen 4 und 8 Hz (was einer Mustergeschwindigkeit zwischen 2 und 4 °/s entspricht) überraschend genau mit dem Bereich zusammenfällt, in dem vorher eine Verlaufsveränderung („Knick“) in den Daten von E2 – anhand des Graphenverlaufs – vermutet wurde (ca. 3°/s – vgl. 6.3.2).

Allerdings gelten diese Werte nur bei einer Exzentrizität von 2 Grad – bei 0 Grad sinkt der Wert auf durchschnittlich 1/3 davon ab (vgl. de Valois, de Valois, 1991, Fig. 2). Bei den in dieser Arbeit beschriebenen Messungen konzentriert man sich auf eine Markierung am rechten Rand des zu beobachtenden Effektes. Der *Zweig* nimmt eine Breite von ca. 5 cm ein, was bei einer Beobachtungsentfernung von 70 cm eine Breite von ca. 4° entspricht. Das DSI-Phänomen betrifft also die in de Valois und de Valois (1991) beschriebenen Bereiche von 0 Grad bis ca. 4 Grad Exzentrizität.

Die in dieser Arbeit gemessene Größe z scheint sich also in Wirklichkeit aus zwei Phänomenen additiv zusammen setzen: Einerseits aus dem in de Valois und de Valois (1991) gemessenen oben dargestellten Effekt und auf der anderen Seite aus dem echten „rechen“-zeitbedingten Niemandsland. Subtrahiert man den von de Valois und de Valois (1991) beschriebenen Effekt von den in E2 erhaltenen Messwerten, so bliebe nach dieser Deutung als DSI-Phänomen eine nahezu linear verlaufende Gerade, die fast durch den Ursprung geht bzw. deutlich näher am Ursprung verläuft als ohne Subtraktion. Dies ist in der folgenden Abbildung angedeutet:



In diesem v - z -Diagramm sind die Mittelwerte der de Valois'schen Daten (blau) eingetragen. Die Differenz zwischen den Mittelwerten aus E2 – mit Markierungsmethode (M) ermittelt – und diesen de Valois'schen Mittelwertdaten wurde an den de Valois'schen Stellen für $v = \frac{1}{2}, 1, 2, 4, 8$ °/s ermittelt und wird durch die rote Kurve angedeutet. Die rote Kurve entspricht dann also dem tatsächlichen Verlauf des „rechen“-zeitbedingten Niemandslands. Als Steigung ergibt sich empirisch in dem hier angegebenen Fall für **E2** ein „de-Valois-bereinigter“ Wert von (rechnerisch) **rund 48 ms**, was nach den obigen Überlegungen als „echte“ 3D-Ermittlungszeit zu interpretieren wäre. Der Ordinatenabschnitt liegt nach dieser Berechnung nur noch bei **ca. 0,08°**.

Diese Überlegungen haben natürlich analog auch für die Experimentalserien E1 und E3 zu gelten.

In E1 ist nur der Bereich unterhalb des Maximums der Verschiebung relevant – die Überlegung betrifft also nur die drei ersten Messwerte für „Temporal Frequency“ = 1, 2 und 4 Hz (aus Abb.8.4, was den Werten $v = \frac{1}{2}, 1$ und 2 °/s entspricht), da nur bei Geschwindigkeiten unterhalb von ca. 3 °/s gemessen wurde. In diesem Bereich ergäbe sich rechnerisch aus dem de Valois'schen „Verschiebungseffekt“ eine Korrektur der Messdaten aus **E1** (analog zu den obigen Überlegungen für E2), die zu einer „de-Valois-bereinigten“ 3D-Ermittlungszeit von **rund 75 ms** führt. Der Ordinatenabschnitt liegt nach dieser Berechnung bereits im Negativen bei **ca. -0,04°** (was ebenfalls nahe genug bei Null liegt, ansonsten ergäbe sich Interpretationsbedarf).

Die gleiche Überlegung kann nun auch auf E3 übertragen werden. Hier ist es umgekehrt wie in E1 – es wurden keine Werte unterhalb von $v = 1,4$ °/s gemessen. Relevant sind also nur die drei letzten Messwerte für „Temporal Frequency“ = 4, 8 und 16 Hz (aus Abb.8.4, was den Werten $v = 2, 4$ und 8 °/s entspricht). In diesem Bereich ergäbe sich rechnerisch aus dem de Valois'schen „Verschiebungseffekt“ eine Korrektur der Messdaten aus **E3** (analog zu den obigen Überlegungen für E2 und E1), die zu einer „de-Valois-bereinigten“ 3D-Ermittlungszeit von **rund 67 ms** führt. Auch hier liegt der Ordinatenabschnitt nach dieser Berechnung bereits im Negativen bei **ca. -0,02°** (was wiederum nahe genug bei Null liegt, und daher vernachlässigt werden kann).

Es sei an dieser Stelle festgehalten, dass fast alle der auf die angegebene Weise „de-Valois-bereinigten“ Werte für die 3D-Ermittlungszeiten noch im Bereich zwischen 50 und 80 ms liegen, der als Ergebnis dieser Arbeit unter 8.1 (Zusammenfassung) festgehalten wurde.

Allerdings ist diesen hier angegebenen „korrigierten“ Werten für 3D-Verrechnungszeiten vorerst mit Skepsis zu begegnen: Zum einen sind die oben angegebenen „korrigierten“ Werte für die 3D-Ermittlungszeiten stark durch die de Valois'sche Studie dominiert, da die an zahlreichen ν -Werten gesammelten Messdaten in den oben skizzierten Berechnungen jeweils nur an den von de Valois und de Valois (1991) verwendeten Stellen („Temporal Frequency = 1, 2, 4, 8 und 16 Hz bzw. $\nu = \frac{1}{2}, 1, 2, 4, 8$ °/s) eingehen. Zum anderen wurde die Studie von de Valois unter anderen Messbedingungen als die in dieser Arbeit beschriebenen und mit wieder anderen Vpn. mit interindividuell unterschiedlichen Ergebnissen durchgeführt, was die Vergleichbarkeit der beiden Studien auch über das bereits erwähnte Problem der Mittelwertbildung interindividuell unterschiedlich messender Vpn. hinaus einschränkt.

Um nun den Zusammenhang zwischen „Verschiebungseffekt“ und dem echten „rechen“-zeitbedingtem Niemandsland präzise zu messen, sind neue Experimente mit Vpn. nötig, an denen beide Effekte gemessen werden (vgl. Ausblick 8.5). Welche Konsequenzen diese Überlegungen haben können und welche weiteren experimentellen Fragestellungen sich daraus ableiten, wird im Folgenden diskutiert.

8.5 Ausblick

Auch bei de Valois und de Valois (1991) wurden interindividuelle Unterschiede zwischen drei Vpn. deutlich (vgl. 8.4). Es ist anzunehmen, dass zumindest ein Teil der interindividuellen Unterschiede, die in dieser Arbeit festgestellt wurden, auf diesen Effekt zurück gehen. So könnte auch zu interpretieren sein, dass nach den vorliegenden Daten noch ein „Resteffekt“ (ein kleiner positiver Ordinatenabschnitt) übrig bleibt – schließlich ist die im obigen Diagramm schwarz eingetragene Messkurve ein Mittelwert von mehreren verschiedenen Vpn. mit unterschiedlichen Ergebnissen.

Zur Überprüfung dieser Annahme sind also neue Experimente nötig, die eine Brücke zwischen den Experimenten von de Valois und de Valois (1991) und den in dieser Arbeit beschriebenen Experimenten bilden. So kann beispielsweise auch geklärt werden, ob sich der positive Ordinatenabschnitt I für jede einzelne Vp. restlos durch den de Valois'schen „*Verschiebungseffekt*“ erklären lässt oder ob noch ein ungeklärter „Resteffekt“ übrig bleibt, der messtechnisch bedingt sein könnte.

In jedem Fall gilt: Sollte sich die hier skizzierte Annahme bestätigen, so ist in der Tat festzustellen, dass der in dieser Arbeit verwendete Terminus „DSI-Lücke“ nicht mehr mit dem „rechen“-zeitbedingten Niemandsland gleichzusetzen ist. Letzteres bezeichnet dann sinnvollerweise nur eine Komponente, nämlich die durch die 3D-Ermittlungszeit bedingte Lücke. Die zweite Komponente ergibt sich nach den obigen Überlegungen aus dem de Valois'schen „*Verschiebungseffekt*“.

Welche Auswirkungen hat der de Valois'sche „*Verschiebungseffekt*“ auf die in dieser Arbeit gemessenen 3D-Ermittlungszeiten?

Geht man davon aus, dass DSI der einzige beteiligte Effekt ist, so ergibt sich die 3D-Ermittlungszeit aus der Steigung der gemessenen Geraden im v - z -Diagramm. Bezieht man die oben erwähnten Überlegungen ein, so erhält man die 3D-Ermittlungszeit, wenn man von den ermittelten Messwerten jeweils die aus dem „*Verschiebungseffekt*“ resultierenden Steigungswerte subtrahiert. Für den Bereich bis zum Maximum der Verschiebung bei Geschwindigkeiten zwischen 2 und 4 °/s (siehe Abb. 8.4) zeigen sowohl die Werte von de Valois und de Valois (1991) als auch das „rechen“-zeitbedingte Niemandsland einen Anstieg (also eine positive Steigung) im v - z -Diagramm. Die tatsächliche 3D-Ermittlungszeit ist somit um den Betrag der aus dem „*Verschiebungseffekt*“ ermittelten Steigung geringer als die in dieser Arbeit ermittelten Werte. Für Geschwindigkeitswerte oberhalb des Maximums der Verschiebung, also für $v > 4^\circ/\text{s}$ zeigt Abb. 8.4 einen Bereich konstanten (also Steigung gleich Null) bzw. leicht abfallenden (also Steigung negativ) Verlaufs. Dies bedeutet für den Wert der 3D-Ermittlungszeiten folgendes: Im Bereich des konstanten Verlaufs hat der „*Verschiebungseffekt*“ keinen weiteren Einfluss auf die 3D-Ermittlungszeit, im Bereich des abfallenden Verlaufs ist die 3D-Ermittlungszeit um den *Betrag* dieser negativen Steigung höher als die in dieser Arbeit ermittelten Werte.

Von welcher Größenordnung ist der hier beschriebene Einfluss des „*Verschiebungseffektes*“? Aus den in Abb. 8.4 dargestellten Daten von de Valois und de Valois (1991) ergibt sich im Bereich der Geschwindigkeiten v mit $0 < v < 4^\circ/\text{s}$ eine Steigung zwischen 20 und 30 ms. Dieser Wert ist beträchtlich – er entspricht etwa einem Drittel der in dieser Arbeit ermittelten Werte für z . In diesem Bereich ist es somit notwendig, den „*Verschiebungseffekt*“ zu berücksichtigen. Für Werte von $v > 4^\circ/\text{s}$ scheint der Einfluss des „*Verschiebungseffektes*“ auf z gering zu sein und darf vernachlässigt werden. In weiteren Untersuchungen sollten diese beiden Geschwindigkeitsbereiche getrennt untersucht werden.

Die hier beschriebenen Überlegungen weisen darauf hin, dass eine genauere Untersuchung des „*Verschiebungseffektes*“ im Zusammenhang mit dem DSI-Phänomen zu einer noch präziseren Feststellung der 3D-Ermittlungszeiten führen könnte. Anstrengungen in diese Richtung erscheinen somit lohnend.

Über die wichtigen Überlegungen zum de Valois'schen Verschiebungseffekt hinaus gibt es weitere lohnend erscheinende Felder, die Untersuchungen an der *Delayed Stereopsis Illusion* fortzuführen. So scheint es sinnvoll und Erfolg versprechend, in weiteren Untersuchungen die Abhängigkeit des DSI-Phänomens von anderen Parametern systematisch zu untersuchen:

- Mit Hilfe des Standardexperiments könnte anhand weiterer Messungen mit erfahrenen Versuchspersonen der Verlauf des Graphen im v-z-Diagramm wie in Experimentalserie E3 noch genauer bestimmt werden, um Hypothesen über die Ursache der interindividuellen Unterschiede zu generieren und zu testen.
- Bei einigen unsystematischen Vorversuchen konnte bei sehr hohen Geschwindigkeiten ein Zusammenbruch des Phänomens, also ein plötzliches Verschwinden der DSI-Lücke, beobachtet werden. Dies wurde allerdings nur noch von einer einzigen Versuchsperson (M in Experiment 10 der Experimentalserie 10) repliziert (v_x in der Tabelle in 6.2.2.1, Punkt 12). Mit weiter verbesserter Hardware, die höhere Geschwindigkeiten realisiert, sollte es möglich sein, diese Frage systematisch zu untersuchen.
- Entscheidend für die Wahrnehmung der DSI-Lücke ist, dass diese „Lücke“ das Muster der bewegten *Hecke* trägt (vgl. 4.2). Gibt es einen Zusammenhang zwischen der 3D-Ermittlungszeit t_{DSI} und der Zeit, die das Gehirn benötigt, um das „aus dem Nichts“ auftauchende Muster (vgl. 4.2) zu erkennen? Nach Zrenner und Gouras (1978) benötigen die für langwelliges Licht empfindlichen L- und M-Zäpfchen dazu etwa 15 ms, die für kurzwelliges Licht empfindlichen S-Zäpfchen aber knapp 30 ms. Man könnte demnach vermuten, dass bei monochromatisch blauer Beleuchtung die DSI-Lücke messbar zunimmt.

Darüber hinaus erscheint eine Untersuchung des Einflusses folgender Parameter lohnend:

- Helligkeit: Um Störungen durch äußere Lichtquellen zu minimieren, wurden die Experimentalserien in einem verdunkelten Zimmer durchgeführt. Die Helligkeit der beobachteten Szene ergab sich aus der Helligkeit des Monitors. In künftigen Versuchen könnte der Einfluss von Gesamthelligkeit bzw. Kontrast auf das DSI-Phänomen gemessen werden, insbesondere welche Auswirkung das Tragen einer Verdunkelungsbrille auf den DSI-Effekt hat, die nur skotopisches Sehen erlaubt. Siehe dazu auch die Untersuchung Schuchardt (2003).
- Farbe: Das dreidimensionale Sehen ist weitgehend farbenblind (Livingstone, Hubel, 1988). Hat diese Tatsache Auswirkungen auf das DSI-Phänomen? Die Software Bino2.4 ist so ausgerichtet, dass damit auch farbliche Variationen der dargebotenen random-dot-Muster vorgenommen werden können. Welchen Einfluss haben (isoluminante) Farben auf das DSI-Phänomen? Die Untersuchung dieser Frage könnte weitere Rückschlüsse auf einen möglichen Zusammenhang zwischen Farben- und 3D-Sehen geben.
- Form: In der vorliegenden Arbeit wird nur ein Quadrat als *Zweig* verwendet, also eine Form mit einem geradlinigen (oberen) Rand. Wie sieht die Gestalt des rNI aus, wenn der Rand nicht geradlinig, sondern in einer Form mit fraktaler Komplexität vorliegt? Zu erwarten ist eine qualitative Anpassung des DSI-Phänomens an die vorliegende Form. Bis zu welcher Form, „schmiegt“ sich das rNI an den Rand an, ab welcher Form kommt es zu

Glättungen des Verlaufes der DSI-Lücke? Hat die Form auch Einfluss auf die Breite des rNI?

- **Muster-Transparenz:** Was passiert, wenn man dem visuellen System ermöglicht, das bewegte Muster der *Hecke* durch den *Zweig* hindurch zu verfolgen? Wird der DSI-Effekt dadurch überlistet? In Bino2.4 gibt es die Möglichkeit, eine der beiden Farben des random-dot-Musters „transparent“ zu stellen, so dass man darunter das bewegte Muster der *Hecke* sieht. Experimente mit dieser Anordnung können eine weitere Klärung bringen, welche Kriterien das Gehirn beim Seh-Vorgang verwendet.
- **Bewegungsrichtung:** Bisher wurden nur Bewegungen in vertikaler Richtung analysiert. Topologische und „rechen“-zeitbedingte Niemandsländer treten so an klar definierten, unterschiedlichen Stellen des *Zweiges* auf, die topologischen links und rechts, das „rechen“-zeitbedingte in Bewegungsrichtung der *Hecke* vorne (in unserem Fall: oben). Bewegt man nun die *Hecke* horizontal, so kann man studieren, inwieweit sich die beiden Niemandsländer-Arten überlagern.
- **Fixierpunkt / Augenbewegungen:** In den bisherigen Experimenten blieben Augenbewegungen und Ort des Fixierpunktes weitgehend unkontrolliert; auch wenn in der Instruktion der Fixierort vorgeschrieben wurde, wurde die Einhaltung nicht mehr überprüft. Eine systematische Untersuchung dieser Parameter ermöglichte den Vergleich zwischen fovealem und parafovealem Sehen.
- **Personale Faktoren:** Da große interindividuelle Unterschiede gemessen wurden, liegt es nahe, diese Spur weiter zu verfolgen und zu prüfen, ob man die ermittelten Unterschiede in Gruppen nach personalen Faktoren zusammenfassen kann, also etwa nach Geschlecht, Alter, beruflicher Tätigkeit oder ähnlichen Merkmalen.

Die *Delayed Stereopsis Illusion* DSI bietet somit zahlreiche weitere Möglichkeiten, das stereoskopische Sehen beim Menschen mit psychophysischen Methoden zu untersuchen und hieraus Rückschlüsse zu ziehen, wie das Sehsystem arbeitet.

9 Literaturverzeichnis

Alberti L.B., K. Patz, O. Bätschmann, C. Schäublin: Das Standbild. Die Malkunst. Grundlagen der Malerei. De Statua - De Pictura - Elementa Picturae, Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt, 2002

Anderson S.J., D.C. Burr: Spatial and temporal selectivity of the human motion detection system, *Vision Research* **25**, S. 1147-1154, 1985

Anstis S.M.: Kinetic edges become displaced, segregated or invisible. In: *Neural Mechanisms of visual perception, Proceedings of the Second Retina Research Foundation Conference*, (Eds. D.M.-K. Lam und C.D. Gilbert), S. 247-60, Portfolio Press, Texas, 1989

Anstis S.M., V.S. Ramachandran: At the edge of movement. In: *The Artful Eye*. (Eds.) Gregory Richard, Harris John, Heard Priscilla & David Rose, Oxford, 232-248, 1995

Anderson S.J., D.C. Burr: Spatial and temporal selectivity of the human motion detection system, *Vision Research* **25**, S. 1147-1154, 1985

Barlow H., C. Blakemore, J. Pettigrew: The neural mechanisms of binocular depth discrimination. *Journal of Physiology* **193**, S. 327-342, 1967

Birbaumer, N., R.F. Schmidt: *Biologische Psychologie*, Springer, Berlin, 1996

Bortz J.: *Statistik*, Springer, Berlin, S. 170, 1993

Breitmeyer B., B. Julesz, W. Kropf: Dynamic random-dot stereograms reveal up-down anisotropy and left-right isotropy between cortical hemifields, *Science* **187**(4173) S. 269-70, 1975.

von Campenhausen C: *Die Sinne des Menschen*, Thieme, Stuttgart 1993

Edwards M., D.R. Badcock, A.T. Smith: Independent speed-tuned global-motion systems, *Vision Research* **28**, S. 1573-1580, 1998

Epstein W.: Nonrelational judgements of size and distance. *American Journal of Psychology* **78**, S. 120-123, 1965

Gegenfurtner K.R., M.J. Hawken: Interaction of motion and color in the visual pathways, *Trends Neurosci* **19**, S. 394-401, 1996

Gibson J.J.: *Die Wahrnehmung der visuellen Welt*, Beltz, Weinheim, 1973

van de Grind, W.A., P. van Hof, M.J. van der Smagt, F.A.J. Verstraten: Slow and fast visual motion channels have independent binocular-rivalry stages, Proc. R. Soc. Lond. B **268**, S. 437-443, 2001

Goldstein E.B.: Wahrnehmungspsychologie, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, 1997

Hagen, M.A.(Hrsg.): The perception of pictures (Bd.1,2), Academic Press, New York, 1979

Hagen, M.A.: Varieties of Realism, Cambridge University Press, New York, 1986

Helmholtz, H.: Handbuch der physiologischen Optik, Voss, Hamburg und Leipzig, 1866

Kaplan, G.: Kinetic disruption of optical texture: The perception of depth at an edge, Perception and Psychophysics **6**, S. 193-198, 1969.

Howard I.P.: Seeing in Depth – Basic Mechanisms Vol.1, University of Toronto Press, Toronto 2002

Howard I.P., B.J. Rogers: Seeing in Depth – Depth Perception Vol.2, University of Toronto Press, Toronto 2002

Howard I.P., B.J. Rogers: Binocular Vision and Stereopsis, Oxford University Press, Oxford 1995

Hubel D.H., T.N. Wiesel: Brain Mechanisms of Vision. Scientific American, vol. **241**, S. 130, 1979

Julesz B.: Binocular depth perception of computer-generated patterns, Bell System Technical Journal **39**, S. 1125-1162, 1960

Julesz B.: Foundations of Cyclopean Perception, University of Chicago Press, Chicago, 1971

Julesz B., B. Breitmeyer, W. Kropfi: Binocular-disparity-dependent upper-lower hemifield anisotropy and left-right hemifield isotropy as revealed by dynamic random-dot stereograms, Perception **5**(2), S.129-41, 1976

Julesz B.: Dialogues on Perception, Bradford/MIT Press, 1995

Kaplan G.: Kinetic disruption of optical texture: The perception of depth at an edge. Perception and Psychophysics **6**, S. 193-198, 1969

Kubovy M.: The psychology of perspective and Renaissance art, Cambridge University Press, Cambridge, 1986

Leibowitz H.W., K. Shina, H.R. Hennessy: Oculomotor adjustments and size constancy. Perception and Psychophysics **12**, S. 497-500, 1972

Livingstone, M., D. Hubel: Segregation of form, color, movement, and depth: anatomy, physiology, and perception, Science **240**, S. 740-749, 1988

Mallot H.A.: Sehen und die Verarbeitung visueller Information - Eine Einführung, Vieweg Verlag, 2. Aufl., 2000

Metzger W.: Gesetze des Sehens. Waldemar Kramer, 3. Aufl., Frankfurt am Main 1975

Rosenzweig R., M. Schuchardt, R. Wolf: Computation times for binocular depth perception. A psychophysical analysis of the „Delayed Stereopsis Illusion“ (DSI). In: Perception **31** (Suppl.), S. 160, 2002-2

Rosenzweig R., M. Schuchardt, R. Wolf: Eine Bestimmung der 3D-Verrechnungszeit mittels der „Delayed Stereopsis Illusion“ (DSI). In: Beiträge zur 5. Tübinger Wahrnehmungskonferenz, (Eds.) H.H. Bülhoff, K.R. Gegenfurtner, H.A. Mallot, R. Ulrich. Knirsch Verlag, Kirchentellinsfurt, S. 104, 2002-1

Scheiner F.: Benutzerhandbuch zum Projekt Erweiterung von Tools zur Generierung und Darstellung von Random-Dot-Mustern im Rahmen des DSI-Projekts, Universität Würzburg, Lehrstuhl für Informatik, 1999 (unveröff.)

