

## **329: Wie bedeutsam ist der visuelle Kanal für die Sensomotorik bei raschen Bewegungen?\***

von H.-V. ULMER, M. BAUER und A. P. BERWANGER

### **Kurzfassung**

Dem visuellen Kanal wird für die Raumorientierung als Teil der Sensomotorik üblicherweise eine besondere Rolle beigemessen. Umso erstaunlicher ist, daß sich ein Verbinden der Augen beim Jump-and-Reach-Test nur geringfügig nachteilig auf Sprunghöhe und Reproduzierbarkeit des Tests auswirkte (Bauer, 1998). Noch erstaunlicher ist, daß erfahrene Eiskunstläufer bei der Aufgabe, fünf Pirouetten zu drehen, bezüglich der A-Note (Präzision) nach Verbinden der Augen nur geringfügig beeinträchtigt waren, bezüglich der B-Note (Qualität) allerdings deutlicher, besonders bei einer Anfängergruppe (Berwanger, 2001). Im Vergleich zu Anfängern scheint mit zunehmender Vervollkommnung des Bewegungsablaufs der Hauptanteil der Sensorik für die Lage- bzw. Raumorientierung auf andere Sinneskanäle (wahrscheinlich Propriozeptoren) verlagert zu werden. Weiterhin wäre daran zu denken, daß die Sensorik als Teil der Sensomotorik in ihrer Bedeutung insgesamt zugunsten einer nur noch gering rückgekoppelten motorischen Steuerung verlagert wird. Immerhin ist bei sportspezifischen schnellen Bewegungen auch zu fragen, wie zuverlässig und präzise dann überhaupt noch der Sehkanal für die sensorische Rückkopplung genutzt werden kann.

### **Einleitung**

Dem visuellen Kanal wird für die Raumorientierung als Teil der Sensomotorik üblicherweise eine besondere Rolle beigemessen. Andererseits wird in Lehrbüchern das Lage- und Gleichgewichtssystem in engen Zusammenhang mit dem als „Gleichgewichtsorgan“ bezeichneten Vestibularsystem gestellt (z. B. ZENNER, 2000). Dies war Anlaß, zwei motorisch anspruchsvolle Aufgaben mit verbundenen Augen durchführen zu lassen:

1. *Pirouettendrehen beim Eiskunstlauf.*

2. *Jump-and-Reach- (bzw. Reichhöehensprung-)Test.* Hierbei muß nach beidbeinigem vertikalen Absprung am Scheitelpunkt der Flugbahn mit der Hand an eine Wand geschlagen werden.

Geprüft werden sollte, ob und in wieweit sich bei diesen Aufgaben die Ausschaltung des Sehkanals bemerkbar macht.

### **Methodik**

1. *Versuche zum Reichhöehens-Sprungtest:* 98 Basket- und Volleyballspieler sowie 40 Nichtsportler beiderlei Geschlechts (s. Tab. 1) hatten den Reichhöehens-Sprungtest mit offenen bzw. – in systematisch wechselnder Reihenfolge – verbundenen Augen durchzuführen: Jeweils 3 Sprünge hintereinander im Abstand von ½ min, Sprung seitlich zur Wand, Sprungbein wandfern positioniert, Anschlag mit einer Hand, Ablesung auf 0,5 cm genau, weitere Berechnungen basierend auf individuellen Maxima (wie bei sportlichen Wettkämpfen üblich). Weitere Einzelheiten siehe BAUER (1998).

2. *Versuche zum Pirouettendrehen:* 40 Probanden (31 w, 9 m), davon je 20 Anfänger (Hobbyläufer mit 1 – 2maligem Training pro Woche) und 20 Fortgeschrittene (fast täglich trainierend, Teilnehmer an nationalen Meisterschaften). Gemäß sportlichem Regelwerk waren je 5 Pirouetten mit offenen Augen („sehend“) bzw. verbundenen Augen („blind“) auf dem Eis der Roten Halle des Leistungszentrums Herzogenried in Mannheim zu drehen.

\* Vortragsmanuskript auf der 4. Jenaer Arbeitstagung Motodiagnostik-Mototherapie vom 20.-21.7.2001  
– überarbeitete Fassung zum Text des Referatebands (S. 82 - 87)

Jede Pirouette sollte in systematisch wechselnder Reihenfolge (blind/sehend) aus dem Stand gestartet, 5 Umdrehungen gedreht und dann ausgelaufen werden. 2 Preisrichterinnen (über 10 Jahre Erfahrung, qualifiziert für nationale Meisterschaften bzw. internationale Wettbewerbe) notierten unabhängig voneinander gemäß Regelwerk die A-Note für die Präzision sowie B-Note für die Qualität der Ausführung. Für jede Teilbewertung war 3,0 als Höchstwert (~ der Mittelnote für die Kürklasse 6) vereinbart worden. Weitere Einzelheiten siehe BERWANGER (2001).

## Ergebnisse

1. *Zum Reichhöhen-Sprungtest:* Tabelle 1 zeigt die Sprunghöhen der jeweiligen Gruppen. Die Mittelwerte beim Springen „blind“ sind zwar in allen 6 Gruppen systematisch niedriger, aber vom Betrag her angesichts der zwischen 2 und 7% liegenden relativen Unterschiede nur gering (in einem Fall nicht einmal signifikant). Bei den 6 Gruppen (Tab. 2) wurde in 8 bis 28% der Fälle „blind“ sogar höher als „sehend“ gesprungen. Die Reliabilität der 3fach wiederholten Sprünge wurde als individuelle relative Variationsbreite der Dreifachversuche berechnet: Sie lag in den 6 Gruppen interindividuell gemittelt zwischen 4,0 und 11,2% und war bei den Sprüngen „blind“ zwar systematisch, aber geringfügig, bei den 3 Frauengruppen nicht einmal signifikant, gegenüber den Versuchen „sehend“ erhöht (Tab. 2).

**Tab. 1: Sprunghöhen der 6 Untergruppen (w = weiblich, m = männlich). n.s. = nicht signifikant, übrige Differenzen signifikant ( $2p < 0,01$ ). Mittelwert der relativen Differenzen: 4,0**

	Gruppe (Gr.)		n	J + R Sprunghöhen (cm)		rel. Differenz (%)
				„sehend“	„blind“	
1	Basketball	w	25	38,5 ± 3,9	35,9 ± 4,0	7,1
2	Volleyball	w	21	42,4 ± 5,2	41,6 ± 5,4	2,0 n.s.
3	Nichtsportler	w	20	37,5 ± 4,5	35,9 ± 4,5	4,4
4	Basketball	m	24	59,4 ± 6,0	56,9 ± 6,5	4,3
5	Volleyball	m	28	59,8 ± 6,2	56,3 ± 5,8	6,0
6	Nichtsportler	m	20	49,8 ± 3,9	47,2 ± 4,3	5,0

Gr.	n	Häufigkeit b>s	Reliabilität (rel. Variationsbreite, %)		
			sehend	blind	Diff.
1	25	28%	5,8	8,0	2,3
2	21	19%	6,7	8,6	1,9
3	20	10%	8,0	11,2	3,2
4	24	8%	4,4	7,2	2,8*
5	28	11%	4,0	7,2	3,2*
6	20	20%	5,4	10,6	5,1*
M	138	16%	5,7	8,8	3,1

**Tab. 2: Häufigkeit der Überschneidungen (b>s): blind höher gesprungen als sehend sowie Mittelwerte der intraindividuellen relativen Variationsbreite für die Sprunghöhen in den 6 Untergruppen. \*= signifikant, ( $2p < 0,05$ )**

2. *Zum Pirouettendrehen:* Zunächst soll festgehalten werden, daß bei insgesamt 2000 Einzelversuchen kein einziger Sturz vorkam. Die intersubjektive Übereinstimmung der Preisrichter-Bewertungen wird in Tab. 3 beschrieben: In 90% der Fälle lag eine völlige Übereinstimmung vor; unter Einschluß einer Spannweite von ± 0,1 Punkten ergab sich in lediglich 3 von 2000 Fällen keine Übereinstimmung. Mittelwerte und Streuungsmaße sind in Tab. 4 zusammengestellt. Um bei den Fortgeschrittenen überhaupt Effekte sichtbar werden zu lassen, wurden trotz extrem schiefer Verteilung arithmetische Mittelwerte angegeben. Beim Streuungsmaß wurde allerdings auf die Standardabweichung verzichtet und nur Quartile berechnet. Anhand von Medianen und arithmetischen Mittelwerten wird deutlich, daß die Unterschiede zwischen "Sehend"- und "Blind"- Laufen bei den A- und B-Noten der