Schober H.: Über die Akkomodations-Ruhelage, Optik 11, 1954

Schuchardt M.: Dissertation über das DSI-Phänomen, unveröff., 2003

Schuchardt M., R. Rosenzweig, R. Wolf: Computation Times of Binocular Depth Analysed by the „Delayed Stereopsis Illusion“ (DSI). In: Beiträge zur 1. Tübinger Wahrnehmungskonferenz, (Eds.) H.H. Bülhoff, M. Fahle, K.R. Gegenfurtner, H.A. Mallot. Knirsch Verlag, Kirchentellinsfurt, S. 122, 1998

Spillmann L., J.S. Werner (Eds.): Visual Perception, Academic Press, San Diego 1990

de Valois R.L., K.K. de Valois: Vernier Acuity with stationary moving gabors, Vision Research 9, S. 1619-1626, 1991

Vollmer G.: Mesokosmos und objektive Erkenntnis. Über Probleme, die von der evolutionären Erkenntnistheorie gelöst werden. In Lorenz/Wuketits, Die Evolution des Denkens, S. 29-91, 1983

White J.: The birth and rebirth of pictorial space (2.Aufl.), Faber & Faber, London, 1968

Whitney D., P. Cavanagh: Motion distorts visual space: shifting the perceived position of remote stationary objects, Nat Neurosci. **3**(9), S. 954-9, 2000

Wolf R.: Binokulares Sehen, Raumverrechnung und Raumwahrnehmung, *BIUZ* **15**, S. 161-178, 1985

Wolf R.: Der biologische Sinn der Sinnestäuschung, *BIUZ* **17**, S. 33-49, 1987

Wolf R.: When the brain does not accept the eyes' message: perceptual suppression of „iconoclastic” sensory data. In: *Neural Correlates of Consciousness: Empirical and Conceptual Questions*. S. 39, Association for the Scientific Study of Consciousness (ASSC), Hanse Institute for Advanced Study, Bremen, 1998

Wolf R., M. Schuchardt, R. Rosenzweig: Depth illusion by delayed 3D perception („Delayed Stereopsis Illusion”): A novel way to determine computation times in human vision by depth reversal in partially occluded moving objects. *Perception* **25** (Suppl.), S. 59, 1996

Wolf R., D. Wolf: Sehen anschaulich gemacht: Verblüffende Einsichten in unsere Wahrnehmung I, *BIUZ* **24**, S. 336-338, 1994

Wolf R., D. Wolf: Sehen anschaulich gemacht: Verblüffende Einsichten in unsere Wahrnehmung II, *BIUZ* **25**, S. 59-63, 1995

Yarrow K., P. Haggard, R. Heal, P. Brown, J.C. Rothwell: Illusory perceptions of space and time preserve cross-saccadic perceptual continuity, *Nature* **414**, S. 302-305, 2001

Zrenner E., P. Gouras: Luminous and chromatic flicker functions are based on the phase relations between center and surround responses of color opponent ganglion cells, *Pflügers Archiv für die gesamte Physiologie, Supplement* **337**, R. 48, S. 184-186, 1978

10 Anhang

10.1 Glossar und Abkürzungsverzeichnis

AP: Ankerpunkte. Die verwendeten Random-dot-Muster bestehen aus schwarzen und weißen Musterelementen. Die schwarzen Musterelemente werden als Ankerpunkte bezeichnet.

3D-Ermittlungszeit: Die Zeit, die unser Gehirn benötigt, um die (dreidimensionale) Tiefe zu ermitteln. In der vorliegenden Arbeit wird diese über die Breite des „rechen“-zeitbedingten Niemandslandes in Abhängigkeit von der jeweiligen Geschwindigkeit der *Hecke* experimentell gemessen.

Durchgang: Zusammenfassung einer Gruppe von Einzelmessungen in E3 (vgl. Tabellen unter 10.2.7). Diese sind so gestaltet, dass unter identischen Bedingungen mehrere Male (in E3 je fünf mal) jeweils ein neuer subjektiver Wert an jeder Stelle von v gemessen wird.

Experiment: Zusammenfassung einer Gruppe von Einzelmessungen (E1) bzw. Messreihen (E2) bzw. Durchgängen (E3) unter fest definierten Rahmenbedingungen, die innerhalb des Experiments nicht variieren.

Experimentalserie: Zusammenfassung einer Gruppe von Experimenten zu einer fest definierten Fragestellung (siehe Vorbemerkung zu den Experimentalserien E1, E2 und E3).

Messreihe: Zusammenfassung einer Gruppe von Einzelmessungen unter fest definierten Rahmenbedingungen in den einzelnen Experimenten von E2.

Musterelement: Die verwendeten Random-dot-Muster setzen sich aus schwarzen und weißen Musterelementen zusammen, die in der Software „Bino 2.4“ nach einem Zufallsmechanismus erzeugt werden. Ein Musterelement setzt sich aus einem quadratischen Array von mehreren Pixeln (1x1, 2x2, 3x3 etc...) zusammen, die in der Software „Bino 2.4“ einstellbar sind. Die minimale Einstellung ist 1x1 Pixel, in diesem Fall entspricht ein Musterelement einem Pixel.

MV: Mittelungsvariante (MV1 vs. MV2): Die in E1 erfassten Messwerte können auf zwei verschiedene Arten gemittelt werden, mit leicht unterschiedlichen Ergebnissen – vgl. dazu 6.1.2.3.

RF: Raumfrequenz: Größe der Musterelemente der Random-dot-Muster von *Hecke* und *Zweig*.

rNI: „rechen“-zeitbedingtes Niemandsland = DSI-Lücke.

tNI: topologisches Niemandsland nach Julesz (1960).

Pixel: Musterelemente des darstellenden Bildschirms, somit in der Größe hardwareabhängig.

Versuchsschritt: Relevante Aktion im Ablauf einer Messung bzw. eines Experiments.

Vl.: Versuchsleiter.

Vp. (Vpn.): Versuchsperson(en).

Abkürzungen und Symbole in den folgenden Tabellen:

- Messung Nr.: Die Reihenfolge der Messungen wurde randomisiert und nummeriert. An der hier angegebenen Nummer kann man die zeitliche Abfolge des Messwerts dieser Zeile ablesen.
- v_p : Geschwindigkeit der *Hecke* in Pixel/s.
- v : Geschwindigkeit der *Hecke* in mm/s.
- v_g : Geschwindigkeit der *Hecke* in $^\circ$ /s.
- W_z : In „Bino2.4“ angezeigter Wert für die Markierung, der die Breite des rNI bestimmt, angegeben in Zehntel Millimeter.
- z : Breite des rNI (AV) in mm.
- z_p : Breite des rNI (AV) in Pixel.
- z_g : Breite des rNI (AV) in $^\circ$.
- t : Der nach der Formel $t=z/v$ berechnete Wert für die „Verrechnungs-“ Zeit bei der *Heckengeschwindigkeit* v (in [$^\circ$ /s]).
- W_d : In „Bino2.4“ angezeigter Wert für die Bildverschiebung der beiden Halbbilder des *Zweiges* (woraus sich die Disparität ergibt), angegeben in Pixel.
- d_p : Abstand der beiden Halbbilder des *Zweiges* in Pixel.
- D : Aus d_p (und r) errechnete Disparität in Winkelminuten [$'$].
- x : Imaginärer (errechneter) Abstand des *Zweiges* von der *Hecke* in mm.

10.2 Versuchsprotokolle, Rohdaten

In den nun folgenden Tabellen sind die Rohdaten zusammen mit den anderen relevanten Parametern auf einen Blick tabellarisch erfasst und nacheinander aufgelistet.

10.2.1 Experimentalserie E1 Rohdaten

Experiment 1:

Vp.: A, d=10 Pixel, r=1,1m, Versuchsmodus: 2RD, AV: z, UV: v. (Mess01)

Messung Nr.	vp	v	vg	Wz	z	zp	zg	t
	[Pixel/s]	[mm/s]	[°/s]		[mm]	[Pixel]	[°]	[s]
25	10	3,85	0,20	0,000	0,00	0	0,00000	0,00
34	12	4,62	0,24	0,077	0,77	2	0,04011	0,17
35	14	5,38	0,28	0,077	0,77	2	0,04011	0,14
15	16	6,15	0,32	0,154	1,54	4	0,08021	0,25
24	18	6,92	0,36	0,115	1,15	3	0,05990	0,17
30	20	7,69	0,40	0,154	1,54	4	0,08021	0,20
23	22	8,46	0,44	0,154	1,54	4	0,08021	0,18
7	24	9,23	0,48	0,154	1,54	4	0,08021	0,17
3	26	10,00	0,52	0,192	1,92	5	0,10001	0,19
36	28	10,77	0,56	0,192	1,92	5	0,10001	0,18
33	30	11,54	0,60	0,231	2,31	6	0,12032	0,20
27	32	12,31	0,64	0,192	1,92	5	0,10001	0,16
4	34	13,08	0,68	0,192	1,92	5	0,10001	0,15
12	36	13,85	0,72	0,154	1,54	4	0,08021	0,11
1	38	14,62	0,76	0,231	2,31	6	0,12032	0,16
5	40	15,39	0,80	0,213	2,13	6	0,11095	0,15
28	42	16,15	0,84	0,231	2,31	6	0,12032	0,14
20	44	16,92	0,88	0,154	1,54	4	0,08021	0,09
8	46	17,69	0,92	0,192	1,92	5	0,10001	0,11
18	48	18,46	0,96	0,192	1,92	5	0,10001	0,10
22	50	19,23	1,00	0,192	1,92	5	0,10001	0,10
26	52	20,00	1,04	0,231	2,31	6	0,12032	0,12
21	54	20,77	1,08	0,192	1,92	5	0,10001	0,09
10	56	21,54	1,12	0,308	3,08	8	0,16043	0,14
16	58	22,31	1,16	0,231	2,31	6	0,12032	0,10
9	60	23,08	1,20	0,346	3,46	9	0,18022	0,15
17	62	23,85	1,24	0,231	2,31	6	0,12032	0,10

14	64	24,62	1,28	0,269	2,69	7	0,14011	0,11
31	66	25,39	1,32	0,308	3,08	8	0,16043	0,12
29	68	26,16	1,36	0,269	2,69	7	0,14011	0,10
6	70	26,92	1,40	0,308	3,08	8	0,16043	0,11
19	72	27,69	1,44	0,269	2,69	7	0,14011	0,10
13	74	28,46	1,48	0,308	3,08	8	0,16043	0,11
2	76	29,23	1,52	0,269	2,69	7	0,14011	0,09
32	78	30,00	1,56	0,346	3,46	9	0,18022	0,12
11	80	30,77	1,60	0,500	5,00	13	0,26043	0,16

Experiment 2:

Vp.: A, d=10 Pixel, r=1,1m, Versuchsmodus: S, AV: z, UV: v. (Mess01)

Messung Nr.	vp	v	vg	Wz	z	zp	zg	t
	[Pixel/s]	[mm/s]	[°/s]		[mm]	[Pixel]	[°]	[s]
14	10	3,85	0,20	0,077	0,77	2	0,04011	0,20
11	15	5,77	0,30	0,077	0,77	2	0,04011	0,13
13	20	7,69	0,40	0,154	1,54	4	0,08021	0,20
3	25	9,62	0,50	0,077	0,77	2	0,04011	0,08
15	30	11,54	0,60	0,154	1,54	4	0,08021	0,13
1	35	13,46	0,70	0,154	1,54	4	0,08021	0,11
4	40	15,39	0,80	0,154	1,54	4	0,08021	0,10
6	45	17,31	0,90	0,231	2,31	6	0,12032	0,13
12	50	19,23	1,00	0,192	1,92	5	0,10001	0,10
8	55	21,15	1,10	0,192	1,92	5	0,10001	0,09
7	60	23,08	1,20	0,308	3,08	8	0,16043	0,13
10	65	25,00	1,30	0,269	2,69	7	0,14011	0,11
5	70	26,92	1,40	0,231	2,31	6	0,12032	0,09
2	75	28,85	1,50	0,192	1,92	5	0,10001	0,07
9	80	30,77	1,60	0,308	3,08	8	0,16043	0,10

Experiment 3:

Vp.: C, d=10 Pixel, r=1,0m, Versuchsmodus: 2RD, AV: z, UV: v. (Mess02)

Messung Nr.	vp	v	vg	Wz	z	zp	zg	t
	[Pixel/s]	[mm/s]	[°/s]		[mm]	[Pixel]	[°]	[s]
11	10	3,85	0,22	0,000	0,00	0	0,00000	0,00
12	15	5,77	0,33	0,269	2,69	7	0,15413	0,47
9	20	7,69	0,44	0,000	0,00	0	0,00000	0,00
2	25	9,62	0,55	0,269	2,69	7	0,15413	0,28
15	30	11,54	0,66	0,269	2,69	7	0,15413	0,23
14	35	13,46	0,77	0,308	3,08	8	0,17647	0,23
7	40	15,39	0,88	0,308	3,08	8	0,17647	0,20
13	45	17,31	0,99	0,269	2,69	7	0,15413	0,16
5	50	19,23	1,10	0,115	1,15	3	0,06589	0,06
1	55	21,15	1,21	0,192	1,92	5	0,11001	0,09
8	60	23,08	1,32	0,115	1,15	3	0,06589	0,05
6	65	25,00	1,43	0,192	1,92	5	0,11001	0,08
3	70	26,92	1,54	0,308	3,08	8	0,17647	0,11
4	75	28,85	1,65	0,308	3,08	8	0,17647	0,11
10	80	30,77	1,76	0,269	2,69	7	0,15413	0,09

Experiment 4:

Vp.: C, d=10 Pixel, r=1,0m, Versuchsmodus: S, AV: z, UV: v. (Mess02)

Messung Nr.	vp	v	vg	Wz	z	zp	zg	t
	[Pixel/s]	[mm/s]	[°/s]		[mm]	[Pixel]	[°]	[s]
13	10	3,85	0,22	0,038	0,38	1	0,02177	0,10
8	15	5,77	0,33	0,038	0,38	1	0,02177	0,07
2	20	7,69	0,44	0,077	0,77	2	0,04412	0,10
3	25	9,62	0,55	0,115	1,15	3	0,06589	0,12
7	30	11,54	0,66	0,115	1,15	3	0,06589	0,10
11	35	13,46	0,77	0,077	0,77	2	0,04412	0,06
1	40	15,39	0,88	0,115	1,15	3	0,06589	0,08
12	45	17,31	0,99	0,077	0,77	2	0,04412	0,04
9	50	19,23	1,10	0,077	0,77	2	0,04412	0,04
14	55	21,15	1,21	0,077	0,77	2	0,04412	0,04
4	60	23,08	1,32	0,077	0,77	2	0,04412	0,03
6	65	25,00	1,43	0,115	1,15	3	0,06589	0,05
10	70	26,92	1,54	0,077	0,77	2	0,04412	0,03
5	75	28,85	1,65	0,192	1,92	5	0,11001	0,07
15	80	30,77	1,76	0,077	0,77	2	0,04412	0,03

Experiment 5:

Vp.: B, d=10 Pixel, r=1,1m, Versuchsmodus: S, AV: z, UV: v. (Mess03)

Messung Nr.	vp	v	vg	Wz	z	zp	zg	t
	[Pixel/s]	[mm/s]	[°/s]		[mm]	[Pixel]	[°]	[s]
7	10	3,85	0,20	0,038	0,38	1	0,01979	0,10
4	15	5,77	0,30	0,070	0,70	2	0,03646	0,13
9	20	7,69	0,40	0,115	1,15	3	0,05990	0,15
1	25	9,62	0,50	0,115	1,15	3	0,05990	0,12
13	30	11,54	0,60	0,115	1,15	3	0,05990	0,10
11	35	13,46	0,70	0,192	1,92	5	0,10001	0,14
14	40	15,39	0,80	0,192	1,92	5	0,10001	0,13
3	45	17,31	0,90	0,192	1,92	5	0,10001	0,11
2	50	19,23	1,00	0,192	1,92	5	0,10001	0,10
5	55	21,15	1,10	0,154	1,54	4	0,08021	0,07
6	60	23,08	1,20	0,231	2,31	6	0,12032	0,10
15	65	25,00	1,30	0,231	2,31	6	0,12032	0,09
12	70	26,92	1,40	0,231	2,31	6	0,12032	0,09
8	75	28,85	1,50	0,231	2,31	6	0,12032	0,08
10	80	30,77	1,60	0,269	2,69	7	0,14011	0,09

Experiment 6:

Vp.: A, d=10 Pixel, r=1,0m, Versuchsmodus: 2RD, AV: z, UV: v. (Mess04)

Messung Nr.	vp	v	vg	Wz	z	zp	zg	t
	[Pixel/s]	[mm/s]	[°/s]		[mm]	[Pixel]	[°]	[s]
3	10	3,85	0,22	0,077	0,77	2	0,04412	0,20
13	15	5,77	0,33	0,115	1,15	3	0,06589	0,20
8	20	7,69	0,44	0,154	1,54	4	0,08824	0,20
5	25	9,62	0,55	0,154	1,54	4	0,08824	0,16
1	30	11,54	0,66	0,154	1,54	4	0,08824	0,13
10	35	13,46	0,77	0,192	1,92	5	0,11001	0,14
15	40	15,39	0,88	0,154	1,54	4	0,08824	0,10
11	45	17,31	0,99	0,192	1,92	5	0,11001	0,11
12	50	19,23	1,10	0,231	2,31	6	0,13235	0,12
7	55	21,15	1,21	0,269	2,69	7	0,15413	0,13
4	60	23,08	1,32	0,192	1,92	5	0,11001	0,08
2	65	25,00	1,43	0,269	2,69	7	0,15413	0,11
9	70	26,92	1,54	0,192	1,92	5	0,11001	0,07
14	75	28,85	1,65	0,296	2,96	8	0,16960	0,11
6	80	30,77	1,76	0,296	2,96	8	0,16960	0,10

Experiment 7:

7-1: Vp.: A, d=10 Pixel, r=1,0m, Versuchsmodus: S, AV: z, UV: v. (Mess05)

RF Hecke und RF Zweig: 1x1

Messung Nr.	vp	v	vg	Wz	z	zp	zg	t
	[Pixel/s]	[mm/s]	[°/s]		[mm]	[Pixel]	[°]	[s]
2	10	3,85	0,22	0,077	0,77	2	0,04412	0,20
3	20	7,69	0,44	0,115	1,15	3	0,06589	0,15
1	30	11,54	0,66	0,192	1,92	5	0,11001	0,17
6	40	15,39	0,88	0,154	1,54	4	0,08824	0,10
7	50	19,23	1,10	0,308	3,08	8	0,17647	0,16
4	60	23,08	1,32	0,231	2,31	6	0,13235	0,10
5	70	26,92	1,54	0,269	2,69	7	0,15413	0,10
8	80	30,77	1,76	0,308	3,08	8	0,17647	0,10

7-2: Vp.: A, d=10 Pixel, r=1,0m, Versuchsmodus: S, AV: z, UV: v. (Mess05)

RF Hecke und RF Zweig: 3x3

Messung Nr.	vp	v	vg	Wz	z	zp	zg	t
	[Pixel/s]	[mm/s]	[°/s]		[mm]	[Pixel]	[°]	[s]
2	10	3,85	0,22	0,077	0,77	2	0,04412	0,20
3	20	7,69	0,44	0,154	1,54	4	0,08824	0,20
1	30	11,54	0,66	0,192	1,92	5	0,11001	0,17
6	40	15,39	0,88	0,269	2,69	7	0,15413	0,18
7	50	19,23	1,10	0,231	2,31	6	0,13235	0,12
4	60	23,08	1,32	0,269	2,69	7	0,15413	0,12
5	70	26,92	1,54	0,231	2,31	6	0,13235	0,09
8	80	30,77	1,76	0,269	2,69	7	0,15413	0,09

7-3: Vp.: A, d=10 Pixel, r=1,0m, Versuchsmodus: S, AV: z, UV: v. (Mess05)

RF Hecke und RF Zweig: 4x4

Messung Nr.	vp	v	vg	Wz	z	zp	zg	t
	[Pixel/s]	[mm/s]	[°/s]		[mm]	[Pixel]	[°]	[s]
2	10	3,85	0,22	0,038	0,38	1	0,02177	0,10
3	20	7,69	0,44	0,077	0,77	2	0,04412	0,10
1	30	11,54	0,66	0,192	1,92	5	0,11001	0,17
6	40	15,39	0,88	0,154	1,54	4	0,08824	0,10
7	50	19,23	1,10	0,192	1,92	5	0,11001	0,10
4	60	23,08	1,32	0,231	2,31	6	0,13235	0,10
5	70	26,92	1,54	0,192	1,92	5	0,11001	0,07
8	80	30,77	1,76	0,308	3,08	8	0,17647	0,10

7-4: Vp.: A, d=10 Pixel, r=1,0m, Versuchsmodus: S, AV: z, UV: v. (Mess05)

RF Hecke und RF Zweig: 6x6

Messung Nr.	vp	v	vg	Wz	z	zp	zg	t
	[Pixel/s]	[mm/s]	[°/s]		[mm]	[Pixel]	[°]	[s]
2	10	3,85	0,22	0,038	0,38	1	0,02177	0,10
3	20	7,69	0,44	0,038	0,38	1	0,02177	0,05
1	30	11,54	0,66	0,115	1,15	3	0,06589	0,10
6	40	15,39	0,88	0,115	1,15	3	0,06589	0,08
7	50	19,23	1,10	0,154	1,54	4	0,08824	0,08
4	60	23,08	1,32	0,231	2,31	6	0,13235	0,10
5	70	26,92	1,54	0,192	1,92	5	0,11001	0,07
8	80	30,77	1,76	0,269	2,69	7	0,15413	0,09

Experiment 8:

8-1: Vp.: A, d=10 Pixel, r=0,6m, Versuchsmodus: S, AV: z, UV: v. (Mess06)