Fortgeschrittenen Null oder minimal sind. Bei den Anfängern liegen in allen Fällen Mittelwerts-Unterschiede der A- und B-Noten vor, bei den B-Noten um 0,2. Auch anhand der Punktabzüge der Preisrichterinnen (Tab.5) zeigt sich, daß das "Blind"-Laufen sich bei den Anfängern sehr deutlich, bei den Fortgeschrittenen nur gering auswirkte. Beim Vergleich der Präzisions-Note (A) mit der Qualitäts-Note (B) ergibt sich, daß das "Blind"-Laufen bei der Qualitätsnote (B) in beiden Läufergruppen stärker beeinträchtigt ist (Tab. 5). Daß fünf Wiederholungen bereits das Ergebnis beeinflussten, wird anhand der Tabelle 6 ersichtlich: Die intraindividuelle Übereinstimmung der Gesamtnote für "Blind"- und "Sehend"-Laufen in den Kategorien Null, +0,1 und -0,1 betrug bei den Anfängern beim 1. Lauf 15%, beim 5. Lauf 40%; die entsprechenden Werte lagen bei den Fortgeschrittenen mit ebenfalls systematisch wechselnder Reihenfolge "sehend" vs. "blind" bei 65 bzw. 95 %.

absol. Differenz	- 0,2	- 0,1	0	0,1
rel. Häufigkeit	0,2%	7,7%	89,8%	2,4%
absol. Häufigkeit	3	154	1795	48

**Tab. 3: Häufigkeit der Differenzen zwischen beiden Preisrichtern bei 2000 Einzelbewertungen, in 0,1er-Schritten von 0 bis 3,0 abgestuft**

Gruppe		Präzision (A-Note)		Qualität (B-Note)	
		sehend	blind	sehend	blind
Anfänger n = 20	M	2,96	2,90	2,89	2,71
	Md	3,00	2,90	2,90	2,70
	Q <sup>25</sup>	2,90	2,80	2,80	2,60
	Q <sup>75</sup>	3,00	3,00	3,00	2,80
Fortgeschrittene n = 20	M	3,00	2,99	2,99	2,93
	Md	3,00	3,00	3,00	3,00
	Q <sup>25</sup>	3,00	3,00	3,00	2,90
	Q <sup>75</sup>	3,00	3,00	3,00	3,00

**Tab. 4: Mittelwerte (M = arithmetischer Mittelwert, Md = Median) und Quartile der A- und B- Noten der 40 Probanden**

**Tab. 5: Relative Häufigkeit der Fälle ohne Punktabzüge durch die Preisrichterinnen von der Höchstnote 3,0 (für 3 notenrelevante Teilleistungen)**

zu Note	Ohne Punktabzüge von der Maximalnote 3,0	20 Anfänger		20 Fortgeschrittene	
		sehend	blind	sehend	blind
A	Solldrehzahl (5) erreicht, rel. Häufigkeit	70%	44%	97%	93%
B	Präzise Zentrierung, ohne Abzüge, rel. Häufigkeit	37%	2%	97%	64%
	Auslauf ohne Abzüge, rel. Häufigkeit	75%	27%	98%	82%

**Tab. 6: relative Häufigkeit (%) der Differenzen der Gesamtnote für die Aufgaben "sehend" minus „blind“ beim ersten und letzten Testlauf**

Differenz "sehend" minus "blind"		+0,1	0	-0,1	-0,2	-0,3	-0,4	-0,5	-0,6	-0,7
20 Anfänger	1. Lauf	—	10	5	40	30	10	—	—	5
	5. Lauf	—	10	30	30	15	10	5	—	—
20 Fortgeschrittene	1. Lauf	—	35	30	5	20	10	—	—	—
	5. Lauf	5	80	10	5	—	—	—	—	—

## Diskussion

1. *Zu beiden Tests:* Zunächst sei festgehalten, daß es keine wesentlichen motorischen Störungen gab: Bei den Nichtsportlern mit ihrer vermutlich mangelnden Erfahrung hinsichtlich des bei Volleyball- und Basketballspielern bekannten Reichhöhen-Sprungtests gab es keine Fehlsprünge (z. B. Entlangschrammen mit Körperteilen an der Wand). Selbst bei den Anfängern im Eiskunstlauf traten keine Stürze auf. Allgemeingültig sind diese und die weiteren Beobachtungen wohl eher nicht; sie dürften angesichts der großen Probanden- bzw. Fallzahlen aber doch aussagekräftig sein, vor allem, wenn man bedenkt, daß sportliches Leisten zumeist einer Individualleistung entspringt. Insofern beziehen sich die nachfolgenden Aussagen absichtlich überwiegend auf deskriptive Statistik.

Ohne orientierende Vorversuche zum Reichhöhen-Sprungtest wäre die 1. Versuchsserie gar nicht gestartet worden und ohne die Ergebnisse dieser Serie wäre die Idee zur Pirouettenuntersuchung nicht entstanden, greift doch das Verbinden der Augen bei unseren Versuchen zweifellos massiv in die Gesamtheit der kinästhetischen Sinneskanäle ein. Aber nicht nur das: Ein "blindes" Erfüllen üblicherweise mit offenen Augen durchgeführter motorischer Aufgaben stellt auch eine psychische Herausforderung dar, die bei der Interpretation unserer Ergebnisse mit zu berücksichtigen ist.

2. *Zum Reichhöhen-Sprungtest:* Das Verbinden der Augen wirkte sich unter Berücksichtigung der psychischen Beeinträchtigung kaum auf die Sprunghöhe (Tab. 1) aus. Auch die Reliabilität der 3 Wiederholungsversuche war nur gering beeinträchtigt, bei den 3 Frauengruppen nicht einmal signifikant. Dann ist zu fragen, wie es die Probanden eigentlich schafften, am theoretisch optimalen Höchstpunkt ihrer Flugbahn anzuschlagen. Dabei war der Überschneidungsbereich mit Fällen, in denen "blind" höher als "sehend" gesprungen wurde, mit Werten zwischen 8 und 28 % beträchtlich (Tab. 2).

Wie also schafften es die Probanden, blind derart erstaunliche Leistungen bezüglich einer zeitlichen Positionierung des Anschlagens mit der Hand an die Wand am Höchstpunkt ihrer Flugbahn zu erreichen? Diese Frage kann hier nur spekulativ beantwortet werden. Auf jeden Fall schafften es die Probanden ohne visuelle Orientierung, die übrigen kinästhetischen Sinneskanäle reichten aus. Sie schafften es aber auch ohne Einübung und ohne erkennbaren Einfluß von Vorerfahrung. Ein Kompensationsmechanismus wie bei Blinden liegt offensichtlich nicht vor. Reichen die Maculaorgane des Vestibularsystems aus, um trotz ihrer Trägheit die Intensität der Vertikalbeschleunigung genau genug zu erfassen, oder gelingt dies durch die Proprioceptoren der Beine, ggf. in Kombination?

3. *Zum Pirouetten-Drehen:* Neben der Leistung der Eiskunstläufer verdient auch diejenige der Preisrichterinnen hinsichtlich der intersubjektiven Übereinstimmung ihrer Bewertungen (Tab. 3) Aufmerksamkeit. Dadurch steigt die Aussagekraft der beschriebenen Beobachtungen. Auch beim "blinden" Pirouettendrehen war der Einfluß des ungewohnten Verbindens der Augen auffallend gering. Deutlich werden bei dieser im Vergleich zum Reichhöhen-Sprungtest komplexeren Aufgabe hinsichtlich der Koordination von Bewegungs- und Gleichgewichtsmotorik allerdings Trainingseffekte: Die Unterschiede (Tab. 4) zwischen Anfängern und Fortgeschrittenen sind deutlich und noch bei den Fortgeschrittenen zeigte sich durch das fünffache Wiederholen der "blinden" Pirouetten ein zunehmend geringerer Einfluß des "Blind"-Laufens auf die Gesamtnote (Tab. 6). Ob die erkennbare, geringe Beeinflussung der motorischen Qualität durch das Verbinden der Augen mehr sensomotorisch oder psychomotorisch bedingt ist, muß auch hier offenbleiben. Das Erstaunliche bleibt aber, daß ein "blindes" Pirouettenlaufen in der vorgefundenen Weise überhaupt möglich war. Auch hier stellt sich die Frage nach den zuständigen kinästhetischen Sinneskanälen, falls man nicht von einer weitgehend vorprogrammierten Steuerung ohne Rückkopplung ausgeht. Ohne Rückkopplung dürften die schnellen Pirouetten aber nicht abge-