RF Hecke: 2x2, RF Zweig: 1x1

Messung Nr.	vp	v	vg	Wz	z	zp	zg	t
	[Pixel/s]	[mm/s]	[°/s]		[mm]	[Pixel]	[°]	[s]
2	10	3,85	0,37	0,077	0,77	2	0,07353	0,20
3	20	7,69	0,73	0,115	1,15	3	0,10982	0,15
1	30	11,54	1,10	0,154	1,54	4	0,14706	0,13
6	40	15,39	1,47	0,192	1,92	5	0,18335	0,13
7	50	19,23	1,84	0,192	1,92	5	0,18335	0,10
4	60	23,08	2,20	0,192	1,92	5	0,18335	0,08
5	70	26,92	2,57	0,269	2,69	7	0,25687	0,10
8	80	30,77	2,94	0,269	2,69	7	0,25687	0,09

8-2: Vp.: A, d=10 Pixel, r=0,6m, Versuchsmodus: S, AV: z, UV: v. (Mess06)
RF Hecke: 3x3, RF Zweig: 1x1

Messung Nr.	vp	v	vg	Wz	z	zp	zg	t
	[Pixel/s]	[mm/s]	[°/s]		[mm]	[Pixel]	[°]	[s]
2	10	3,85	0,37	0,000	0,00	0	0,00000	0,00
3	20	7,69	0,73	0,077	0,77	2	0,07353	0,10
1	30	11,54	1,10	0,192	1,92	5	0,18335	0,17
6	40	15,39	1,47	0,192	1,92	5	0,18335	0,13
7	50	19,23	1,84	0,269	2,69	7	0,25687	0,14
4	60	23,08	2,20	0,231	2,31	6	0,22059	0,10
5	70	26,92	2,57	0,269	2,69	7	0,25687	0,10
8	80	30,77	2,94	0,308	3,08	8	0,29412	0,10

Experiment 9:

Vp.: A, r=1,1m, Versuchsmodus: 2RD, AV: v, UV: d. (Mess01)

Messung Nr.	Wd	dp	D	x	vp	v	vg	zp	z	zg	t
		[Pixel]	[']	[mm]	[Pixel/s]	[mm/s]	[°/s]	[Pixel]	[mm]	[°]	[s]
7	91	2	12	13	18	6,92	0,36	2	0,76927	0,04007	0,11
10	92	4	22	26	40	15,39	0,80	4	1,53854	0,08014	0,10
5	93	6	32	38	57	21,92	1,14	6	2,30781	0,12021	0,11
4	94	8	40	51	69	26,54	1,38	8	3,07708	0,16028	0,12
1	95	10	48	64	89	34,23	1,78	10	3,84635	0,20034	0,11
8	96	12	55	77	150	57,70	3,00	12	4,61562	0,24041	0,08
9	97	14			-	-		-	-	-	-
2	98	16			-	-		-	-	-	-
3	99	18			-	-		-	-	-	-
6	100	20			-	-		-	-	-	-

Experiment 10:

Vp.: A, r=1,1m, Versuchsmodus: 2RD, AV: v, UV: d. (Mess01)

Messung Nr.	Wd	dp	D	x	vp	v	vg	zp	z	zg	t
		[Pixel]	[°]	[mm]	[Pixel/s]	[mm/s]	[°/s]	[Pixel]	[mm]	[°]	[s]
6	91	2	12	13	11	4,23	0,22	2	0,76927	0,04007	0,18
1	92	4	22	26	21	8,08	0,42	4	1,53854	0,08014	0,19
2	93	6	32	38	37	14,23	0,74	6	2,30781	0,12021	0,16
5	94	8	40	51	64	24,62	1,28	8	3,07708	0,16028	0,13
4	95	10	48	64	88	33,85	1,76	10	3,84635	0,20034	0,11
7	96	12	55	77	135	51,93	2,70	12	4,61562	0,24041	0,09
3	97	14	61	90	150	57,70	3,00	14	5,38489	0,28048	0,09

Experiment 11:

Vp.: A, r=1,1m, Versuchsmodus: 2RD, AV: v, UV: d. (Mess01)

Messung Nr.	Wd	dp	D	x	vp	v	vg	zp	z	zg	t
		[Pixel]	[°]	[mm]	[Pixel/s]	[mm/s]	[°/s]	[Pixel]	[mm]	[°]	[s]
2	91	2	12	13	12	4,62	0,24	2	0,76927	0,04007	0,17
3	92	4	22	26	30	11,54	0,60	4	1,53854	0,08014	0,13
5	93	6	32	38	65	25,00	1,30	6	2,30781	0,12021	0,09
6	94	8	40	51	91	35,00	1,82	8	3,07708	0,16028	0,09
4	95	10	48	64	128	49,23	2,56	10	3,84635	0,20034	0,08
1	96	12	55	77	150	57,70	3,00	12	4,61562	0,24041	0,08

Experiment 12:

Vp.: C, r=1,0m, Versuchsmodus: 2RD, AV: v, UV: d. (Mess02)

Messung Nr.	Wd	d	D	x	vp	v	vg	zp	z	zg	t
		[Pixel]	[°]	[mm]	[Pixel/s]	[mm/s]	[°/s]	[Pixel]	[mm]	[°]	[s]
4	91	2	13	12	8	3,08	0,18	2	0,76927	0,04408	0,25
5	94	8	44	47	57	21,92	1,26	8	3,07708	0,17630	0,14
6	95	10	53	59	88	33,85	1,94	10	3,84635	0,22038	0,11
7	92	4	24	24	104	40,00	2,29	4	1,53854	0,08815	0,04
2	96	12	60	71	113	43,46	2,49	12	4,61562	0,26445	0,11
3	98	16	74	95	131	50,39	2,88	16	6,15416	0,35260	0,12
9	99	18	80	107	131	50,39	2,88	18	6,92343	0,39668	0,14
8	93	6	35	36	137	52,69	3,02	6	2,30781	0,13223	0,04
10	100	20	85	118	144	55,39	3,17	20	7,6927	0,44075	0,14
1	97	14	67	83	146	56,16	3,21	14	5,38489	0,30853	0,10

Experiment 13:

Vp.: C, r=1,0m, Versuchsmodus: S, AV: v, UV: d. (Mess02)

Messung Nr.	Wd	dp	D	x	vp	v	vg	zp	z	zg	t
		[Pixel]	[°]	[mm]	[Pixel/s]	[mm/s]	[°/s]	[Pixel]	[mm]	[°]	[s]
8	130	2	13	12	48	18,46	1,06	2	0,76927	0,04408	0,04
3	132	6	35	36	61	23,46	1,34	6	2,30781	0,13223	0,10
10	131	4	24	24	71	27,31	1,56	4	1,53854	0,08815	0,06
6	133	8	44	47	80	30,77	1,76	8	3,07708	0,17630	0,10
9	134	10	53	59	121	46,54	2,66	10	3,84635	0,22038	0,08
1	136	14	67	83	121	46,54	2,66	14	5,38489	0,30853	0,12
7	135	12	60	71	138	53,08	3,04	12	4,61562	0,26445	0,09
5	138	18	80	107	138	53,08	3,04	18	6,92343	0,39668	0,13
4	139	20	85	118	140	53,85	3,08	20	7,6927	0,44075	0,14
2	137	16	74	95	150	57,70	3,30	16	6,15416	0,35260	0,11

Experiment 14:

Vp.: B, r=1,1m, Versuchsmodus: S, AV: v, UV: d. (Mess03)

Messung Nr.	Wd	dp	D	x	vp	v	vg	zp	z	zg	t
		[Pixel]	[°]	[mm]	[Pixel/s]	[mm/s]	[°/s]	[Pixel]	[mm]	[°]	[s]
9	131	4	22	26	15	5,77	0,30	4	1,53854	0,08014	0,27
5	130	2	12	13	25	9,62	0,50	2	0,76927	0,04007	0,08
7	139	20	78	128	26	10,00	0,52	20	7,6927	0,40068	0,77
10	138	18	73	115	27	10,39	0,54	18	6,92343	0,36062	0,67
8	135	12	55	77	30	11,54	0,60	12	4,61562	0,24041	0,40
1	133	8	40	51	36	13,85	0,72	8	3,07708	0,16028	0,22
4	136	14	61	90	36	13,85	0,72	14	5,38489	0,28048	0,39
6	134	10	48	64	40	15,39	0,80	10	3,84635	0,20034	0,25
2	137	16	67	103	43	16,54	0,86	16	6,15416	0,32055	0,37
3	132	6	32	38	45	17,31	0,90	6	2,30781	0,12021	0,13

10.2.2 Experimentalserie E1 Zusammenfassung

A) Zusammenfassung der Messwerte aus der Experimentalserie E2 (Markierungsmethode (M)):

vg	zg	zg	zg	zg	zg	zg	zg	zg	zg	zg	zg	zg	MW	Stdabw	Stdabw
[°/s]	Exp.01	Exp.02	Exp.03	Exp.04	Exp.05	Exp.06	Exp.07-1	Exp.07-2	Exp.07-3	Exp.07-4	Exp.08-1	Exp.08-2	[°]	[°]	[%]
0,20	0,000	0,040			0,020								0,020	0,016	82,0
0,22			0,000	0,022		0,044	0,044	0,044	0,022	0,022			0,028	0,015	54,8
0,24	0,040												0,040	0,000	0,0
0,28	0,040												0,040	0,000	0,0
0,30		0,040			0,036								0,038	0,002	4,8
0,32	0,080												0,080	0,000	0,0
0,33			0,154	0,022		0,066							0,081	0,055	68,3
0,36	0,060												0,060	0,000	0,0
0,37											0,074	0,000	0,037	0,037	100,0
0,40	0,080	0,080			0,060								0,073	0,010	13,0
0,44	0,080		0,000	0,044		0,088	0,066	0,088	0,044	0,022			0,054	0,030	56,0
0,48	0,080												0,080	0,000	0,0
0,50		0,040			0,060								0,050	0,010	19,8
0,52	0,100												0,100	0,000	0,0
0,55			0,154	0,066		0,088							0,103	0,037	36,5
0,56	0,100												0,100	0,000	0,0
0,60	0,120	0,080			0,060								0,087	0,025	28,9
0,64	0,100												0,100	0,000	0,0
0,66			0,154	0,066		0,088	0,110	0,110	0,110	0,066			0,101	0,029	28,3
0,68	0,100												0,100	0,000	0,0
0,70		0,080			0,100								0,090	0,010	11,0
0,72	0,080												0,080	0,000	0,0
0,73											0,286	0,074	0,180	0,106	59,2
0,76	0,120												0,120	0,000	0,0
0,77			0,176	0,044		0,110							0,110	0,054	49,0
0,80	0,111	0,080			0,100								0,097	0,013	13,1
0,84	0,120												0,120	0,000	0,0
0,88	0,080		0,176	0,066		0,088	0,088	0,154	0,088	0,066			0,101	0,039	38,2
0,90		0,120			0,100								0,110	0,010	9,2
0,92	0,100												0,100	0,000	0,0
0,96	0,100												0,100	0,000	0,0
0,99			0,154	0,044		0,110							0,103	0,045	44,0
1,00	0,100	0,100			0,100								0,100	0,000	0,0
1,04	0,120												0,120	0,000	0,0
1,08	0,100												0,100	0,000	0,0
1,10		0,100	0,066	0,044	0,080	0,132	0,176	0,132	0,110	0,088			0,103	0,038	36,5
1,10											0,382	0,183	0,283	0,099	35,1
1,12	0,160												0,160	0,000	0,0
1,16	0,120												0,120	0,000	0,0
1,20	0,180	0,160			0,120								0,154	0,025	16,2
1,21			0,110	0,044		0,154							0,103	0,045	44,0
1,24	0,120												0,120	0,000	0,0
1,28	0,140												0,140	0,000	0,0
1,30		0,140			0,120								0,130	0,010	7,6

1,32	0,160		0,066	0,044		0,110	0,132	0,154	0,132	0,132			0,116	0,039	33,2
1,36	0,140												0,140	0,000	0,0
1,40	0,160	0,120			0,120								0,134	0,019	14,1
1,43			0,110	0,066		0,154							0,110	0,036	32,7
1,44	0,140												0,140	0,000	0,0
1,47											0,477	0,183	0,330	0,147	44,5
1,48	0,160												0,160	0,000	0,0
1,50		0,100			0,120								0,110	0,010	9,2
1,52	0,140												0,140	0,000	0,0
1,54			0,176	0,044		0,110	0,154	0,132	0,110	0,110			0,120	0,039	32,5
1,56	0,180												0,180	0,000	0,0
1,60	0,260	0,160			0,140								0,187	0,053	28,1
1,65			0,176	0,110		0,170							0,152	0,030	19,6
1,76			0,154	0,044		0,170	0,176	0,154	0,176	0,154			0,147	0,043	29,3
1,84											0,477	0,257	0,367	0,110	30,0
2,20											0,477	0,221	0,349	0,128	36,8
2,57											0,668	0,257	0,463	0,206	44,5
2,94											0,668	0,294	0,481	0,187	38,9

B) Zusammenfassung der Messwerte aus der Experimentalserie E2 (Abgleichmethode (VN)):

Experiment	vg [°/s]	zg [°]	zg (MW)
12	0,18	0,04408	0,044
10	0,22	0,04007	0,04
11	0,24	0,04007	0,04
14	0,30	0,08014	0,08
9	0,36	0,04007	0,04
10	0,42	0,08014	0,08
14	0,50	0,04007	0,04
14	0,52	0,40068	0,401
14	0,54	0,36062	0,361
11	0,60	0,08014	0,16
14		0,24041	
14	0,72	0,16028	0,22
14		0,28048	
10	0,74	0,12021	0,12
9	0,80	0,08014	0,14
14		0,20034	
14	0,86	0,32055	0,321

14	0,90	0,12021	0,12
13	1,06	0,04408	0,044
9	1,14	0,12021	0,12
12	1,26	0,1763	0,176
10	1,28	0,16028	0,16
11	1,30	0,12021	0,12
13	1,34	0,13223	0,132
9	1,38	0,16028	0,16
13	1,56	0,08815	0,088
10	1,76	0,20034	0,188
13		0,1763	
9	1,78	0,20034	0,2
11	1,82	0,16028	0,16
12	1,94	0,22038	0,22
12	2,29	0,08815	0,088
12	2,49	0,26445	0,264
11	2,56	0,20034	0,2
13	2,66	0,22038	0,264
13		0,30853	
10	2,70	0,24041	0,24
12	2,88	0,3526	0,375
12		0,39668	
9	3,00	0,24041	0,254
10		0,28048	
11		0,24041	
12	3,02	0,13223	0,132
13	3,04	0,26445	0,331
13		0,39668	
13	3,08	0,44075	0,441
12	3,17	0,44075	0,441
12	3,21	0,30853	0,309
13	3,30	0,3526	0,353

C) Zusammenfassung der Messwerte von Versuchsperson A:

Markierungsmethode (M) (Experimente 1-2, 6-8)

vg	z (MW)	Stdabw	Stdabw
[°/s]	[°]	[°]	[%]
0,20	0,020	0,020	100,0
0,22	0,035	0,011	31,1
0,24	0,040	0,000	0,0
0,28	0,040	0,000	0,0
0,30	0,040	0,000	0,0
0,32	0,080	0,000	0,0
0,33	0,066	0,000	0,0
0,36	0,060	0,000	0,0
0,37	0,037	0,037	100,0
0,40	0,080	0,000	0,0
0,44	0,065	0,025	37,9
0,48	0,080	0,000	0,0
0,50	0,040	0,000	0,0
0,52	0,100	0,000	0,0
0,55	0,088	0,000	0,0
0,56	0,100	0,000	0,0
0,60	0,100	0,020	20,0
0,64	0,100	0,000	0,0
0,66	0,097	0,018	18,2
0,68	0,100	0,000	0,0
0,70	0,080	0,000	0,0
0,72	0,080	0,000	0,0
0,73	0,092	0,018	19,8
0,76	0,120	0,000	0,0
0,77	0,110	0,000	0,0
0,80	0,096	0,015	16,1
0,84	0,120	0,000	0,0
0,88	0,094	0,028	29,7
0,90	0,120	0,000	0,0

0,92	0,100	0,000	0,0
0,96	0,100	0,000	0,0
0,99	0,110	0,000	0,0
1,00	0,100	0,000	0,0
1,04	0,120	0,000	0,0
1,08	0,100	0,000	0,0
1,10	0,123	0,029	23,3
1,10	0,165	0,018	11,0
1,12	0,160	0,000	0,0
1,16	0,120	0,000	0,0
1,20	0,170	0,010	5,8
1,21	0,154	0,000	0,0
1,24	0,120	0,000	0,0
1,28	0,140	0,000	0,0
1,30	0,140	0,000	0,0
1,32	0,137	0,017	12,1
1,36	0,140	0,000	0,0
1,40	0,140	0,020	14,3
1,43	0,154	0,000	0,0
1,44	0,140	0,000	0,0
1,47	0,183	0,000	0,0
1,48	0,160	0,000	0,0
1,50	0,100	0,000	0,0
1,52	0,140	0,000	0,0
1,54	0,123	0,018	14,3
1,56	0,180	0,000	0,0
1,60	0,210	0,050	23,8
1,65	0,170	0,000	0,0
1,76	0,166	0,010	6,1
1,84	0,220	0,037	16,7
2,20	0,202	0,019	9,2
2,57	0,257	0,000	0,0
2,94	0,275	0,019	6,8

Abgleichmethode (VN) (Experimente 9-11):

Exp.	vg	zg
	[°/s]	(MW)
10	0,22	0,04
11	0,24	0,04
9	0,36	0,04
10	0,42	0,08
11	0,6	0,08
10	0,74	0,12
9	0,8	0,08
9	1,14	0,12
10	1,28	0,16
11	1,3	0,12
9	1,38	0,16
10	1,76	0,2
9	1,78	0,2
11	1,82	0,16
11	2,56	0,2
10	2,7	0,24
9/10/11	3	0,25

D) Zusammenfassung der Messwerte von Versuchsperson B:

Exp.05:		Exp.14:	
vg	zg	vg	zg
[°/s]	Exp.05	[°/s]	Exp.05
0,20	0,01979	0,30	0,08014
0,30	0,03646	0,50	0,04007
0,40	0,05990	0,52	0,40068
0,50	0,05990	0,54	0,36062
0,60	0,05990	0,60	0,24041
0,70	0,10001	0,72	0,16028
0,80	0,10001	0,72	0,28048
0,90	0,10001	0,80	0,20034
1,00	0,10001	0,86	0,32055
1,10	0,08021	0,90	0,12021
1,20	0,12032		
1,30	0,12032		
1,40	0,12032		
1,50	0,12032		
1,60	0,14011		

E) Zusammenfassung der Messwerte von Versuchsperson C:

Markierungsmethode (M) (Experimente 3-4):

vg	zg	zg	Mittelwert	Stdabw	Stdabw
[°/s]	Exp.03	Exp.04	[°]	[°]	[%]
0,22	0,00000	0,02177	0,011	0,011	100,0
0,33	0,15413	0,02177	0,088	0,066	75,2
0,44	0,00000	0,04412	0,022	0,022	100,0
0,55	0,15413	0,06589	0,110	0,044	40,1
0,66	0,15413	0,06589	0,110	0,044	40,1
0,77	0,17647	0,04412	0,110	0,066	60,0
0,88	0,17647	0,06589	0,121	0,055	45,6
0,99	0,15413	0,04412	0,099	0,055	55,5

1,10	0,06589	0,04412	0,055	0,011	19,8
1,21	0,11001	0,04412	0,077	0,033	42,8
1,32	0,06589	0,04412	0,055	0,011	19,8
1,43	0,11001	0,06589	0,088	0,022	25,1
1,54	0,17647	0,04412	0,110	0,066	60,0
1,65	0,17647	0,11001	0,143	0,033	23,2
1,76	0,15413	0,04412	0,099	0,055	55,5

Abgleichmethode (VN) (Experimente 12-13):

Experiment	vg	zg
	[°/s]	(MW)
12	0,18	0,04408
13	1,06	0,04408
12	1,26	0,1763
13	1,34	0,13223
13	1,56	0,08815
13	1,76	0,1763
12	1,94	0,22038
12	2,29	0,08815
12	2,49	0,26445
13	2,66	0,26445
12	2,88	0,37464
12	3,02	0,13223
13	3,04	0,33057
13	3,08	0,44075
12	3,17	0,44075
12	3,21	0,30853
13	3,3	0,3526

10.2.3 Experimentalserie E2 Rohdaten

Experiment 1:

Vp.: D, r=0,7m, Versuchsmodus: S.

Bei Instruktionsschritt 11 in 5.4.3 gab die Vp. an, das Phänomen weder erkennen noch quantifizieren zu können. Der Versuch wurde darauf hin abgebrochen.

Experiment 2:

Vp.: E, r=0,7m, Versuchsmodus: S.

1. Testlauf: DSI wurde erkannt.
2. Testlauf mit Verdunkelungsbrille ($d = 10$ Pixel, $v = 60$ Pixel/s = $2,2$ °/s):
Ohne Verdunkelungsbrille: $z = 11$ Pixel = $0,9$ °,
mit Verdunkelungsbrille: $z = 11$ Pixel = $0,9$ °,
somit keine Veränderung messbar.
3. Testlauf „Einschätzung der tNI“:

Messung Nr.	Wd	dp	zp	Diff.
1	164	1	0	-1
4	165	3	1	-2
7	166	5	2	-3
3	167	7	4	-3
11	168	9	5	-4
9	169	11	14	3
5	170	13	8	-5
10	171	15	15	0
2	172	17	9	-8
6	173	19	17	-2
8	174	21	18	-3

4. „Nullversuch“ ($vp = 10, 50, 100, 150, 200, 240$):
(Die Vp. gab an, die Messungen seien „undeutlich“)

Messung Nr.	vp	v	vg	„z“p	„z“	„z“g	„t“
	[Pixel/s]	[mm/s]	[°/s]	[Pixel]	[mm]	[°]	[s]
1	10	4,52	0,37	2	0,90	0,074	0,20
3	50	22,60	1,85	10	4,52	0,370	0,20
4	100	45,20	3,69	11	4,97	0,407	0,11
5	150	67,80	5,53	9	4,07	0,333	0,06
2	200	90,40	7,36	17	7,68	0,629	0,09
6	240	108,48	8,81				

5. Messreihe mit Markierungsmethode (M) ($v_p = 10, k \cdot 20, k=1, \dots, 12$):
(Für die letzten beiden Messwerte konnte die V_p keine Werte einstellen, da das Phänomen „nahezu verschwunden“ sei.)

Messung Nr.	v_p	v	v_g	z_p	z	z_g	t
	[Pixel/s]	[mm/s]	[°/s]	[Pixel]	[mm]	[°]	[s]
6	10	4,52	0,37	7	3,16	0,259	0,70
2	20	9,04	0,74	4	1,81	0,148	0,20
10	40	18,08	1,48	12	5,42	0,444	0,30
13	60	27,12	2,22	27	12,20	0,999	0,45
1	80	36,16	2,96	18	8,14	0,666	0,23
7	100	45,20	3,69	15	6,78	0,555	0,15
9	120	54,24	4,43	17	7,68	0,629	0,14
11	140	63,28	5,17	18	8,14	0,666	0,13
5	160	72,32	5,90	17	7,68	0,629	0,11
8	180	81,36	6,63	21	9,49	0,777	0,12
4	200	90,40	7,36	23	10,40	0,851	0,12
12	220	99,44	8,09				
3	240	108,48	8,81				

6. Messreihe mit Abgleichmethode (VN) ($d = z_p = 2k+1, k=0, \dots, 10$):

Messung Nr.	W_d	d_p	D	x	v_p	v	v_g	z_p	z	z_g	t
		[Pixel]	[°]	[mm]	[Pixel/s]	[mm/s]	[°/s]	[Pixel]	[mm]	[°]	[s]
10	167	7	56	36	6	2,71	0,22	7	3,16393	0,259	1,17
9	166	5	42	26	10	4,52	0,37	5	2,25995	0,185	0,50
11	169	11	80	56	11	4,97	0,41	11	4,9719	0,407	1,00
7	165	3	27	15	19	8,59	0,70	3	1,35597	0,111	0,16
8	170	13	90	66	31	14,01	1,15	13	5,87588	0,481	0,42
1	168	9	68	46	38	17,18	1,41	9	4,06792	0,333	0,24
3	164	1	9	5	43	19,44	1,59	1	0,45199	0,037	0,02
6	171	15	99	77	64	28,93	2,37	15	6,77986	0,555	0,23
5	173	19	116	97	66	29,83	2,44	19	8,58782	0,703	0,29
2	174	21	123	107	69	31,19	2,55	21	9,4918	0,777	0,30
4	172	17	108	87	119	53,79	4,39	17	7,68384	0,629	0,14

7. Messreihe mit Markierungsmethode (M) ($v_p = 10, 50, 100, 150, 200, 240$), RF Hecke: 1x1, RF Zweig: 2x2:

Messung Nr.	v_p	v	v_g	z_p	z	z_g	t
	[Pixel/s]	[mm/s]	[°/s]	[Pixel]	[mm]	[°]	[s]
2	10	4,52	0,37	4	1,81	0,148	0,40
6	50	22,60	1,85	8	3,62	0,296	0,16
4	100	45,20	3,69	9	4,07	0,333	0,09
1	150	67,80	5,53	8	3,62	0,296	0,05
5	200	90,40	7,36	15	6,78	0,555	0,08
3	240	108,48	8,81	20	9,04	0,740	0,08

8. Messreihe mit Markierungsmethode (M) ($v_p = 10, 50, 100, 150, 200, 240$), RF Hecke: 2x2, RF Zweig: 1x1:

Messung Nr.	v_p	v	v_g	z_p	z	z_g	t
	[Pixel/s]	[mm/s]	[°/s]	[Pixel]	[mm]	[°]	[s]
6	10	4,52	0,37	3	1,36	0,111	0,30
5	50	22,60	1,85	12	5,42	0,444	0,24
4	100	45,20	3,69	14	6,33	0,518	0,14
1	150	67,80	5,53	13	5,88	0,481	0,09
2	200	90,40	7,36	21	9,49	0,777	0,11
3	240	108,48	8,81	25	11,30	0,925	0,10

9. Messreihe mit Markierungsmethode (M) ($v_p = 10, 50, 100, 150, 200, 240$), AP Hecke: 25:75, AP Zweig: 75:25:

Messung Nr.	v_p	v	v_g	z_p	z	z_g	t
	[Pixel/s]	[mm/s]	[°/s]	[Pixel]	[mm]	[°]	[s]
5	10	4,52	0,37	4	1,81	0,148	0,40
1	50	22,60	1,85	6	2,71	0,222	0,12
3	100	45,20	3,69	9	4,07	0,333	0,09
6	150	67,80	5,53	13	5,88	0,481	0,09
2	200	90,40	7,36	15	6,78	0,555	0,08
4	240	108,48	8,81	17	7,68	0,629	0,07

10. Messreihe mit Markierungsmethode (M) ($v_p = 10, 50, 100, 150, 200, 240$), AP Hecke:
75:25, AP Zweig: 25:75:

Messung Nr.	v_p	v	v_g	z_p	z	z_g	t
	[Pixel/s]	[mm/s]	[°/s]	[Pixel]	[mm]	[°]	[s]
5	10	4,52	0,37	4	1,81	0,148	0,40
1	50	22,60	1,85	8	3,62	0,296	0,16
3	100	45,20	3,69	9	4,07	0,333	0,09
2	150	67,80	5,53	15	6,78	0,555	0,10
6	200	90,40	7,36	27	12,20	0,999	0,14
4	240	108,48	8,81	38	17,18	1,406	0,16

11. „Nullversuch“ ($v_p = 10, 50, 100, 150, 200, 240$):
Es wurde kein DSI-Phänomen wahrgenommen.

Experiment 3:

Vp.: F, $r=0,7m$, Versuchsmodus: S.

1. Testlauf: DSI wurde erkannt.
2. Testlauf mit Verdunkelungsbrille ($d = 10$ Pixel, $v = 60$ Pixel/s = $2,2$ °/s):
Ohne Verdunkelungsbrille: $z = 2$ Pixel = $0,2$ °,
mit Verdunkelungsbrille: $z = 2$ Pixel = $0,2$ °,
somit keine Veränderung messbar.
3. Testlauf „Einschätzung der tNI“:

Messung Nr.	Wd	dp	zp	Diff.
2	164	1	0	-1
8	165	3	4	1
7	166	5	7	2
6	167	7	8	1
11	168	9	8	-1
10	169	11	15	4
4	170	13	14	1
5	171	15	15	0
3	172	17	10	-7
9	173	19	19	0
1	174	21	2	-19

4. „Nullversuch“ ($v_p = 10, 50, 100, 150, 200, 240$):
Es wurde kein DSI-Phänomen wahrgenommen.

5. Messreihe mit Markierungsmethode (M) ($v_p = 10, k \cdot 20, k=1, \dots, 12$):

Messung Nr.	v_p	v	vg	z_p	z	zg	t
	[Pixel/s]	[mm/s]	[°/s]	[Pixel]	[mm]	[°]	[s]
10	10	4,52	0,37	0	0,00	0,000	0,00
2	20	9,04	0,74	2	0,90	0,074	0,10
13	40	18,08	1,48	2	0,90	0,074	0,05
8	60	27,12	2,22	6	2,71	0,222	0,10
1	80	36,16	2,96	5	2,26	0,185	0,06
6	100	45,20	3,69	8	3,62	0,296	0,08
3	120	54,24	4,43	5	2,26	0,185	0,04
7	140	63,28	5,17	9	4,07	0,333	0,06
5	160	72,32	5,90	8	3,62	0,296	0,05
11	180	81,36	6,63	11	4,97	0,407	0,06
9	200	90,40	7,36	12	5,42	0,444	0,06
4	220	99,44	8,09	13	5,88	0,481	0,06
12	240	108,48	8,81	15	6,78	0,555	0,06

6. Messreihe mit Abgleichmethode (VN) ($d = z_p = 2k+1, k=0, \dots, 10$):

Messung Nr.	W_d	dp	D	x	v_p	v	vg	z_p	z	zg	t
		[Pixel]	[°]	[mm]	[Pixel/s]	[mm/s]	[°/s]	[Pixel]	[mm]	[°]	[s]
4	164	1	10	5	84	37,97	3,10	1	0,45199	0,037	0,01
11	165	3	27	15	113	51,07	4,17	3	1,35597	0,111	0,03
3	166	5	42	24	113	51,07	4,17	5	2,25995	0,185	0,04
10	167	7	56	34	130	58,76	4,80	7	3,16393	0,259	0,05
7	168	9	69	44	160	72,32	5,90	9	4,06792	0,333	0,06
8	169	11	81	54	163	73,67	6,01	11	4,9719	0,407	0,07
6	170	13	91	63	170	76,84	6,26	13	5,87588	0,481	0,08
1	171	15	101	73	178	80,45	6,56	15	6,77986	0,555	0,08
9	174	21	125	102	190	85,88	6,99	21	9,4918	0,777	0,11
5	173	19	118	92	191	86,33	7,03	19	8,58782	0,703	0,10
2	172	17	109	83	197	89,04	7,25	17	7,68384	0,629	0,09

7. Messreihe mit Markierungsmethode (M) ($v_p = 10, 50, 100, 150, 200, 240$), RF *Hecke*:
1x1, RF *Zweig*: 2x2:

Messung Nr.	vp	v	vg	zp	z	zg	t
	[Pixel/s]	[mm/s]	[°/s]	[Pixel]	[mm]	[°]	[s]
2	10	4,52	0,37	0	0,00	0,000	0,00
1	50	22,60	1,85	2	0,90	0,074	0,04
6	100	45,20	3,69	4	1,81	0,148	0,04
5	150	67,80	5,53	8	3,62	0,296	0,05
4	200	90,40	7,36	13	5,88	0,481	0,07
3	240	108,48	8,81	18	8,14	0,666	0,08

8. Messreihe mit Markierungsmethode (M) ($v_p = 10, 50, 100, 150, 200, 240$), RF *Hecke*:
2x2, RF *Zweig*: 1x1:

Messung Nr.	vp	v	vg	zp	z	zg	t
	[Pixel/s]	[mm/s]	[°/s]	[Pixel]	[mm]	[°]	[s]
2	10	4,52	0,37	0	0,00	0,000	0,00
3	50	22,60	1,85	3	1,36	0,111	0,06
4	100	45,20	3,69	5	2,26	0,185	0,05
1	150	67,80	5,53	6	2,71	0,222	0,04
5	200	90,40	7,36	14	6,33	0,518	0,07
6	240	108,48	8,81	19	8,59	0,703	0,08

9. Messreihe mit Markierungsmethode (M) ($v_p = 10, 50, 100, 150, 200, 240$), AP *Hecke*:
25:75, AP *Zweig*: 75:25:

Messung Nr.	vp	v	vg	zp	z	zg	t
	[Pixel/s]	[mm/s]	[°/s]	[Pixel]	[mm]	[°]	[s]
3	10	4,52	0,37	0	0,00	0,000	0,00
1	50	22,60	1,85	1	0,45	0,037	0,02
2	100	45,20	3,69	6	2,71	0,222	0,06
4	150	67,80	5,53	11	4,97	0,407	0,07
5	200	90,40	7,36	15	6,78	0,555	0,08
6	240	108,48	8,81	21	9,49	0,777	0,09

10. Messreihe mit Markierungsmethode (M) ($v_p = 10, 50, 100, 150, 200, 240$), AP *Hecke*: 75:25, AP *Zweig*: 25:75:

Messung Nr.	v_p	v	v_g	z_p	z	z_g	t
	[Pixel/s]	[mm/s]	[°/s]	[Pixel]	[mm]	[°]	[s]
4	10	4,52	0,37	0	0,00	0,000	0,00
1	50	22,60	1,85	2	0,90	0,074	0,04
3	100	45,20	3,69	10	4,52	0,370	0,10
2	150	67,80	5,53	12	5,42	0,444	0,08
6	200	90,40	7,36	17	7,68	0,629	0,09
5	240	108,48	8,81	23	10,40	0,851	0,10

11. „Nullversuch“ ($v_p = 10, 50, 100, 150, 200, 240$):

Messung Nr.	v_p	v	v_g	„z“ _p	„z“	„z“ _g	„t“
	[Pixel/s]	[mm/s]	[°/s]	[Pixel]	[mm]	[°]	[s]
5	10	4,52	0,37	0	0,00	0,00	0,00
2	50	22,60	1,85	0	0,00	0,00	0,00
4	100	45,20	3,69	2	0,90	0,07	0,02
6	150	67,80	5,53	4	1,81	0,15	0,03
1	200	90,40	7,36	4	1,81	0,15	0,02
3	240	108,48	8,81	6	2,71	0,22	0,03

Experimente 4 und 5:

V_p : G, $r=0,7m$, Versuchsmodus: S.

Bei Instruktionsschritt 11 in 5.4.3 gab die V_p an, das Phänomen weder erkennen noch quantifizieren zu können. Der Versuch wurde darauf hin abgebrochen.

Experiment 6:

V_p : I, $r=0,7m$, Versuchsmodus: S.

1. Testlauf: DSI wurde erkannt.
2. Testlauf mit Verdunkelungsbrille ($d = 10$ Pixel, $v = 60$ Pixel/s = 2,2 °/s):
 Ohne Verdunkelungsbrille: $z = 12$ Pixel = 1,0 °,
 mit Verdunkelungsbrille: $z = 6$ Pixel = 0,5 °,
 somit Veränderung durch Verdunkelung: Verringerung um 50 %.

3. Testlauf „Einschätzung der tNI“:

Messung Nr.	Wd	dp	zp	Diff.
7	164	1	2	1
6	165	3	4	1
3	166	5	7	2
8	167	7	5	-2
2	168	9	9	0
9	169	11	8	-3
1	170	13	11	-2
4	171	15	10	-5
11	172	17	6	-11
5	173	19	9	-10
10	174	21	7	-14

4. „Nullversuch“ ($v_p = 10, 50, 100, 150, 200, 240$):

Messung Nr.	v_p	v	vg	„z“p	„z“	„z“g	„t“
	[Pixel/s]	[mm/s]	[°/s]	[Pixel]	[mm]	[°]	[s]
2	10	4,52	0,37	5	2,26	0,185	0,50
5	50	22,60	1,85	12	5,42	0,444	0,24
1	100	45,20	3,69	6	2,71	0,222	0,06
4	150	67,80	5,53	9	4,07	0,333	0,06
3	200	90,40	7,36	0	0,00	0,000	0,00
6	240	108,48	8,81	0	0,00	0,000	0,00

5. Messreihe mit Markierungsmethode (M) ($v_p = 10, k \cdot 20, k=1, \dots, 12$):

Messung Nr.	v_p	v	vg	z_p	z	z_g	t
	[Pixel/s]	[mm/s]	[°/s]	[Pixel]	[mm]	[°]	[s]
1	10	4,52	0,37	6	2,71	0,222	0,60
6	20	9,04	0,74	8	3,62	0,296	0,40
7	40	18,08	1,48	8	3,62	0,296	0,20
3	60	27,12	2,22	9	4,07	0,333	0,15
2	80	36,16	2,96	11	4,97	0,407	0,14
13	100	45,20	3,69	8	3,62	0,296	0,08
5	120	54,24	4,43	12	5,42	0,444	0,10
12	140	63,28	5,17	10	4,52	0,370	0,07

9	160	72,32	5,90	12	5,42	0,444	0,08
10	180	81,36	6,63	13	5,88	0,481	0,07
8	200	90,40	7,36	14	6,33	0,518	0,07
4	220	99,44	8,09	18	8,14	0,666	0,08
11	240	108,48	8,81	16	7,23	0,592	0,07

6. Messreihe mit Abgleichmethode (VN) ($d = z_p = 2k+1$, $k=0,\dots,10$):

Messung Nr.	Wd	dp	D	x	vp	v	vg	zp	z	zg	t
		[Pixel]	[°]	[mm]	[Pixel/s]	[mm/s]	[°/s]	[Pixel]	[mm]	[°]	[s]
10	164	1	9	5	43	19,44	1,59	1	0,45199	0,037	0,02
5	166	5	42	26	46	20,79	1,70	5	2,25995	0,185	0,11
3	165	3	27	16	63	28,48	2,33	3	1,35597	0,111	0,05
6	168	9	68	47	87	39,32	3,22	9	4,06792	0,333	0,10
4	169	11	79	58	99	44,75	3,66	11	4,9719	0,407	0,11
9	167	7	56	37	112	50,62	4,14	7	3,16393	0,259	0,06
7	171	15	98	79	113	51,07	4,17	15	6,77986	0,555	0,13
11	172	17	106	90	144	65,09	5,31	17	7,68384	0,629	0,12
1	173	19	114	100	170	76,84	6,26	19	8,58782	0,703	0,11
2	170	13	89	69	184	83,17	6,78	13	5,87588	0,481	0,07
8	174	21	121	111	187	84,52	6,88	21	9,4918	0,777	0,11

7. Messreihe mit Markierungsmethode (M) ($v_p = 10, 50, 100, 150, 200, 240$), RF *Hecke*:
1x1, RF *Zweig*: 2x2:

Messung Nr.	vp	v	vg	zp	z	zg	t
	[Pixel/s]	[mm/s]	[°/s]	[Pixel]	[mm]	[°]	[s]
4	10	4,52	0,37	7	3,16	0,259	0,03
2	50	22,60	1,85	9	4,07	0,333	0,01
3	100	45,20	3,69	11	4,97	0,407	0,00
5	150	67,80	5,53	12	5,42	0,444	0,00
1	200	90,40	7,36	14	6,33	0,518	0,00
6	240	108,48	8,81	19	8,59	0,703	0,00

8. Messreihe mit Markierungsmethode (M) ($v_p = 10, 50, 100, 150, 200, 240$), RF *Hecke*: 2x2, RF *Zweig*: 1x1:

Messung Nr.	vp	v	vg	zp	z	zg	t
	[Pixel/s]	[mm/s]	[°/s]	[Pixel]	[mm]	[°]	[s]
4	10	4,52	0,37	4	1,81	0,148	0,40
6	50	22,60	1,85	8	3,62	0,296	0,16
5	100	45,20	3,69	9	4,07	0,333	0,09
3	150	67,80	5,53	13	5,88	0,481	0,09
1	200	90,40	7,36	15	6,78	0,555	0,08
2	240	108,48	8,81	19	8,59	0,703	0,08

9. Messreihe mit Markierungsmethode (M) ($v_p = 10, 50, 100, 150, 200, 240$), AP *Hecke*: 25:75, AP *Zweig*: 75:25:

Messung Nr.	vp	v	vg	zp	z	zg	t
	[Pixel/s]	[mm/s]	[°/s]	[Pixel]	[mm]	[°]	[s]
3	10	4,52	0,37	4	1,81	0,148	0,40
5	50	22,60	1,85	7	3,16	0,259	0,14
1	100	45,20	3,69	8	3,62	0,296	0,08
2	150	67,80	5,53	10	4,52	0,370	0,07
4	200	90,40	7,36	12	5,42	0,444	0,06
6	240	108,48	8,81	16	7,23	0,592	0,07

10. Messreihe mit Markierungsmethode (M) ($v_p = 10, 50, 100, 150, 200, 240$), AP *Hecke*: 75:25, AP *Zweig*: 25:75:

Messung Nr.	vp	v	vg	zp	z	zg	t
	[Pixel/s]	[mm/s]	[°/s]	[Pixel]	[mm]	[°]	[s]
1	10	4,52	0,37	5	2,26	0,185	0,50
2	50	22,60	1,85	10	4,52	0,370	0,20
6	100	45,20	3,69	12	5,42	0,444	0,12
3	150	67,80	5,53	14	6,33	0,518	0,09
5	200	90,40	7,36	16	7,23	0,592	0,08
4	240	108,48	8,81	23	10,40	0,851	0,10

11. „Nullversuch“ ($v_p = 10, 50, 100, 150, 200, 240$):
Es wurde kein DSI-Phänomen wahrgenommen.

Experiment 7:

Vp.: J, r=0,7m, Versuchsmodus: S.

1. Testlauf: DSI wurde erkannt.
2. Testlauf mit Verdunkelungsbrille ($d = 10$ Pixel, $v = 60$ Pixel/s = $2,2$ °/s):
Ohne Verdunkelungsbrille: $z = 3$ Pixel = $0,3$ °,
mit Verdunkelungsbrille: $z = 2$ Pixel = $0,2$ °,
somit Veränderung durch Verdunkelung: Verringerung um 33 %.
3. Testlauf „Einschätzung der tNI“:

Messung Nr.	Wd	dp	zp	Diff.
1	164	1	2	1
8	165	3	0	-3
11	166	5	6	1
6	167	7	8	1
10	168	9	7	-2
2	169	11	11	0
5	170	13	10	-3
4	171	15	10	-5
7	172	17	16	-1
3	173	19	14	-5
9	174	21	20	-1

4. „Nullversuch“ ($v_p = 10, 50, 100, 150, 200, 240$):
Es wurde kein DSI-Phänomen wahrgenommen.
5. Messreihe mit Markierungsmethode (M) ($v_p = 10, k \cdot 20, k=1, \dots, 12$):

Messung Nr.	v_p	v	v_g	z_p	z	z_g	t
	[Pixel/s]	[mm/s]	[°/s]	[Pixel]	[mm]	[°]	[s]
4	10	4,52	0,37	3	1,36	0,111	0,30
8	20	9,04	0,74	10	4,52	0,370	0,50
9	40	18,08	1,48	6	2,71	0,222	0,15
12	60	27,12	2,22	5	2,26	0,185	0,08
11	80	36,16	2,96	11	4,97	0,407	0,14
7	100	45,20	3,69	8	3,62	0,296	0,08
10	120	54,24	4,43	15	6,78	0,555	0,13
13	140	63,28	5,17	14	6,33	0,518	0,10
3	160	72,32	5,90	9	4,07	0,333	0,06
2	180	81,36	6,63	18	8,14	0,666	0,10

5	200	90,40	7,36	11	4,97	0,407	0,06
6	220	99,44	8,09	37	16,72	1,369	0,17
1	240	108,48	8,81	32	14,46	1,184	0,13

6. Messreihe mit Abgleichmethode (VN) ($d = z_p = 2k+1$, $k=0,\dots,10$):

Messung Nr.	Wd	dp	D	x	vp	v	vg	zp	z	zg	t
		[Pixel]	[°]	[mm]	[Pixel/s]	[mm/s]	[°/s]	[Pixel]	[mm]	[°]	[s]
7	164	1	9	5	0	0,00	0,00	1	0,45199	0,037	-
5	165	3	27	16	31	14,01	1,15	3	1,35597	0,111	0,10
4	166	5	42	26	38	17,18	1,41	5	2,25995	0,185	0,13
2	167	7	56	37	56	25,31	2,07	7	3,16393	0,259	0,13
8	173	19	114	100	59	26,67	2,18	19	8,58782	0,703	0,32
9	168	9	68	47	63	28,48	2,33	9	4,06792	0,333	0,14
11	174	21	121	111	64	28,93	2,37	21	9,4918	0,777	0,33
1	171	15	98	79	70	31,64	2,59	15	6,77986	0,555	0,21
6	169	11	79	58	77	34,80	2,85	11	4,9719	0,407	0,14
10	170	13	89	69	107	48,36	3,95	13	5,87588	0,481	0,12
3	172	17	106	90	108	48,81	3,99	17	7,68384	0,629	0,16

7. Messreihe mit Markierungsmethode (M) ($v_p = 10, 50, 100, 150, 200, 240$), RF *Hecke*:
1x1, RF *Zweig*: 2x2:

Messung Nr.	vp	v	vg	zp	z	zg	t
	[Pixel/s]	[mm/s]	[°/s]	[Pixel]	[mm]	[°]	[s]
4	10	4,52	0,37	2	0,90	0,074	0,20
5	50	22,60	1,85	9	4,07	0,333	0,18
6	100	45,20	3,69	13	5,88	0,481	0,13
2	150	67,80	5,53	10	4,52	0,370	0,07
3	200	90,40	7,36	15	6,78	0,555	0,08
1	240	108,48	8,81	17	7,68	0,629	0,07

8. Messreihe mit Markierungsmethode (M) ($v_p = 10, 50, 100, 150, 200, 240$), RF *Hecke*: 2x2, RF *Zweig*: 1x1:

Messung Nr.	v_p	v	v_g	z_p	z	z_g	t
	[Pixel/s]	[mm/s]	[°/s]	[Pixel]	[mm]	[°]	[s]
5	10	4,52	0,37	8	3,62	0,296	0,80
3	50	22,60	1,85	5	2,26	0,185	0,10
6	100	45,20	3,69	10	4,52	0,370	0,10
2	150	67,80	5,53	18	8,14	0,666	0,12
1	200	90,40	7,36	17	7,68	0,629	0,09
4	240	108,48	8,81	15	6,78	0,555	0,06

9. Messreihe mit Methode (M) ($v_p = 10, 50, 100, 150, 200, 240$), AP *Hecke*: 25:75, AP *Zweig*: 75:25:

Messung Nr.	v_p	v	v_g	z_p	z	z_g	t
	[Pixel/s]	[mm/s]	[°/s]	[Pixel]	[mm]	[°]	[s]
3	10	4,52	0,37	2	0,90	0,074	0,20
5	50	22,60	1,85	6	2,71	0,222	0,12
1	100	45,20	3,69	14	6,33	0,518	0,14
2	150	67,80	5,53	13	5,88	0,481	0,09
4	200	90,40	7,36	20	9,04	0,740	0,10
6	240	108,48	8,81	13	5,88	0,481	0,05

10. Messreihe mit Markierungsmethode (M) ($v_p = 10, 50, 100, 150, 200, 240$), AP *Hecke*: 75:25, AP *Zweig*: 25:75:

Messung Nr.	v_p	v	v_g	z_p	z	z_g	t
	[Pixel/s]	[mm/s]	[°/s]	[Pixel]	[mm]	[°]	[s]
5	10	4,52	0,37	1	0,45	0,037	0,10
4	50	22,60	1,85	7	3,16	0,259	0,14
6	100	45,20	3,69	7	3,16	0,259	0,07
3	150	67,80	5,53	7	3,16	0,259	0,05
1	200	90,40	7,36	10	4,52	0,370	0,05
2	240	108,48	8,81	12	5,42	0,444	0,05

11. „Nullversuch“ ($v_p = 10, 50, 100, 150, 200, 240$):
Es wurde kein DSI-Phänomen wahrgenommen.

Experiment 8:

Vp.: K, r=0,7m, Versuchsmodus: S.

1. Testlauf: DSI wurde erkannt.
2. Testlauf mit Verdunkelungsbrille (d = 10 Pixel, v = 60 Pixel/s = 2,2 °/s):
 Ohne Verdunkelungsbrille: z = 5 Pixel = 0,4 °,
 mit Verdunkelungsbrille: z = 5 Pixel = 0,4 °,
 somit keine Veränderung messbar. Vp. gab allerdings auf Nachfrage an, dass der Effekt sich mit Verdunkelungsbrille „leicht verkleinert“. Dies konnte sie aber nicht durch die Messung bestätigen.
3. Testlauf „Einschätzung der tNI“:

Messung Nr.	Wd	dp	zp	Diff.
1	164	1	2	1
3	166	5	10	5
4	168	9	19	10
5	170	13	39	26
2	172	17	13	-4
6	174	21	25	4

4. „Nullversuch“ (vp = 10, 50, 100, 150, 200, 240):
 (Die Vp. gab an, der Effekt sei in diesem Fall „sehr undeutlich“.)

Messung Nr.	vp	v	vg	„z“p	„z“	„z“g	„t“
	[Pixel/s]	[mm/s]	[°/s]	[Pixel]	[mm]	[°]	[s]
2	10	4,52	0,37	6	2,71	0,222	0,60
3	50	22,60	1,85	6	2,71	0,222	0,12
1	100	45,20	3,69	3	1,36	0,111	0,03
5	150	67,80	5,53	7	3,16	0,259	0,05
4	200	90,40	7,36	6	2,71	0,222	0,03
6	240	108,48	8,81	6	2,71	0,222	0,03

5. Messreihe mit Markierungsmethode (M) (vp = 10, k · 20, k=1,...,12):

Messung Nr.	vp	v	vg	zp	z	zg	t
	[Pixel/s]	[mm/s]	[°/s]	[Pixel]	[mm]	[°]	[s]
2	10	4,52	0,37	7	3,16	0,259	0,70
11	20	9,04	0,74	7	3,16	0,259	0,35
5	40	18,08	1,48	6	2,71	0,222	0,15
10	60	27,12	2,22	8	3,62	0,296	0,13

13	80	36,16	2,96	10	4,52	0,370	0,13
3	100	45,20	3,69	11	4,97	0,407	0,11
8	120	54,24	4,43	8	3,62	0,296	0,07
6	140	63,28	5,17	10	4,52	0,370	0,07
12	160	72,32	5,90	8	3,62	0,296	0,05
4	180	81,36	6,63	9	4,07	0,333	0,05
1	200	90,40	7,36	8	3,62	0,296	0,04
7	220	99,44	8,09	9	4,07	0,333	0,04
9	240	108,48	8,81	11	4,97	0,407	0,05

6. Messreihe mit Abgleichmethode (VN) ($d = z_p = 4k+1$, $k=0,\dots,5$):

Messung Nr.	Wd	dp	D	x	vp	v	vg	zp	z	zg	t
		[Pixel]	[']	[mm]	[Pixel/s]	[mm/s]	[°/s]	[Pixel]	[mm]	[°]	[s]
6	168	9	68	46	121	54,69	4,47	9	4,06792	0,333	0,07
9	174	21	123	107	129	58,31	4,76	21	9,4918	0,777	0,16
1	166	5	42	26	140	63,28	5,17	5	2,25995	0,185	0,04
2	170	13	90	66	148	66,89	5,46	13	5,87588	0,481	0,09
5	172	17	108	87	159	71,87	5,86	17	7,68384	0,629	0,11
10	164	1	9	5	163	73,67	6,01	1	0,45199	0,037	0,01

7. Messreihe mit Markierungsmethode (M) ($v_p = 10, 50, 100, 150, 200, 240$), RF *Hecke*: 1x1, RF *Zweig*: 2x2:

Messung Nr.	vp	v	vg	zp	z	zg	t
	[Pixel/s]	[mm/s]	[°/s]	[Pixel]	[mm]	[°]	[s]
6	10	4,52	0,37	10	4,52	0,370	1,00
5	50	22,60	1,85	9	4,07	0,333	0,18
4	100	45,20	3,69	9	4,07	0,333	0,09
3	150	67,80	5,53	8	3,62	0,296	0,05
2	200	90,40	7,36	8	3,62	0,296	0,04
1	240	108,48	8,81	9	4,07	0,333	0,04

8. Messreihe mit Markierungsmethode (M) ($v_p = 10, 50, 100, 150, 200, 240$), RF *Hecke*: 2x2, RF *Zweig*: 1x1:

Messung Nr.	vp	v	vg	zp	z	zg	t
	[Pixel/s]	[mm/s]	[°/s]	[Pixel]	[mm]	[°]	[s]
1	10	4,52	0,37	8	3,62	0,296	0,80
5	50	22,60	1,85	10	4,52	0,370	0,20
2	100	45,20	3,69	11	4,97	0,407	0,11
6	150	67,80	5,53	10	4,52	0,370	0,07
4	200	90,40	7,36	9	4,07	0,333	0,05
3	240	108,48	8,81	9	4,07	0,333	0,04

9. Messreihe mit Markierungsmethode (M) ($v_p = 10, 50, 100, 150, 200, 240$), AP *Hecke*: 25:75, AP *Zweig*: 75:25:

Messung Nr.	vp	v	vg	zp	z	zg	t
	[Pixel/s]	[mm/s]	[°/s]	[Pixel]	[mm]	[°]	[s]
2	10	4,52	0,37	10	4,52	0,370	1,00
3	50	22,60	1,85	10	4,52	0,370	0,20
6	100	45,20	3,69	11	4,97	0,407	0,11
1	150	67,80	5,53	10	4,52	0,370	0,07
5	200	90,40	7,36	9	4,07	0,333	0,05
4	240	108,48	8,81	7	3,16	0,259	0,03

10. Messreihe mit Markierungsmethode (M) ($v_p = 10, 50, 100, 150, 200, 240$), AP *Hecke*: 75:25, AP *Zweig*: 25:75:

Messung Nr.	vp	v	vg	zp	z	zg	t
	[Pixel/s]	[mm/s]	[°/s]	[Pixel]	[mm]	[°]	[s]
6	10	4,52	0,37	9	4,07	0,333	0,90
3	50	22,60	1,85	14	6,33	0,518	0,28
5	100	45,20	3,69	16	7,23	0,592	0,16
1	150	67,80	5,53	8	3,62	0,296	0,05
2	200	90,40	7,36	12	5,42	0,444	0,06
4	240	108,48	8,81	11	4,97	0,407	0,05

11. „Nullversuch“ ($v_p = 10, 50, 100, 150, 200, 240$):

Messung Nr.	v_p	v	v_g	„z“ _p	„z“	„z“ _g	„t“
	[Pixel/s]	[mm/s]	[°/s]	[Pixel]	[mm]	[°]	[s]
2	10	4,52	0,37	10	4,52	0,370	1,00
6	50	22,60	1,85	11	4,97	0,407	0,22
1	100	45,20	3,69	12	5,42	0,444	0,12
3	150	67,80	5,53	10	4,52	0,370	0,07
5	200	90,40	7,36	10	4,52	0,370	0,05
4	240	108,48	8,81	9	4,07	0,333	0,04

Experiment 9:

Vp.: L, r=0,7m, Versuchsmodus: S.

1. Testlauf: DSI wurde erkannt.
2. Testlauf mit Verdunkelungsbrille ($d = 10$ Pixel, $v = 60$ Pixel/s = $2,2$ °/s):
Ohne Verdunkelungsbrille: $z = 8$ Pixel = $0,7$ °,
mit Verdunkelungsbrille: $z = 5$ Pixel = $0,4$ °,
somit Veränderung durch Verdunkelung: Verringerung um 37,5 %.
3. Testlauf „Einschätzung der tNI“:

Messung Nr.	Wd	dp	zp	Diff.
2	164	1	9	8
6	166	5	10	5
5	168	9	26	17
4	170	13	20	7
1	172	17	14	-3
3	174	21	30	9

4. „Nullversuch“ ($v_p = 10, 50, 100, 150, 200, 240$):
Es wurde kein DSI-Phänomen wahrgenommen.
5. Messreihe mit Markierungsmethode (M) ($v_p = 10, k \cdot 20, k=1, \dots, 12$):

Messung Nr.	v_p	v	v_g	z_p	z	z_g	t
	[Pixel/s]	[mm/s]	[°/s]	[Pixel]	[mm]	[°]	[s]
3	10	4,52	0,37	4	1,81	0,148	0,40
10	20	9,04	0,74	3	1,36	0,111	0,15
11	40	18,08	1,48	4	1,81	0,148	0,10
12	60	27,12	2,22	5	2,26	0,185	0,08

9	80	36,16	2,96	6	2,71	0,222	0,08
1	100	45,20	3,69	8	3,62	0,296	0,08
5	120	54,24	4,43	7	3,16	0,259	0,06
13	140	63,28	5,17	10	4,52	0,370	0,07
7	160	72,32	5,90	8	3,62	0,296	0,05
6	180	81,36	6,63	10	4,52	0,370	0,06
8	200	90,40	7,36	10	4,52	0,370	0,05
2	220	99,44	8,09	11	4,97	0,407	0,05
4	240	108,48	8,81	12	5,42	0,444	0,05

6. Messreihe mit Abgleichmethode (VN) ($d = z_p = 4k+1, k=0, \dots, 5$):

Messung Nr.	Wd	dp	D	x	vp	v	vg	zp	z	zg	t
		[Pixel]	[']	[mm]	[Pixel/s]	[mm/s]	[°/s]	[Pixel]	[mm]	[°]	[s]
5	164	1	9	5	178	80,45	6,56	1	0,45199	0,037	0,01
3	166	5	42	26	200	90,40	7,36	5	2,25995	0,185	0,03
2	168	9	68	47	205	92,66	7,54	9	4,06792	0,333	0,04
6	170	13	89	69	225	101,70	8,27	13	5,87588	0,481	0,06
4	174	21	121	111	228	103,05	8,37	21	9,4918	0,777	0,09
1	172	17	106	90	232	104,86	8,52	17	7,68384	0,629	0,07

7. Messreihe mit Markierungsmethode (M) ($v_p = 10, 50, 100, 150, 200, 240$), RF *Hecke*: 1x1, RF *Zweig*: 2x2:

Messung Nr.	vp	v	vg	zp	z	zg	t
	[Pixel/s]	[mm/s]	[°/s]	[Pixel]	[mm]	[°]	[s]
5	10	4,52	0,37	5	2,26	0,185	0,50
4	50	22,60	1,85	6	2,71	0,222	0,12
2	100	45,20	3,69	12	5,42	0,444	0,12
3	150	67,80	5,53	11	4,97	0,407	0,07
6	200	90,40	7,36	14	6,33	0,518	0,07
1	240	108,48	8,81	16	7,23	0,592	0,07

8. Messreihe mit Markierungsmethode (M) ($v_p = 10, 50, 100, 150, 200, 240$), RF *Hecke*: 2x2, RF *Zweig*: 1x1:

Messung Nr.	vp	v	vg	zp	z	zg	t
	[Pixel/s]	[mm/s]	[°/s]	[Pixel]	[mm]	[°]	[s]
5	10	4,52	0,37	3	1,36	0,111	0,30
6	50	22,60	1,85	6	2,71	0,222	0,12
1	100	45,20	3,69	9	4,07	0,333	0,09
4	150	67,80	5,53	9	4,07	0,333	0,06
2	200	90,40	7,36	13	5,88	0,481	0,07
3	240	108,48	8,81	12	5,42	0,444	0,05

9. Messreihe mit Markierungsmethode (M) ($v_p = 10, 50, 100, 150, 200, 240$), AP *Hecke*: 25:75, AP *Zweig*: 75:25:

Messung Nr.	vp	v	vg	zp	z	zg	t
	[Pixel/s]	[mm/s]	[°/s]	[Pixel]	[mm]	[°]	[s]
4	10	4,52	0,37	3	1,36	0,111	0,30
2	50	22,60	1,85	6	2,71	0,222	0,12
3	100	45,20	3,69	7	3,16	0,259	0,07
1	150	67,80	5,53	8	3,62	0,296	0,05
5	200	90,40	7,36	11	4,97	0,407	0,06
6	240	108,48	8,81	13	5,88	0,481	0,05

10. Messreihe mit Markierungsmethode (M) ($v_p = 10, 50, 100, 150, 200, 240$), AP *Hecke*: 75:25, AP *Zweig*: 25:75:

Messung Nr.	vp	v	vg	zp	z	zg	t
	[Pixel/s]	[mm/s]	[°/s]	[Pixel]	[mm]	[°]	[s]
6	10	4,52	0,37	4	1,81	0,148	0,40
1	50	22,60	1,85	5	2,26	0,185	0,10
5	100	45,20	3,69	6	2,71	0,222	0,06
3	150	67,80	5,53	9	4,07	0,333	0,06
2	200	90,40	7,36	12	5,42	0,444	0,06
4	240	108,48	8,81	13	5,88	0,481	0,05

11. „Nullversuch“ ($v_p = 10, 50, 100, 150, 200, 240$):

Messung Nr.	v_p	v	v_g	„z“ _p	„z“ _g	„z“ _g	„t“
	[Pixel/s]	[mm/s]	[°/s]	[Pixel]	[mm]	[°]	[s]
1	10	4,52	0,37	0	0,00	0,000	0,00
2	50	22,60	1,85	4	1,81	0,148	0,08
5	100	45,20	3,69	5	2,26	0,185	0,05
4	150	67,80	5,53	8	3,62	0,296	0,05
6	200	90,40	7,36	9	4,07	0,333	0,05
3	240	108,48	8,81	10	4,52	0,370	0,04

Experiment 10:

Vp.: M, $r=0,7m$, Versuchsmodus: S.

1. Testlauf: DSI wurde erkannt.
2. Testlauf mit Verdunkelungsbrille ($d = 10$ Pixel, $v = 60$ Pixel/s = $2,2$ °/s):
Ohne Verdunkelungsbrille: $z = 8$ Pixel = $0,7$ °,
mit Verdunkelungsbrille: $z = 13$ Pixel = $1,1$ °,
somit Veränderung durch Verdunkelung: Vergrößerung um $62,5$ %.
3. Testlauf „Einschätzung der tNI“:

Messung Nr.	Wd	dp	zp	Diff.
6	164	1	3	2
3	166	5	4	-1
2	168	9	5	-4
1	170	13	11	-2
5	172	17	7	-10
4	174	21	11	-10

4. „Nullversuch“ ($v_p = 10, 50, 100, 150, 200, 240$):
Es wurde kein DSI-Phänomen wahrgenommen.
5. Messreihe mit Markierungsmethode (M) ($v_p = 10, k \cdot 20, k=1, \dots, 12$):

Messung Nr.	v_p	v	v_g	z_p	z	z_g	t
	[Pixel/s]	[mm/s]	[°/s]	[Pixel]	[mm]	[°]	[s]
5	10	4,52	0,37	0	0,00	0,000	0,00
10	20	9,04	0,74	8	3,62	0,296	0,40
3	40	18,08	1,48	6	2,71	0,222	0,15
11	60	27,12	2,22	11	4,97	0,407	0,18

4	80	36,16	2,96	7	3,16	0,259	0,09
1	100	45,20	3,69	13	5,88	0,481	0,13
12	120	54,24	4,43	14	6,33	0,518	0,12
2	140	63,28	5,17	12	5,42	0,444	0,09
13	160	72,32	5,90	15	6,78	0,555	0,09
6	180	81,36	6,63	7	3,16	0,259	0,04
8	200	90,40	7,36	12	5,42	0,444	0,06
9	220	99,44	8,09	17	7,68	0,629	0,08
7	240	108,48	8,81	11	4,97	0,407	0,05

6. Messreihe mit Abgleichmethode (VN) ($d = z_p = 4k+1$, $k=0,\dots,5$):

Messung Nr.	Wd	dp	D	x	vp	v	vg	zp	z	zg	t
		[Pixel]	[']	[mm]	[Pixel/s]	[mm/s]	[°/s]	[Pixel]	[mm]	[°]	[s]
3	164	1	10	5	0	0,00	0,00	1	0,45199	0,037	-
6	168	9	69	44	120	54,24	4,43	9	4,06792	0,333	0,08
1	172	17	109	83	130	58,76	4,80	17	7,68384	0,629	0,13
4	170	13	91	63	158	71,41	5,83	13	5,87588	0,481	0,08
5	166	5	42	24	175	79,10	6,45	5	2,25995	0,185	0,03
2	174	21	125	102	198	89,49	7,29	21	9,4918	0,777	0,11

7. Messreihe mit Markierungsmethode (M) ($v_p = 10, 50, 100, 150, 200, 240$), RF *Hecke*: 1x1, RF *Zweig*: 2x2:

Messung Nr.	vp	v	vg	zp	z	zg	t
	[Pixel/s]	[mm/s]	[°/s]	[Pixel]	[mm]	[°]	[s]
3	10	4,52	0,37	3	1,36	0,111	0,30
2	50	22,60	1,85	6	2,71	0,222	0,12
1	100	45,20	3,69	10	4,52	0,370	0,10
6	150	67,80	5,53	13	5,88	0,481	0,09
4	200	90,40	7,36	12	5,42	0,444	0,06
5	240	108,48	8,81	12	5,42	0,444	0,05

8. Messreihe mit Markierungsmethode (M) ($v_p = 10, 50, 100, 150, 200, 240$), RF *Hecke*: 2x2, RF *Zweig*: 1x1:

Messung Nr.	v_p	v	vg	z_p	z	z_g	t
	[Pixel/s]	[mm/s]	[°/s]	[Pixel]	[mm]	[°]	[s]
5	10	4,52	0,37	3	1,36	0,111	0,30
4	50	22,60	1,85	7	3,16	0,259	0,14
2	100	45,20	3,69	9	4,07	0,333	0,09
3	150	67,80	5,53	12	5,42	0,444	0,08
6	200	90,40	7,36	10	4,52	0,370	0,05
1	240	108,48	8,81	14	6,33	0,518	0,06

9. Messreihe mit Markierungsmethode (M) ($v_p = 10, 50, 100, 150, 200, 240$), AP *Hecke*: 25:75, AP *Zweig*: 75:25:

Messung Nr.	v_p	v	vg	z_p	z	z_g	t
	[Pixel/s]	[mm/s]	[°/s]	[Pixel]	[mm]	[°]	[s]
2	10	4,52	0,37	4	1,81	0,148	0,40
4	50	22,60	1,85	7	3,16	0,259	0,14
6	100	45,20	3,69	6	2,71	0,222	0,06
5	150	67,80	5,53	10	4,52	0,370	0,07
3	200	90,40	7,36	14	6,33	0,518	0,07
1	240	108,48	8,81	11	4,97	0,407	0,05

10. Messreihe mit Markierungsmethode (M) ($v_p = 10, 50, 100, 150, 200, 240$), AP *Hecke*: 75:25, AP *Zweig*: 25:75:

Messung Nr.	v_p	v	vg	z_p	z	z_g	t
	[Pixel/s]	[mm/s]	[°/s]	[Pixel]	[mm]	[°]	[s]
1	10	4,52	0,37	5	2,26	0,185	0,50
5	50	22,60	1,85	10	4,52	0,370	0,20
4	100	45,20	3,69	13	5,88	0,481	0,13
6	150	67,80	5,53	10	4,52	0,370	0,07
3	200	90,40	7,36	14	6,33	0,518	0,07
2	240	108,48	8,81	0	0,00	0,000	0,00

11. „Nullversuch“ ($v_p = 10, 50, 100, 150, 200, 240$):
Es wurde kein DSI-Phänomen wahrgenommen.

Experiment 11:

Vp.: N, r=0,7m, Versuchsmodus: S.

1. Testlauf: DSI wurde erkannt.
2. Testlauf mit Verdunkelungsbrille ($d = 10$ Pixel, $v = 60$ Pixel/s = $2,2$ °/s):
Ohne Verdunkelungsbrille: $z = 7$ Pixel = $0,6$ °,
mit Verdunkelungsbrille: $z = 5$ Pixel = $0,4$ °,
somit Veränderung durch Verdunkelung: Verringerung um $28,6$ %.
3. Testlauf „Einschätzung der tNI“:

Messung Nr.	Wd	dp	zp	Diff.
5	164	1	7	6
4	166	5	11	6
3	168	9	24	15
1	170	13	9	-4
6	172	17	13	-4
2	174	21	18	-3

4. „Nullversuch“ ($v_p = 10, 50, 100, 150, 200, 240$):
Es wurde kein DSI-Phänomen wahrgenommen.
5. Messreihe mit Markierungsmethode (M) ($v_p = 10, k \cdot 20, k=1, \dots, 12$):

Messung Nr.	v_p	v	v_g	z_p	z	z_g	t
	[Pixel/s]	[mm/s]	[°/s]	[Pixel]	[mm]	[°]	[s]
7	10	4,52	0,37	2	0,90	0,074	0,20
2	20	9,04	0,74	2	0,90	0,074	0,10
5	40	18,08	1,48	3	1,36	0,111	0,08
6	60	27,12	2,22	3	1,36	0,111	0,05
8	80	36,16	2,96	14	6,33	0,518	0,18
9	100	45,20	3,69	6	2,71	0,222	0,06
10	120	54,24	4,43	5	2,26	0,185	0,04
12	140	63,28	5,17	5	2,26	0,185	0,04
1	160	72,32	5,90	4	1,81	0,148	0,03
4	180	81,36	6,63	6	2,71	0,222	0,03
3	200	90,40	7,36	4	1,81	0,148	0,02
11	220	99,44	8,09	6	2,71	0,222	0,03
13	240	108,48	8,81	0	0,00	0,000	0,00

6. Messreihe mit Abgleichmethode (VN) ($d = z_p = 4k+1, k=0,\dots,5$):

Messung Nr.	Wd	dp	D	x	vp	v	vg	zp	z	zg	t
		[Pixel]	[°]	[mm]	[Pixel/s]	[mm/s]	[°/s]	[Pixel]	[mm]	[°]	[s]
1	174	21	125	102	104	47,01	3,84	21	9,4918	0,777	0,20
5	172	17	109	83	119	53,79	4,39	17	7,68384	0,629	0,14
6	166	5	42	24	127	57,40	4,69	5	2,25995	0,185	0,04
2	168	9	69	44	147	66,44	5,42	9	4,06792	0,333	0,06
3	164	1	10	5	172	77,74	6,34	1	0,45199	0,037	0,01
4	170	13	91	63	201	90,85	7,39	13	5,87588	0,481	0,06

7. Messreihe mit Markierungsmethode (M) ($v_p = 10, 50, 100, 150, 200, 240$), RF *Hecke*:
1x1, RF *Zweig*: 2x2:

Messung Nr.	vp	v	vg	zp	z	zg	t
	[Pixel/s]	[mm/s]	[°/s]	[Pixel]	[mm]	[°]	[s]
3	10	4,52	0,37	2	0,90	0,074	0,20
2	50	22,60	1,85	3	1,36	0,111	0,06
6	100	45,20	3,69	7	3,16	0,259	0,07
1	150	67,80	5,53	4	1,81	0,148	0,03
4	200	90,40	7,36	3	1,36	0,111	0,02
5	240	108,48	8,81	2	0,90	0,074	0,01

8. Messreihe mit Markierungsmethode (M) ($v_p = 10, 50, 100, 150, 200, 240$), RF *Hecke*:
2x2, RF *Zweig*: 1x1:

Messung Nr.	vp	v	vg	zp	z	zg	t
	[Pixel/s]	[mm/s]	[°/s]	[Pixel]	[mm]	[°]	[s]
6	10	4,52	0,37	4	1,81	0,148	0,40
1	50	22,60	1,85	4	1,81	0,148	0,08
2	100	45,20	3,69	5	2,26	0,185	0,05
5	150	67,80	5,53	6	2,71	0,222	0,04
3	200	90,40	7,36	3	1,36	0,111	0,02
4	240	108,48	8,81	2	0,90	0,074	0,01

9. Messreihe mit Markierungsmethode (M) ($v_p = 10, 50, 100, 150, 200, 240$), AP *Hecke*: 25:75, AP *Zweig*: 75:25:

Messung Nr.	v_p	v	v_g	z_p	z	z_g	t
	[Pixel/s]	[mm/s]	[°/s]	[Pixel]	[mm]	[°]	[s]
3	10	4,52	0,37	1	0,45	0,037	0,10
4	50	22,60	1,85	4	1,81	0,148	0,08
6	100	45,20	3,69	5	2,26	0,185	0,05
2	150	67,80	5,53	3	1,36	0,111	0,02
5	200	90,40	7,36	2	0,90	0,074	0,01
1	240	108,48	8,81	1	0,45	0,037	0,00

10. Messreihe mit Markierungsmethode (M) ($v_p = 10, 50, 100, 150, 200, 240$), AP *Hecke*: 75:25, AP *Zweig*: 25:75:

Messung Nr.	v_p	v	v_g	z_p	z	z_g	t
	[Pixel/s]	[mm/s]	[°/s]	[Pixel]	[mm]	[°]	[s]
6	10	4,52	0,37	2	0,90	0,074	0,20
2	50	22,60	1,85	5	2,26	0,185	0,10
3	100	45,20	3,69	3	1,36	0,111	0,03
5	150	67,80	5,53	6	2,71	0,222	0,04
4	200	90,40	7,36	3	1,36	0,111	0,02
1	240	108,48	8,81	0	0,00	0,000	0,00

11. „Nullversuch“ ($v_p = 10, 50, 100, 150, 200, 240$):

Messung Nr.	v_p	v	v_g	„z“ _p	„z“	„z“ _g	„t“
	[Pixel/s]	[mm/s]	[°/s]	[Pixel]	[mm]	[°]	[s]
5	10	4,52	0,37	1	0,45	0,037	0,10
3	50	22,60	1,85	0	0,00	0,000	0,00
1	100	45,20	3,69	6	2,71	0,222	0,06
4	150	67,80	5,53	3	1,36	0,111	0,02
6	200	90,40	7,36	6	2,71	0,222	0,03
2	240	108,48	8,81	3	1,36	0,111	0,01

10.2.4 Experimentalserie E2 Zusammenfassung I

1. Testlauf:
Versuchspersonen D, G und H lieferten keine Daten.
2. Testlauf mit Verdunkelungsbrille ($d = 10$ Pixel, $v = 60$ Pixel/s = $2,2$ °/s):
Daten siehe 6.2.2.
3. Testlauf „Einschätzung der tNI“:
Daten siehe 6.2.2.
4. „Nullversuch“ vor den Messungen mit dem *Zweig* vor der *Hecke* statt dahinter ($v_p = 10, 50, 100, 150, 200, 240$):
Nur drei der acht Vpn. (E, I und K aus den Experimenten 2, 6 und 8) konnten im Nullversuch vor der eigentlichen Messreihe einen DSI-ähnlichen Effekt wahrnehmen:

v	Exp.2	Exp.6	Exp.8	Mittelwert
[°/s]	E	I	K	
0,37	0,074	0,185	0,222	0,160
1,85	0,370	0,444	0,222	0,345
3,69	0,407	0,222	0,111	0,247
5,53	0,333	0,333	0,259	0,308
7,36	0,629	0,000	0,222	0,284
8,81	--	0,000	0,222	0,111

5. Messreihe mit Markierungsmethode (M) ($v_p = 10$, $k \cdot 20$, $k=1, \dots, 12$):

Alle Messungen der erfolgreichen Experimente 2-3 und 6-11 mit den Vpn. E, F, I, J, K, L, M und N sind in der folgenden Tabelle und den folgenden Diagrammen zusammengefasst:

vg	zg	zg	zg	zg	zg	zg	zg	zg	zg(MW)	Stdabw	Stdabw
[°/s]	Exp.2	Exp.3	Exp.6	Exp.7	Exp.8	Exp.9	Exp.10	Exp.11	[°]	[°]	[%]
0,37	0,259	0,000	0,222	0,111	0,259	0,148	0,000	0,074	0,134	0,106	79,32
0,74	0,148	0,074	0,296	0,370	0,259	0,111	0,296	0,074	0,203	0,115	56,67
1,48	0,444	0,074	0,296	0,222	0,222	0,148	0,222	0,111	0,217	0,116	53,39
2,22	0,999	0,222	0,333	0,185	0,296	0,185	0,407	0,111	0,342	0,282	82,28
2,96	0,666	0,185	0,407	0,407	0,370	0,222	0,259	0,518	0,379	0,160	42,28
3,69	0,555	0,296	0,296	0,296	0,407	0,296	0,481	0,222	0,356	0,113	31,87
4,43	0,629	0,185	0,444	0,555	0,296	0,259	0,518	0,185	0,384	0,175	45,48
5,17	0,666	0,333	0,370	0,518	0,370	0,370	0,444	0,185	0,407	0,141	34,70
5,90	0,629	0,296	0,444	0,333	0,296	0,296	0,555	0,148	0,375	0,157	42,05
6,63	0,777	0,407	0,481	0,666	0,333	0,370	0,259	0,222	0,439	0,194	44,20
7,36	0,851	0,444	0,518	0,407	0,296	0,370	0,444	0,148	0,435	0,202	46,56
8,09		0,481	0,666	1,369	0,333	0,407	0,629	0,222	0,587	0,379	64,55
8,81		0,555	0,592	1,184	0,407	0,444	0,407	0,000	0,513	0,353	68,89

„ohne Exp. 8 und 11“:

vg	zg	zg	zg	zg	zg	zg	zg(MW)	Stdabw	Stdabw
[°/s]	Exp.2	Exp.3	Exp.6	Exp.7	Exp.9	Exp.10	[°]	[°]	[%]
0,37	0,259	0,000	0,222	0,111	0,148	0,000	0,123	0,109	88,32
0,74	0,148	0,074	0,296	0,370	0,111	0,296	0,216	0,120	55,72
1,48	0,444	0,074	0,296	0,222	0,148	0,222	0,234	0,127	54,39
2,22	0,999	0,222	0,333	0,185	0,185	0,407	0,388	0,312	80,30
2,96	0,666	0,185	0,407	0,407	0,222	0,259	0,358	0,178	49,68
3,69	0,555	0,296	0,296	0,296	0,296	0,481	0,370	0,117	31,62
4,43	0,629	0,185	0,444	0,555	0,259	0,518	0,432	0,175	40,45
5,17	0,666	0,333	0,370	0,518	0,370	0,444	0,450	0,125	27,71
5,90	0,629	0,296	0,444	0,333	0,296	0,555	0,425	0,142	33,34
6,63	0,777	0,407	0,481	0,666	0,370	0,259	0,493	0,194	39,30
7,36	0,851	0,444	0,518	0,407	0,370	0,444	0,506	0,176	34,83
8,09		0,481	0,666	1,369	0,407	0,629	0,710	0,383	53,92
8,81		0,555	0,592	1,184	0,444	0,407	0,636	0,315	49,56

6. Messreihe mit Abgleichmethode (VN):

Alle Messungen der erfolgreichen Experimente 2-3 und 6-11 mit den Vpn. E, F, I, J, K, L, M und N sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst. Die erste Spalte gibt an, in welchem Experiment die beiden Werte aus den Spalten 2 und 3 ermittelt wurden:

Exp.	vg	zg
	[°/s]	[°]
Exp.7	0,00	0,037
Exp.2	0,22	0,259
Exp.2	0,37	0,185
Exp.2	0,41	0,407
Exp.2	0,70	0,111
Exp.2/7	1,15	0,296
Exp.2/7	1,41	0,259
Exp.2	1,59	0,037
Exp.6	1,70	0,185
Exp.7	2,07	0,259
Exp.7	2,18	0,703
Exp.6/7	2,33	0,222
Exp.2/7	2,37	0,666
Exp.2	2,44	0,703
Exp.2	2,55	0,777
Exp.7	2,59	0,555
Exp.7	2,85	0,407
Exp.3	3,10	0,037
Exp.6	3,22	0,333
Exp.6	3,66	0,407
Exp.11	3,84	0,777
Exp.7	3,95	0,481
Exp.7	3,99	0,629
Exp.6	4,14	0,259
Exp.3/6	4,17	0,284
Exp.2/11	4,39	0,629
Exp.10	4,43	0,333
Exp.8	4,47	0,333

Exp.11	4,69	0,185
Exp.8	4,76	0,777
Exp.3/10	4,80	0,444
Exp.8	5,17	0,185
Exp.6	5,31	0,629
Exp.11	5,42	0,333
Exp.8	5,46	0,481
Exp.10	5,83	0,481
Exp.8	5,86	0,629
Exp.3	5,90	0,333
Exp.3/8	6,01	0,222
Exp.3/6	6,26	0,592
Exp.11	6,34	0,037
Exp.10	6,45	0,185
Exp.3/9	6,56	0,296
Exp.6	6,78	0,481
Exp.6	6,88	0,777
Exp.3	6,99	0,777
Exp.3	7,03	0,703
Exp.3	7,25	0,629
Exp.10	7,29	0,777
Exp.9	7,36	0,185
Exp.11	7,39	0,481
Exp.9	7,54	0,333
Exp.9	8,27	0,481
Exp.9	8,37	0,777
Exp.9	8,52	0,629

„ohne Exp. 8 und 11“:

Will man die obige Tabelle ohne die Versuchspersonen K und N aus Exp. 8 und 11 erhalten, so sind die folgenden kleinen Änderungen vorzunehmen:

Die Zeilen mit Exp.08 und Exp.11 wurden gestrichen und die folgenden beiden Zeilen wurden wie angegeben ersetzt:

Exp.2/11	4,39	0,629
Exp.3/8	6,01	0,407

7. Messreihe mit Markierungsmethode (M) ($v_p = 10, 50, 100, 150, 200, 240$), RF *Hecke*:
1x1, RF *Zweig*: 2x2:

Alle Messungen der erfolgreichen Experimente 2-3 und 6-11 mit den Vpn. E, F, I, J, K, L, M und N sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst:

	Exp.02	Exp.03	Exp.06	Exp.07	Exp.08	Exp.09	Exp.10	Exp.11	Gesamt
vg	zg	zg	zg	zg	zg	zg	zg	zg	zg
[°/s]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]
0,37	0,148	0,000	0,259	0,074	0,370	0,185	0,111	0,074	0,153
1,85	0,296	0,074	0,333	0,333	0,333	0,222	0,222	0,111	0,240
3,69	0,333	0,148	0,407	0,481	0,333	0,444	0,370	0,259	0,347
5,53	0,296	0,296	0,444	0,370	0,296	0,407	0,481	0,148	0,342
7,36	0,555	0,481	0,518	0,555	0,296	0,518	0,444	0,111	0,435
8,81	0,740	0,666	0,703	0,629	0,333	0,592	0,444	0,074	0,523

„ohne Exp. 8 und 11“:

Ignoriert man die Ergebnisse der Versuchspersonen K und N aus Exp. 8 und 11, so gilt folgende Tabelle:

	Exp.02	Exp.03	Exp.06	Exp.07	Exp.09	Exp.10	Gesamt
vg	zg	zg	zg	zg	zg	zg	zg
[°/s]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]
0,37	0,148	0,000	0,259	0,074	0,185	0,111	0,129
1,85	0,296	0,074	0,333	0,333	0,222	0,222	0,247
3,69	0,333	0,148	0,407	0,481	0,444	0,370	0,364
5,53	0,296	0,296	0,444	0,370	0,407	0,481	0,382
7,36	0,555	0,481	0,518	0,555	0,518	0,444	0,512
8,81	0,740	0,666	0,703	0,629	0,592	0,444	0,629

8. Messreihe mit Markierungsmethode (M) ($v_p = 10, 50, 100, 150, 200, 240$), RF *Hecke*: 2x2, RF *Zweig*: 1x1:
 Alle Messungen der erfolgreichen Experimente 2-3 und 6-11 mit den Vpn. E, F, I, J, K, L, M und N sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst:

	Exp.02	Exp.03	Exp.06	Exp.07	Exp.08	Exp.09	Exp.10	Exp.11	Gesamt
vg	zg	zg	zg	zg	zg	zg	zg	zg	zg
[°/s]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]
0,37	0,111	0,000	0,148	0,296	0,296	0,111	0,111	0,148	0,153
1,85	0,444	0,111	0,296	0,185	0,370	0,222	0,259	0,148	0,254
3,69	0,518	0,185	0,333	0,370	0,407	0,333	0,333	0,185	0,333
5,53	0,481	0,222	0,481	0,666	0,370	0,333	0,444	0,222	0,402
7,36	0,777	0,518	0,555	0,629	0,333	0,481	0,370	0,111	0,472
8,81	0,925	0,703	0,703	0,555	0,333	0,444	0,518	0,074	0,532

„ohne Exp. 8 und 11“:

	Exp.02	Exp.03	Exp.06	Exp.07	Exp.09	Exp.10	Gesamt
vg	zg	zg	zg	zg	zg	zg	zg
[°/s]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]
0,37	0,111	0,000	0,148	0,296	0,111	0,111	0,129
1,85	0,444	0,111	0,296	0,185	0,222	0,259	0,253
3,69	0,518	0,185	0,333	0,370	0,333	0,333	0,345
5,53	0,481	0,222	0,481	0,666	0,333	0,444	0,438
7,36	0,777	0,518	0,555	0,629	0,481	0,370	0,555
8,81	0,925	0,703	0,703	0,555	0,444	0,518	0,641

9. Messreihe mit Markierungsmethode (M) ($v_p = 10, 50, 100, 150, 200, 240$), AP *Hecke*: 25:75, AP *Zweig*: 75:25:
 Alle Messungen der erfolgreichen Experimente 2-3 und 6-11 mit den Vpn. E, F, I, J, K, L, M und N sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst:

	Exp.02	Exp.03	Exp.06	Exp.07	Exp.08	Exp.09	Exp.10	Exp.11	Gesamt
vg	zg	zg	zg	zg	zg	zg	zg	zg	zg
[°/s]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]
0,37	0,148	0,000	0,148	0,074	0,370	0,111	0,148	0,037	0,129
1,85	0,222	0,037	0,259	0,222	0,370	0,222	0,259	0,148	0,217
3,69	0,333	0,222	0,296	0,518	0,407	0,259	0,222	0,185	0,305
5,53	0,481	0,407	0,370	0,481	0,370	0,296	0,370	0,111	0,361
7,36	0,555	0,555	0,444	0,740	0,333	0,407	0,518	0,074	0,453
8,81	0,629	0,777	0,592	0,481	0,259	0,481	0,407	0,037	0,458

„ohne Exp. 8 und 11“:

	Exp.02	Exp.03	Exp.06	Exp.07	Exp.09	Exp.10	Gesamt
vg	zg	zg	zg	zg	zg	zg	zg
[°/s]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]
0,37	0,148	0,000	0,148	0,074	0,111	0,148	0,105
1,85	0,222	0,037	0,259	0,222	0,222	0,259	0,203
3,69	0,333	0,222	0,296	0,518	0,259	0,222	0,308
5,53	0,481	0,407	0,370	0,481	0,296	0,370	0,401
7,36	0,555	0,555	0,444	0,740	0,407	0,518	0,536
8,81	0,629	0,777	0,592	0,481	0,481	0,407	0,561

10. Messreihe mit Markierungsmethode (M) ($v_p = 10, 50, 100, 150, 200, 240$), AP *Hecke*: 75:25, AP *Zweig*: 25:75:

Alle Messungen der erfolgreichen Experimente 2-3 und 6-11 mit den Vpn. E, F, I, J, K, L, M und N sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst:

	Exp.02	Exp.03	Exp.06	Exp.07	Exp.08	Exp.09	Exp.10	Exp.11	Gesamt
vg	zg	zg	zg	zg	zg	zg	zg	zg	zg
[°/s]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]
0,37	0,148	0,000	0,185	0,037	0,333	0,148	0,185	0,074	0,139
1,85	0,296	0,074	0,370	0,259	0,518	0,185	0,370	0,185	0,282
3,69	0,333	0,370	0,444	0,259	0,592	0,222	0,481	0,111	0,351
5,53	0,555	0,444	0,518	0,259	0,296	0,333	0,370	0,222	0,375
7,36	0,999	0,629	0,592	0,370	0,444	0,444	0,518	0,111	0,513
8,81	1,406	0,851	0,851	0,444	0,407	0,481	0,000	0,000	0,555

„ohne Exp. 8 und 11“:

	Exp.02	Exp.03	Exp.06	Exp.07	Exp.09	Exp.10	Gesamt
vg	zg	zg	zg	zg	zg	zg	zg
[°/s]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]
0,37	0,148	0,000	0,185	0,037	0,148	0,185	0,117
1,85	0,296	0,074	0,370	0,259	0,185	0,370	0,259
3,69	0,333	0,370	0,444	0,259	0,222	0,481	0,351
5,53	0,555	0,444	0,518	0,259	0,333	0,370	0,413
7,36	0,999	0,629	0,592	0,370	0,444	0,518	0,592
8,81	1,406	0,851	0,851	0,444	0,481	0,000	0,672

11. „Nullversuch“ nach den Messungen mit dem *Zweig* vor der *Hecke* statt dahinter ($v_p = 10, 50, 100, 150, 200, 240$):

Nur vier der acht Vpn. (F, K, L und N aus den Experimenten 3, 8, 9 und 11) konnten im Nullversuch nach der eigentlichen Messreihe einen DSI-ähnlichen Effekt wahrnehmen:

v	Exp.3	Exp.8	Exp.9	Exp.11	Mittelwert
[°/s]	F	K	L	N	
0,37	0,000	0,370	0,000	0,037	0,123
1,85	0,000	0,407	0,148	0,000	0,185
3,69	0,074	0,444	0,185	0,222	0,234
5,53	0,148	0,370	0,296	0,111	0,271
7,36	0,148	0,370	0,333	0,222	0,284
8,81	0,222	0,333	0,370	0,111	0,308

10.2.5 Experimentalserie E2 Zusammenfassung II

Die mit der Markierungsmethode (M) gewonnenen Messdaten aller Experimente in E2 – ohne die Nullversuche – werden nach folgender Tabelle zusammen gefasst:

	MW:M	RF 1x1,2x2	RF 2x2,1x1	PW25-75	PW75-25	Mittelwert	Stdabw	Stdabw
vg	zg	zg	zg	zg	zg	zg	M-RF-PW	Gesamt
[°/s]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]		
0,37	0,134	0,153	0,153	0,129	0,139	0,142	0,011	0,085
0,74	0,203					0,203		0,115
1,48	0,217					0,217		0,116
1,85		0,240	0,254	0,217	0,282	0,249	0,027	0,027
2,22	0,342					0,342		0,282
2,96	0,379					0,379		0,160
3,69	0,356	0,347	0,333	0,305	0,351	0,339	0,021	0,092
4,43	0,384					0,384		0,175
5,17	0,407					0,407		0,141
5,53		0,342	0,402	0,361	0,375	0,370	0,025	0,025
5,90	0,375					0,375		0,157
6,63	0,439					0,439		0,194
7,36	0,435	0,435	0,472	0,453	0,513	0,462	0,033	0,163
8,09	0,587					0,587		0,379
8,81	0,513	0,523	0,532	0,458	0,555	0,516	0,036	0,274

Die mit der Markierungsmethode (M) gewonnenen Messdaten aller Experimente mit Ausnahme von Experiment 8 und Experiment 11 in E2 – ohne die Nullversuche – werden nach folgender Tabelle zusammen gefasst:

	MW:M	RF 1x1,2x2	RF 2x2,1x1	PW25-75	PW75-25	Mittelwert	Stdabw	Stdabw
vg	zg	zg	zg	zg	zg	zg	M-RF-PW	Gesamt
[°/s]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]		
0,37	0,123	0,129	0,129	0,105	0,117	0,121	0,010	0,085
0,74	0,216					0,216		0,115
1,48	0,234					0,234		0,116
1,85		0,247	0,253	0,203	0,259	0,240	0,025	0,025
2,22	0,388					0,388		0,282
2,96	0,358					0,358		0,160
3,69	0,370	0,364	0,345	0,308	0,351	0,348	0,024	0,092
4,43	0,432					0,432		0,175
5,17	0,450					0,450		0,141
5,53		0,382	0,438	0,401	0,413	0,408	0,023	0,023
5,90	0,425					0,425		0,157
6,63	0,493					0,493		0,194
7,36	0,506	0,512	0,555	0,536	0,592	0,540	0,035	0,172
8,09	0,710					0,710		0,379
8,81	0,636	0,629	0,641	0,561	0,672	0,628	0,041	0,281

10.2.6 Experimentalserie E2 Lerneffekte

Tabelle siehe Text!

10.2.7 Experimentalserie E3 Rohdaten**Experiment 1:**

1. Durchgang:

Messung Nr.	vp	v	vg	zp	z	zg	t
	[Pixel/s]	[mm/s]	[°/s]	[Pixel]	[mm]	[°]	[s]
14	40	18,08	1,48	2	0,90	0,074	0,05
8	45	20,34	1,66	2	0,90	0,074	0,04
4	50	22,60	1,85	4	1,81	0,148	0,08
3	55	24,86	2,03	4	1,81	0,148	0,07
12	60	27,12	2,22	3	1,36	0,111	0,05
5	65	29,38	2,40	4	1,81	0,148	0,06
1	70	31,64	2,59	6	2,71	0,222	0,09
13	75	33,90	2,77	5	2,26	0,185	0,07
2	80	36,16	2,96	6	2,71	0,222	0,08
10	85	38,42	3,14	7	3,16	0,259	0,08
7	90	40,68	3,33	6	2,71	0,222	0,07
9	95	42,94	3,51	6	2,71	0,222	0,06
6	100	45,20	3,69	6	2,71	0,222	0,06
11	105	47,46	3,88	6	2,71	0,222	0,06
15	110	49,72	4,06	6	2,71	0,222	0,05
Anfang	240	108,48	8,81	12	5,42	0,444	0,05
Nach 5.	240	108,48	8,81	14	6,33	0,518	0,06
Nach 10.	240	108,48	8,81	13	5,88	0,481	0,05
Ende	240	108,48	8,81	15	6,78	0,555	0,06

2. Durchgang

Messung Nr.	vp	v	vg	zp	z	zg	t
	[Pixel/s]	[mm/s]	[°/s]	[Pixel]	[mm]	[°]	[s]
13	40	18,08	1,48	2	0,90	0,074	0,05
6	45	20,34	1,66	2	0,90	0,074	0,04
4	50	22,60	1,85	3	1,36	0,111	0,06
14	55	24,86	2,03	4	1,81	0,148	0,07
11	60	27,12	2,22	5	2,26	0,185	0,08
10	65	29,38	2,40	4	1,81	0,148	0,06
5	70	31,64	2,59	7	3,16	0,259	0,10
3	75	33,90	2,77	4	1,81	0,148	0,05
2	80	36,16	2,96	3	1,36	0,111	0,04
1	85	38,42	3,14	6	2,71	0,222	0,07

7	90	40,68	3,33	6	2,71	0,222	0,07
8	95	42,94	3,51	5	2,26	0,185	0,05
15	100	45,20	3,69	7	3,16	0,259	0,07
9	105	47,46	3,88	6	2,71	0,222	0,06
12	110	49,72	4,06	6	2,71	0,222	0,05
Anfang	240	108,48	8,81	13	5,88	0,481	0,05
Nach 5.	240	108,48	8,81	15	6,78	0,555	0,06
Nach 10.	240	108,48	8,81	14	6,33	0,518	0,06
Ende	240	108,48	8,81	14	6,33	0,518	0,06

3. Durchgang

Messung Nr.	vp	v	vg	zp	z	zg	t
	[Pixel/s]	[mm/s]	[°/s]	[Pixel]	[mm]	[°]	[s]
13	40	18,08	1,48	2	0,90	0,074	0,05
14	45	20,34	1,66	3	1,36	0,111	0,07
11	50	22,60	1,85	3	1,36	0,111	0,06
15	55	24,86	2,03	5	2,26	0,185	0,09
4	60	27,12	2,22	4	1,81	0,148	0,07
6	65	29,38	2,40	4	1,81	0,148	0,06
2	70	31,64	2,59	3	1,36	0,111	0,04
3	75	33,90	2,77	3	1,36	0,111	0,04
10	80	36,16	2,96	7	3,16	0,259	0,09
1	85	38,42	3,14	5	2,26	0,185	0,06
5	90	40,68	3,33	5	2,26	0,185	0,06
9	95	42,94	3,51	6	2,71	0,222	0,06
12	100	45,20	3,69	7	3,16	0,259	0,07
7	105	47,46	3,88	6	2,71	0,222	0,06
8	110	49,72	4,06	6	2,71	0,222	0,05
Anfang	240	108,48	8,81	15	6,78	0,555	0,06
Nach 5.	240	108,48	8,81	13	5,88	0,481	0,05
Nach 10.	240	108,48	8,81	14	6,33	0,518	0,06
Ende	240	108,48	8,81	13	5,88	0,481	0,05

4. Durchgang

Messung Nr.	vp	v	vg	zp	z	zg	t
	[Pixel/s]	[mm/s]	[°/s]	[Pixel]	[mm]	[°]	[s]
11	40	18,08	1,48	2	0,90	0,074	0,05
13	45	20,34	1,66	3	1,36	0,111	0,07
15	50	22,60	1,85	2	0,90	0,074	0,04
2	55	24,86	2,03	3	1,36	0,111	0,05
8	60	27,12	2,22	3	1,36	0,111	0,05
14	65	29,38	2,40	3	1,36	0,111	0,05
3	70	31,64	2,59	4	1,81	0,148	0,06
1	75	33,90	2,77	4	1,81	0,148	0,05
7	80	36,16	2,96	4	1,81	0,148	0,05
12	85	38,42	3,14	6	2,71	0,222	0,07
9	90	40,68	3,33	6	2,71	0,222	0,07
6	95	42,94	3,51	5	2,26	0,185	0,05
5	100	45,20	3,69	7	3,16	0,259	0,07
10	105	47,46	3,88	7	3,16	0,259	0,07
4	110	49,72	4,06	6	2,71	0,222	0,05
Anfang	240	108,48	8,81	15	6,78	0,555	0,06
Nach 5.	240	108,48	8,81	13	5,88	0,481	0,05
Nach 10.	240	108,48	8,81	15	6,78	0,555	0,06
Ende	240	108,48	8,81	12	5,42	0,444	0,05

5. Durchgang

Messung Nr.	vp	v	vg	zp	z	zg	t
	[Pixel/s]	[mm/s]	[°/s]	[Pixel]	[mm]	[°]	[s]
5	40	18,08	1,48	3	1,36	0,111	0,08
1	45	20,34	1,66	2	0,90	0,074	0,04
14	50	22,60	1,85	4	1,81	0,148	0,08
13	55	24,86	2,03	3	1,36	0,111	0,05
2	60	27,12	2,22	3	1,36	0,111	0,05
11	65	29,38	2,40	3	1,36	0,111	0,05
9	70	31,64	2,59	3	1,36	0,111	0,04
12	75	33,90	2,77	5	2,26	0,185	0,07
4	80	36,16	2,96	5	2,26	0,185	0,06
3	85	38,42	3,14	6	2,71	0,222	0,07
8	90	40,68	3,33	6	2,71	0,222	0,07
10	95	42,94	3,51	6	2,71	0,222	0,06

6	100	45,20	3,69	6	2,71	0,222	0,06
15	105	47,46	3,88	5	2,26	0,185	0,05
7	110	49,72	4,06	7	3,16	0,259	0,06
Anfang	240	108,48	8,81	15	6,78	0,555	0,06
Nach 5.	240	108,48	8,81	13	5,88	0,481	0,05
Nach 10.	240	108,48	8,81	14	6,33	0,518	0,06
Ende	240	108,48	8,81	14	6,33	0,518	0,06

Experiment 2:

1. Durchgang:

Messung Nr.	vp	v	vg	zp	z	zg	t
	[Pixel/s]	[mm/s]	[°/s]	[Pixel]	[mm]	[°]	[s]
12	40	18,08	1,48	7	3,16	0,259	0,18
10	45	20,34	1,66	6	2,71	0,222	0,13
7	50	22,60	1,85	6	2,71	0,222	0,12
13	55	24,86	2,03	11	4,97	0,407	0,20
15	60	27,12	2,22	7	3,16	0,259	0,12
14	65	29,38	2,40	6	2,71	0,222	0,09
5	70	31,64	2,59	7	3,16	0,259	0,10
4	75	33,90	2,77	8	3,62	0,296	0,11
9	80	36,16	2,96	10	4,52	0,370	0,13
6	85	38,42	3,14	10	4,52	0,370	0,12
1	90	40,68	3,33	11	4,97	0,407	0,12
8	95	42,94	3,51	11	4,97	0,407	0,12
3	100	45,20	3,69	10	4,52	0,370	0,10
11	105	47,46	3,88	13	5,88	0,481	0,12
2	110	49,72	4,06	11	4,97	0,407	0,10
Anfang	240	108,48	8,81	22	9,94	0,814	0,09
Nach 5.	240	108,48	8,81	23	10,40	0,851	0,10
Nach 10.	240	108,48	8,81	24	10,85	0,888	0,10
Ende	240	108,48	8,81	21	9,49	0,777	0,09

2. Durchgang:

Messung Nr.	vp	v	vg	zp	z	zg	t
	[Pixel/s]	[mm/s]	[°/s]	[Pixel]	[mm]	[°]	[s]
6	40	18,08	1,48	5	2,26	0,185	0,13
9	45	20,34	1,66	7	3,16	0,259	0,16
7	50	22,60	1,85	7	3,16	0,259	0,14
12	55	24,86	2,03	8	3,62	0,296	0,15
15	60	27,12	2,22	10	4,52	0,370	0,17
10	65	29,38	2,40	9	4,07	0,333	0,14
11	70	31,64	2,59	12	5,42	0,444	0,17
13	75	33,90	2,77	12	5,42	0,444	0,16
4	80	36,16	2,96	7	3,16	0,259	0,09
14	85	38,42	3,14	12	5,42	0,444	0,14
1	90	40,68	3,33	11	4,97	0,407	0,12
8	95	42,94	3,51	11	4,97	0,407	0,12
5	100	45,20	3,69	11	4,97	0,407	0,11
3	105	47,46	3,88	10	4,52	0,370	0,10
2	110	49,72	4,06	11	4,97	0,407	0,10
Anfang	240	108,48	8,81	23	10,40	0,851	0,10
Nach 5.	240	108,48	8,81	25	11,30	0,925	0,10
Nach 10.	240	108,48	8,81	23	10,40	0,851	0,10
Ende	240	108,48	8,81	21	9,49	0,777	0,09

3. Durchgang:

Messung Nr.	vp	v	vg	zp	z	zg	t
	[Pixel/s]	[mm/s]	[°/s]	[Pixel]	[mm]	[°]	[s]
5	40	18,08	1,48	8	3,62	0,296	0,20
3	45	20,34	1,66	7	3,16	0,259	0,16
12	50	22,60	1,85	7	3,16	0,259	0,14
15	55	24,86	2,03	9	4,07	0,333	0,16
2	60	27,12	2,22	9	4,07	0,333	0,15
14	65	29,38	2,40	10	4,52	0,370	0,15
10	70	31,64	2,59	11	4,97	0,407	0,16
1	75	33,90	2,77	11	4,97	0,407	0,15
11	80	36,16	2,96	12	5,42	0,444	0,15
7	85	38,42	3,14	12	5,42	0,444	0,14
9	90	40,68	3,33	13	5,88	0,481	0,14
13	95	42,94	3,51	11	4,97	0,407	0,12

6	100	45,20	3,69	13	5,88	0,481	0,13
8	105	47,46	3,88	14	6,33	0,518	0,13
4	110	49,72	4,06	12	5,42	0,444	0,11
Anfang	240	108,48	8,81	25	11,30	0,925	0,10
Nach 5.	240	108,48	8,81	23	10,40	0,851	0,10
Nach 10.	240	108,48	8,81	23	10,40	0,851	0,10
Ende	240	108,48	8,81	22	9,94	0,814	0,09

4. Durchgang:

Messung Nr.	vp	v	vg	zp	z	zg	t
	[Pixel/s]	[mm/s]	[°/s]	[Pixel]	[mm]	[°]	[s]
11	40	18,08	1,48	6	2,71	0,222	0,15
15	45	20,34	1,66	7	3,16	0,259	0,16
10	50	22,60	1,85	9	4,07	0,333	0,18
3	55	24,86	2,03	6	2,71	0,222	0,11
2	60	27,12	2,22	9	4,07	0,333	0,15
5	65	29,38	2,40	8	3,62	0,296	0,12
12	70	31,64	2,59	10	4,52	0,370	0,14
9	75	33,90	2,77	8	3,62	0,296	0,11
6	80	36,16	2,96	9	4,07	0,333	0,11
8	85	38,42	3,14	9	4,07	0,333	0,11
1	90	40,68	3,33	11	4,97	0,407	0,12
13	95	42,94	3,51	11	4,97	0,407	0,12
14	100	45,20	3,69	12	5,42	0,444	0,12
7	105	47,46	3,88	10	4,52	0,370	0,10
4	110	49,72	4,06	12	5,42	0,444	0,11
Anfang	240	108,48	8,81	23	10,40	0,851	0,10
Nach 5.	240	108,48	8,81	24	10,85	0,888	0,10
Nach 10.	240	108,48	8,81	22	9,94	0,814	0,09
Ende	240	108,48	8,81	22	9,94	0,814	0,09

5. Durchgang:

Messung Nr.	vp	v	vg	zp	z	zg	t
	[Pixel/s]	[mm/s]	[°/s]	[Pixel]	[mm]	[°]	[s]
15	40	18,08	1,48	6	2,71	0,222	0,15
9	45	20,34	1,66	6	2,71	0,222	0,13
8	50	22,60	1,85	7	3,16	0,259	0,14
11	55	24,86	2,03	8	3,62	0,296	0,15
7	60	27,12	2,22	8	3,62	0,296	0,13
3	65	29,38	2,40	8	3,62	0,296	0,12
4	70	31,64	2,59	9	4,07	0,333	0,13
12	75	33,90	2,77	10	4,52	0,370	0,13
13	80	36,16	2,96	12	5,42	0,444	0,15
2	85	38,42	3,14	12	5,42	0,444	0,14
5	90	40,68	3,33	11	4,97	0,407	0,12
1	95	42,94	3,51	14	6,33	0,518	0,15
14	100	45,20	3,69	15	6,78	0,555	0,15
10	105	47,46	3,88	10	4,52	0,370	0,10
6	110	49,72	4,06	12	5,42	0,444	0,11
Anfang	240	108,48	8,81	23	10,40	0,851	0,10
Nach 5.	240	108,48	8,81	23	10,40	0,851	0,10
Nach 10.	240	108,48	8,81	25	11,30	0,925	0,10
Ende	240	108,48	8,81	22	9,94	0,814	0,09

Experiment 3:

1. Durchgang:

Messung Nr.	vp	v	vg	zp	z	zg	t
	[Pixel/s]	[mm/s]	[°/s]	[Pixel]	[mm]	[°]	[s]
10	40	18,08	1,48	4	1,81	0,148	0,10
9	45	20,34	1,66	4	1,81	0,148	0,09
15	50	22,60	1,85	5	2,26	0,185	0,10
4	55	24,86	2,03	7	3,16	0,259	0,13
7	60	27,12	2,22	5	2,26	0,185	0,08
11	65	29,38	2,40	5	2,26	0,185	0,08
3	70	31,64	2,59	6	2,71	0,222	0,09
5	75	33,90	2,77	7	3,16	0,259	0,09
6	80	36,16	2,96	9	4,07	0,333	0,11
2	85	38,42	3,14	6	2,71	0,222	0,07

8	90	40,68	3,33	8	3,62	0,296	0,09
13	95	42,94	3,51	6	2,71	0,222	0,06
1	100	45,20	3,69	8	3,62	0,296	0,08
14	105	47,46	3,88	9	4,07	0,333	0,09
12	110	49,72	4,06	11	4,97	0,407	0,10
Anfang	240	108,48	8,81	17	7,68	0,629	0,07
Nach 5.	240	108,48	8,81	18	8,14	0,666	0,08
Nach 10.	240	108,48	8,81	17	7,68	0,629	0,07
Ende	240	108,48	8,81	17	7,68	0,629	0,07

2. Durchgang:

Messung Nr.	vp	v	vg	zp	z	zg	t
	[Pixel/s]	[mm/s]	[°/s]	[Pixel]	[mm]	[°]	[s]
4	40	18,08	1,48	5	2,26	0,185	0,13
8	45	20,34	1,66	4	1,81	0,148	0,09
2	50	22,60	1,85	5	2,26	0,185	0,10
14	55	24,86	2,03	5	2,26	0,185	0,09
9	60	27,12	2,22	5	2,26	0,185	0,08
13	65	29,38	2,40	7	3,16	0,259	0,11
12	70	31,64	2,59	6	2,71	0,222	0,09
6	75	33,90	2,77	7	3,16	0,259	0,09
7	80	36,16	2,96	7	3,16	0,259	0,09
3	85	38,42	3,14	9	4,07	0,333	0,11
15	90	40,68	3,33	7	3,16	0,259	0,08
11	95	42,94	3,51	8	3,62	0,296	0,08
5	100	45,20	3,69	8	3,62	0,296	0,08
1	105	47,46	3,88	9	4,07	0,333	0,09
10	110	49,72	4,06	10	4,52	0,370	0,09
Anfang	240	108,48	8,81	18	8,14	0,666	0,08
Nach 5.	240	108,48	8,81	16	7,23	0,592	0,07
Nach 10.	240	108,48	8,81	17	7,68	0,629	0,07
Ende	240	108,48	8,81	18	8,14	0,666	0,08

3. Durchgang:

Messung Nr.	vp	v	vg	zp	z	zg	t
	[Pixel/s]	[mm/s]	[°/s]	[Pixel]	[mm]	[°]	[s]
3	40	18,08	1,48	6	2,71	0,222	0,15
7	45	20,34	1,66	5	2,26	0,185	0,11
1	50	22,60	1,85	6	2,71	0,222	0,12
5	55	24,86	2,03	6	2,71	0,222	0,11
2	60	27,12	2,22	7	3,16	0,259	0,12
15	65	29,38	2,40	7	3,16	0,259	0,11
9	70	31,64	2,59	8	3,62	0,296	0,11
13	75	33,90	2,77	8	3,62	0,296	0,11
8	80	36,16	2,96	9	4,07	0,333	0,11
11	85	38,42	3,14	8	3,62	0,296	0,09
6	90	40,68	3,33	9	4,07	0,333	0,10
4	95	42,94	3,51	9	4,07	0,333	0,09
10	100	45,20	3,69	8	3,62	0,296	0,08
12	105	47,46	3,88	8	3,62	0,296	0,08
14	110	49,72	4,06	7	3,16	0,259	0,06
Anfang	240	108,48	8,81	16	7,23	0,592	0,07
Nach 5.	240	108,48	8,81	17	7,68	0,629	0,07
Nach 10.	240	108,48	8,81	18	8,14	0,666	0,08
Ende	240	108,48	8,81	18	8,14	0,666	0,08

4. Durchgang:

Messung Nr.	vp	v	vg	zp	z	zg	t
	[Pixel/s]	[mm/s]	[°/s]	[Pixel]	[mm]	[°]	[s]
10	40	18,08	1,48	7	3,16	0,259	0,18
14	45	20,34	1,66	5	2,26	0,185	0,11
3	50	22,60	1,85	7	3,16	0,259	0,14
12	55	24,86	2,03	6	2,71	0,222	0,11
15	60	27,12	2,22	7	3,16	0,259	0,12
2	65	29,38	2,40	6	2,71	0,222	0,09
7	70	31,64	2,59	8	3,62	0,296	0,11
8	75	33,90	2,77	8	3,62	0,296	0,11
11	80	36,16	2,96	10	4,52	0,370	0,13
5	85	38,42	3,14	9	4,07	0,333	0,11
9	90	40,68	3,33	9	4,07	0,333	0,10
6	95	42,94	3,51	10	4,52	0,370	0,11

13	100	45,20	3,69	11	4,97	0,407	0,11
4	105	47,46	3,88	9	4,07	0,333	0,09
1	110	49,72	4,06	10	4,52	0,370	0,09
Anfang	240	108,48	8,81	18	8,14	0,666	0,08
Nach 5.	240	108,48	8,81	17	7,68	0,629	0,07
Nach 10.	240	108,48	8,81	18	8,14	0,666	0,08
Ende	240	108,48	8,81	19	8,59	0,703	0,08

5. Durchgang:

Messung Nr.	vp	v	vg	zp	z	zg	t
	[Pixel/s]	[mm/s]	[°/s]	[Pixel]	[mm]	[°]	[s]
1	40	18,08	1,48	4	1,81	0,148	0,10
4	45	20,34	1,66	6	2,71	0,222	0,13
2	50	22,60	1,85	6	2,71	0,222	0,12
8	55	24,86	2,03	8	3,62	0,296	0,15
15	60	27,12	2,22	7	3,16	0,259	0,12
14	65	29,38	2,40	7	3,16	0,259	0,11
11	70	31,64	2,59	9	4,07	0,333	0,13
7	75	33,90	2,77	9	4,07	0,333	0,12
12	80	36,16	2,96	8	3,62	0,296	0,10
10	85	38,42	3,14	7	3,16	0,259	0,08
9	90	40,68	3,33	8	3,62	0,296	0,09
13	95	42,94	3,51	8	3,62	0,296	0,08
6	100	45,20	3,69	9	4,07	0,333	0,09
5	105	47,46	3,88	8	3,62	0,296	0,08
3	110	49,72	4,06	9	4,07	0,333	0,08
Anfang	240	108,48	8,81	17	7,68	0,629	0,07
Nach 5.	240	108,48	8,81	18	8,14	0,666	0,08
Nach 10.	240	108,48	8,81	17	7,68	0,629	0,07
Ende	240	108,48	8,81	18	8,14	0,666	0,08

10.2.8 Experimentalserie E3 Zusammenfassung**Experiment 1:**

Messung Nr.	vp	v	vg	zg (1)	zg (2)	zg (3)	zg (4)	zg (5)	zg(MW)	Stdabw.	Stdabw.	t
	[Pixel/s]	[mm/s]	[°/s]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]	[%]	[s]
40	18,08	1,48	0,074	0,074	0,074	0,074	0,074	0,111	0,081	0,017	20,3	0,055
45	20,34	1,66	0,074	0,074	0,111	0,111	0,074	0,074	0,089	0,020	22,8	0,053
50	22,60	1,85	0,148	0,111	0,111	0,074	0,148	0,118	0,031	26,1	0,064	
55	24,86	2,03	0,148	0,148	0,185	0,111	0,111	0,141	0,031	22,0	0,069	
60	27,12	2,22	0,111	0,185	0,148	0,111	0,111	0,133	0,033	24,8	0,060	
65	29,38	2,40	0,148	0,148	0,148	0,111	0,111	0,133	0,020	15,2	0,055	
70	31,64	2,59	0,222	0,259	0,111	0,148	0,111	0,170	0,067	39,5	0,066	
75	33,90	2,77	0,185	0,148	0,111	0,148	0,185	0,155	0,031	19,9	0,056	
80	36,16	2,96	0,222	0,111	0,259	0,148	0,185	0,185	0,058	31,6	0,063	
85	38,42	3,14	0,259	0,222	0,185	0,222	0,222	0,222	0,026	11,8	0,071	
90	40,68	3,33	0,222	0,222	0,185	0,222	0,222	0,215	0,017	7,7	0,065	
95	42,94	3,51	0,222	0,185	0,222	0,185	0,222	0,207	0,020	9,8	0,059	
100	45,20	3,69	0,222	0,259	0,259	0,259	0,222	0,244	0,020	8,3	0,066	
105	47,46	3,88	0,222	0,222	0,222	0,259	0,185	0,222	0,026	11,8	0,057	
110	49,72	4,06	0,222	0,222	0,222	0,222	0,259	0,229	0,017	7,2	0,056	
Anfang	240	108,48	8,81	0,444	0,481	0,555	0,555	0,555				
Nach 5.	240	108,48	8,81	0,518	0,555	0,481	0,481	0,481				
Nach 10.	240	108,48	8,81	0,481	0,518	0,518	0,555	0,518				
Ende	240	108,48	8,81	0,555	0,518	0,481	0,444	0,518	0,511	0,120	23,4	0,06
									Durchschnitt:	0,035	18,9	

Experiment 2:

Messung Nr.	vp	v	vg	zg (1)	zg (2)	zg (3)	zg (4)	zg (5)	zg(MW)	Stdabw.	Stdabw.	t
	[Pixel/s]	[mm/s]	[°/s]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]	[%]	[s]
40	18,08	1,48	0,259	0,185	0,296	0,222	0,222	0,237	0,042	17,8	0,16	
45	20,34	1,66	0,222	0,259	0,259	0,259	0,222	0,244	0,020	8,3	0,15	
50	22,60	1,85	0,222	0,259	0,259	0,333	0,259	0,266	0,041	15,2	0,14	
55	24,86	2,03	0,407	0,296	0,333	0,222	0,296	0,311	0,067	21,6	0,15	
60	27,12	2,22	0,259	0,370	0,333	0,333	0,296	0,318	0,042	13,3	0,14	
65	29,38	2,40	0,222	0,333	0,370	0,296	0,296	0,303	0,055	18,1	0,13	
70	31,64	2,59	0,259	0,444	0,407	0,370	0,333	0,363	0,071	19,6	0,14	
75	33,90	2,77	0,296	0,444	0,407	0,296	0,370	0,363	0,066	18,3	0,13	
80	36,16	2,96	0,370	0,259	0,444	0,333	0,444	0,370	0,078	21,2	0,13	
85	38,42	3,14	0,370	0,444	0,444	0,333	0,444	0,407	0,052	12,9	0,13	
90	40,68	3,33	0,407	0,407	0,481	0,407	0,407	0,422	0,033	7,8	0,13	
95	42,94	3,51	0,407	0,407	0,407	0,407	0,518	0,429	0,050	11,6	0,12	
100	45,20	3,69	0,370	0,407	0,481	0,444	0,555	0,451	0,071	15,8	0,12	
105	47,46	3,88	0,481	0,370	0,518	0,370	0,370	0,422	0,072	17,1	0,11	
110	49,72	4,06	0,407	0,407	0,444	0,444	0,444	0,429	0,020	4,7	0,11	
Anfang	240	108,48	8,81	0,814	0,851	0,925	0,851	0,851				
Nach 5.	240	108,48	8,81	0,851	0,925	0,851	0,888	0,851				
Nach 10.	240	108,48	8,81	0,888	0,851	0,851	0,814	0,925				
Ende	240	108,48	8,81	0,777	0,777	0,814	0,814	0,814	0,846	0,176	20,8	0,10
									Durchschnitt:	0,060	15,3	

Experiment 3:

Messung Nr.	vp	v	vg	zg (1)	zg (2)	zg (3)	zg (4)	zg (5)	zg(MW)	Stdabw.	Stdabw.	t
	[Pixel/s]	[mm/s]	[°/s]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]	[%]	[s]
40	18,08	1,48	0,148	0,185	0,222	0,259	0,148	0,192	0,048	25,1	0,13	
45	20,34	1,66	0,148	0,148	0,185	0,185	0,222	0,178	0,031	17,4	0,11	
50	22,60	1,85	0,185	0,185	0,222	0,259	0,222	0,215	0,031	14,4	0,12	
55	24,86	2,03	0,259	0,185	0,222	0,222	0,296	0,237	0,042	17,8	0,12	
60	27,12	2,22	0,185	0,185	0,259	0,259	0,259	0,229	0,041	17,7	0,10	
65	29,38	2,40	0,185	0,259	0,259	0,222	0,259	0,237	0,033	14,0	0,10	
70	31,64	2,59	0,222	0,222	0,296	0,296	0,333	0,274	0,050	18,1	0,11	
75	33,90	2,77	0,259	0,259	0,296	0,296	0,333	0,289	0,031	10,7	0,10	
80	36,16	2,96	0,333	0,259	0,333	0,370	0,296	0,318	0,042	13,3	0,11	
85	38,42	3,14	0,222	0,333	0,296	0,333	0,259	0,289	0,048	16,7	0,09	
90	40,68	3,33	0,296	0,259	0,333	0,333	0,296	0,303	0,031	10,2	0,09	
95	42,94	3,51	0,222	0,296	0,333	0,370	0,296	0,303	0,055	18,1	0,09	
100	45,20	3,69	0,296	0,296	0,296	0,407	0,333	0,326	0,048	14,8	0,09	
105	47,46	3,88	0,333	0,333	0,296	0,333	0,296	0,318	0,020	6,4	0,08	
110	49,72	4,06	0,407	0,370	0,259	0,370	0,333	0,348	0,056	16,1	0,09	
Anfang	240	108,48	8,81	0,629	0,666	0,592	0,666	0,629				
Nach 5.	240	108,48	8,81	0,666	0,592	0,629	0,629	0,666				
Nach 10.	240	108,48	8,81	0,629	0,629	0,666	0,666	0,629				
Ende	240	108,48	8,81	0,629	0,666	0,666	0,703	0,666	0,649	0,126	19,5	0,07
									Durchschnitt:	0,046	15,6	

Mittelwerte aus den Experimenten 1-3:

vg	zg (1)	zg (2)	zg (3)	zg(MW)	Stdabw.	Stdabw.	Stdabw.	zg (1)-MW	zg (2)-MW	zg (3)-MW	t(MW)
[°/s]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]	[Anteil]	[%]	[%]	[%]	[%]	[s]
1,48	0,081	0,237	0,192	0,170	0,080	0,470	47,0	52,2	-39,1	-13,0	0,115
1,66	0,089	0,244	0,178	0,170	0,078	0,458	45,8	47,8	-43,5	-4,3	0,102
1,85	0,118	0,266	0,215	0,200	0,075	0,376	37,6	40,7	-33,3	-7,4	0,108
2,03	0,141	0,311	0,237	0,229	0,085	0,372	37,2	38,7	-35,5	-3,2	0,113
2,22	0,133	0,318	0,229	0,227	0,093	0,408	40,8	41,3	-40,2	-1,1	0,102
2,40	0,133	0,303	0,237	0,224	0,086	0,382	38,2	40,7	-35,2	-5,5	0,093
2,59	0,170	0,363	0,274	0,269	0,096	0,358	35,8	36,7	-34,9	-1,8	0,104
2,77	0,155	0,363	0,289	0,269	0,105	0,391	39,1	42,2	-34,9	-7,3	0,097
2,96	0,185	0,370	0,318	0,291	0,095	0,328	32,8	36,4	-27,1	-9,3	0,098
3,14	0,222	0,407	0,289	0,306	0,094	0,306	30,6	27,4	-33,1	5,6	0,097
3,33	0,215	0,422	0,303	0,313	0,104	0,332	33,2	31,5	-34,6	3,1	0,094
3,51	0,207	0,429	0,303	0,313	0,111	0,355	35,5	33,9	-37,0	3,1	0,089
3,69	0,244	0,451	0,326	0,340	0,104	0,307	30,7	28,3	-32,6	4,3	0,092
3,88	0,222	0,422	0,318	0,321	0,100	0,312	31,2	30,8	-31,5	0,8	0,083
4,06	0,229	0,429	0,348	0,335	0,100	0,299	29,9	31,6	-27,9	-3,7	0,083
8,81	0,511	0,846	0,649	0,668	0,169	0,252	25,2	15,8	-17,8	2,0	0,076
				Mittelwert:	0,098	0,357	35,7	36,0	-33,6	-2,4	
				Stdabw.:	0,021	0,058	5,8	8,7	5,9	5,4	

11 Danksagung

Nun ist es soweit, all denen zu danken, die am Zustandekommen dieser Arbeit direkt oder indirekt, mittelbar oder unmittelbar, freiwillig oder unfreiwillig mitgewirkt haben.

An vorderster Front derjenigen steht zweifelsohne der an Kreativität, Diskussionsbereitschaft und Geduld kaum zu überbietende Betreuer dieser Arbeit Dr. Rainer Wolf. Die Megabytes an Diskussions-E-Mails, die zunächst zwischen Nürnberg und Würzburg, später dann zwischen Tübingen und Würzburg über die Datenautobahnen flitzten waren ohne Ausnahme ein reicher Schatz, aus dem ich jederzeit schöpfen konnte. Dank auch an seine Frau Dorle Wolf, die nicht nur in unzähligen Gesprächen und abendlangen Diskussionen immer wieder konstruktive Ideen beige-steuert hat, sondern vor allem durch ihre einladende und herzliche Art zusammen mit ihrem Mann für ein angenehmes warmes Klima gesorgt hat, das über die Jahre hinweg die kreative Ideen purzeln ließ. Matthias Schuchardt sei gedankt, dass er an meiner Seite stand, mich in das Projekt eingeführt und aufgenommen hat und stets für Diskussionen zur Verfügung stand. Die langen Mess-Marathons in der Zeit des Aufbaus und der Optimierung des realen Modells, das er konstruiert hat und um das sich seine Dissertation drehen wird, bleiben in unvergessener Erinnerung. Dem Zweitgutachter Prof. Dr. Otto Heller sei gedankt, dass er bereits beim Zustandekommen dieser Arbeit stets mit Rat und Tat zur Seite stand.

Nicht zu vergessen ist die wertvolle Arbeit von Frank Scheiner, der die Software „Bino2.4“ beige-steuert hat, die die methodische Grundlage dieser Arbeit bildet, nicht zu vergessen seine Betreuer Holger Höhn und Prof. Dr. Jürgen Albert vom Lehrstuhl Informatik II der Universität Würzburg.

Ein weiterer Dank geht an Prof. Heinrich H. Bühlhoff, der mich an das Max-Planck-Institut für biologische Kybernetik holte und mir die Möglichkeit gab, diese Arbeit an seinem Institut maßgeblich zu gestalten. Zu meinem großen Glück war dort immer jemand da, mich gestalterisch, grafisch oder technisch zu unterstützen und bisher aus jeder noch so verzweifelt PC-technischen Notlage heraus zu holen. Ein herzliches Dankeschön an Volker Franz für die Beratung in statistischen Fragen, Claudia Holt für die grafische Unterstützung, und für die EDV-technische Hilfe geht mein Dank an Walter Heinz, Hans-Günther Nusseck, Michael Renner, Ulrich Wandel, Annegret Weise und vor allem natürlich an Reinhard Feiler, der wohl fast jede einzelne meiner zahlreichen schweißtriessenden Verzweiflungen abbekommen und mit penetranter tatkräftiger Effektivität und streng-schmunzelndem Blick pariert hat. Die zahlreichen hier ungenannten Diskussionspartner und Impulsgeber am Institut mögen mir verzeihen, nicht namentlich aufgeführt zu werden, ihr Anteil am Zustandekommen dieser Arbeit ist beträchtlich.

Dankbar blicke ich auf die Zeit mit meinem Sohn Philipp, den ich während der Zeit der Fertigstellung dieser Arbeit heranwachsen sehen durfte – er war im wahrsten Sinne des Wortes von Beginn an dabei. Meinen Eltern danke ich, dass sie mich eine wohl berechnete Ungeduld zu keiner Zeit spüren ließen, mir die gesamte Zeit der Zusammenstellung dieser Arbeit vertraut und nie daran gezweifelt haben, dass das Projekt zu einem erfolgreichen Abschluss gebracht werden wird. Nun ist es soweit.

Allen voran bin ich von ganzem Herzen Barbara Ripper dankbar. Und nicht nur dafür, dass sie sich der Mühe unterzogen hat, diese Arbeit vollständig, sorgfältig und kritisch zu lesen und mich mit vielen wertvollen fachlichen Anregungen zu versorgen. Über allem steht ihre seelische, moralische und menschliche Unterstützung, die ich so sehr schätze und die für mich eine besondere Quelle ist für die Energie, Kreativität und Durchsetzungskraft, die für eine erfolgreiche Fertigstellung eines derartigen Projektes nötig ist.

12 Lebenslauf

Name: **Rainer Rosenzweig**
(Internet: www.rainerrosenzweig.de)

geboren: 13.12.1968 in Nürnberg

Ausbildung:

1975 - 1979 Grundschule (Nürnberg, Herriedener Str.)
1979 - 1988 Hardenberg-Gymnasium (Fürth), Abschluss: Abitur
1988 - 1989 Grundwehrdienst
1989 - 1995 Studium der Mathematik mit Nebenfach Physik an der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen, Abschluss: Diplom
ab 1996 Promotionsstudium an der Fakultät für Biologie der Universität Würzburg, Betreuer: PD Dr. habil. Rainer Wolf.

Berufstätigkeit:

ab Juli 1996 Projektleiter des Nürnberger Erlebnisprojekts *Turm der Sinne* (Oktober 1997: Gründung der gemeinnützigen *Turm der Sinne* GmbH Erlebnisausstellungen), www.turmdersinne.de
Juli 1999 - Juni 2000 Geschäftsführer des Humanistischen Verbandes Deutschlands HVD-Nürnberg, Körperschaft des öffentlichen Rechts, www.hvd.nuernberg.de
ab Oktober 2000 Assistent der Geschäftsführung am Max-Planck-Institut für biologische Kybernetik, Tübingen, www.kyb.tuebingen.mpg.de

13 Publikationsliste

Rosenzweig, R.: Das Mindingsche Problem der Raumflächen, Diplomarbeit, Erlangen, (unveröff.), 1995

Rosenzweig, R., M. Schuchardt and R. Wolf: The „Delayed Stereopsis Illusion“ (DSI). Computation times of human 3-D-vision measured by the delay of depth reversal in partially occluded moving objects. (In Vorbereitung)

Beiträge zu fachwissenschaftlichen Tagungen:

Wolf, R., M. Schuchardt and R. Rosenzweig: Depth illusion by delayed 3-D perception („delayed stereopsis illusion“): A novel way to determine computation times in human vision by depth reversal in partially occluded moving objects. *Perception* **25 (Suppl.)**, 59 (1996)

Schuchardt, M., R. Rosenzweig and R. Wolf: Computation Times of Binocular Depth Analysed by the „Delayed Stereopsis Illusion“ (DSI). Visuelle Wahrnehmung, Beiträge zur 1. Tübinger Wahrnehmungskonferenz, (Eds.) H.H. Bülhoff, M. Fahle, K.R. Gegenfurtner, H.A. Mallot. Knirsch Verlag, Kirchentellinsfurt, 122 (1998)

Wolf, R., M. Schuchardt and R. Rosenzweig: Was wir nicht wahrnehmen, obwohl es die Augen „sehen“: ein Blick auf die eigenen Sehzellen. Entoptische Strukturen im menschlichen Auge - sichtbar durch ein Mikroskop mit rotierender Aperturblende. Beiträge zur 5. Tübinger Wahrnehmungskonferenz, (Eds.) H.H. Bülhoff, K.R. Gegenfurtner, H.A. Mallot, R. Ulrich. Knirsch Verlag, Kirchentellinsfurt, 73 (2002)

Wolf R., R. Rosenzweig and M. Schuchardt: Looking at one's own cone cells: entoptic structures visualised through a moving pinhole or a microscope with excentrically rotating aperture stop. *Perception* **31 (Suppl.)**, 165 (2002)

Rosenzweig, R., M. Schuchardt and R. Wolf: Eine Bestimmung der 3D-Verrechnungszeit mittels der „Delayed Stereopsis Illusion“ (DSI) Beiträge zur 5. Tübinger Wahrnehmungskonferenz, (Eds.) H.H. Bülhoff, K.R. Gegenfurtner, H.A. Mallot, R. Ulrich. Knirsch Verlag, Kirchentellinsfurt, 104 (2002)

Rosenzweig, R., M. Schuchardt and R. Wolf: Computation times for binocular depth perception. A psychophysical analysis of the „Delayed Stereopsis Illusion“ (DSI). *Perception* **31 (Suppl.)**, 160 (2002)

Allgemeinwissenschaftliche Publikationen (Auswahl):

Rosenzweig, R.: Die Skeptiker tagten. Regiomontanusbote **5/3**, 21-23 (1992)

Rosenzweig, R.: Parapsychologen empört. Regiomontanusbote **6/4**, 28-29 (1993)

Rosenzweig, R.: Geschichten aus Mathematien. Regiomontanusbote **6/1**, 18-23 (1993)

Rosenzweig, R.: Offizielle Feier zur Modernisierung der Sternwarte. Regiomontanusbote **8/1**, 37-40 (1995)

Rosenzweig, R.: Interview mit Prof. Rudolf Kippenhahn. Regiomontanusbote **8/1**, 32-36 (1995)

Rosenzweig, R.: Eine rätselhafte Geschichte.. Regiomontanusbote **8/2**, 26-28, **8/3**, 32-36, **8/4**, 36-39 (1995)

Rosenzweig, R.: Die esoterische Verführung. Regiomontanusbote **9/2**, 29-31 (1996)

Fink, H. and R. Rosenzweig: Turm der Sinne. Erleben, Staunen, Be-Greifen. Skeptiker **10**, 140-141 (1997)

Wolf, R., H. Gimmler, J. Wolf and R. Rosenzweig: Im Doppelblind-Test „strahlten“ die Pflanzen nicht. Ein Wünschelruten-Experiment im Botanischen Garten der Universität Würzburg. Skeptiker **11**, 143-147 (1998)

Fink, H., R. Pausenberger, R. Rosenzweig and A. Weber: Unbewusste Wahrnehmungen. Skeptiker **12**, 150-153 (1999)

Rosenzweig, R.: Erkennen ist mehr als Sehen. Max-Planck-Forschung **3**, 44-50 (2001)

Bülthoff, H.H. and R. Rosenzweig: Virtuelle Welten. Kosmos Gehirn **Sonderdruck, 2. Auflage**, 106-107. (Eds.) Kettenmann, H., Gibson, M. (2002) [ISSN 0947 0875 (1. Aufl. 2001) - Artikel ist auch auf der CD-Rom „LifeScience-Live“ (2002) erschienen, Hrsg.: Verband Deutscher Biologen und biowissenschaftlicher Fachgesellschaften e.V., Kontakt: www.vdbiol.de]

14 Ehrenwörtliche Erklärung

Hiermit erkläre ich ehrenwörtlich, dass die vorliegende Arbeit von mir selbständig und nur unter Verwendung der angegebenen Quellen und Hilfsmittel angefertigt wurde. Weiterhin habe ich noch keinen Promotionsversuch unternommen oder diese Dissertation in gleicher oder ähnlicher Form in einem anderen Prüfungsverfahren vorgelegt.

Tübingen, 18. Dezember 2002

Rainer Rosenzweig