laufen sein. Das Bogengangssystem reagiert jedoch auf Winkelbeschleunigungen und meldet bei raschen Kopfbewegungen nur annäherungsweise die Geschwindigkeit einer Kopfdrehung (ZENNER, 2000). Es scheidet somit als präziser "Winkelmesser" für Drehbewegungen weitgehend aus. Auch hier dürfte den Proprioceptoren der Beine eine große Bedeutung zukommen.

Beim "Sehend"-Drehen könnte man der optischen Orientierung auf der Basis des Nystagmus zunächst eine große Rolle beimessen. Offensichtlich war dieser Mechanismus bei den schnellen Drehungen einer Pirouette nachrangig. Hier wäre nämlich zu fragen, wieviel an visuellen Informationen bei schnellen Drehungen überhaupt übrigbleibt. Nimmt man 6 Nystagmen pro Umdrehung an (also nach je 60° eine ruckartige Augenbewegung in Drehrichtung), dann stehen dem Gehirn nur 6 kurzzeitige Raumsegmente für die visuelle Orientierung zur Verfügung, denn zwischen den Nystagmus-Sakkaden dürfte der optische Kanal abgeschaltet sein. Insgesamt dürften die Nystagmus-vermittelten optischen Rückmeldungen sehr ungenau sein. Von daher wäre es durchaus sinnvoll, wenn der optischen Raum- und Gleichgewichtsorientierung bei schnellen Pirouetten keine große Rolle zukäme und wenn es die erfahrenen Läufer gelernt hätten, ihre Somatomotorik davon abzukoppeln.

*4. Zum Gleichgewichts- und Lage-Sinn:* Gemeinsam zeigen beide Versuche, daß bei einer schnellen Vertikal- oder Drehbewegung der optische Kanal ausgeschaltet werden kann, ohne daß es zu deutlichen motorischen Störungen kommt. Welcher Anteil dabei dem kinästhetischen System und welcher Teil einer motorischen Programm-Steuerung zukommt, kann hier nicht beantwortet werden. Ohne kinästhetische Rückkopplung sind die hier beschriebenen Aufgaben allerdings nicht vorstellbar. Der kinästhetische Anteil erweist sich hinsichtlich der Priorisierung seiner verschiedenen Eingänge (u. a. Proprioceptives System, Visuelles System, Vestibularsystem) als ausgesprochen variabel, man könnte auch sagen: dynamisch. Die Variabilität dieser Priorisierung dürfte nicht nur von der Art der jeweiligen Aufgabe abhängen, sondern auch von den Arbeitsbedingungen. Die Dynamik dieses Systems zeigt sich nämlich auch bei den Fortgeschrittenen, die ihre Leistungen beim "Blind"-Laufen im 5. Wiederholungsversuch in vielen Fällen noch mehrmals verbessern konnten (Tab. 6).

### **Schlußfolgerungen**

Das Vestibularorgan wird üblicherweise als "Gleichgewichtsorgan" bezeichnet. Es ist nicht neu, daß diese Bezeichnung unvollständig ist: Am Lage- und Gleichgewichts-System sind mehrere Sinneskanäle beteiligt. Dem visuellen System kommt bei langsamen Bewegungen zweifellos eine wesentliche Bedeutung für die sensorische Rückkopplung zu. Die Dynamik des kinästhetischen Systems zeigt sich aber auch darin, daß bei den hier beschriebenen schnellen Bewegungen eine Ausschaltung des visuellen Systems nur geringe oder keine Auswirkungen hat.

### **Literatur:**

BAUER, M.: Zur Bedeutung der optischen Kontrolle beim Jump-and-Reach-Test. Staatsexamensarbeit FB Sport, Mainz 1998

BERWANGER, A. P.: Zum Anteil der visuellen Kontrolle beim Pirouettendrehen von Eiskunstläufern. Medizin. Dissertation, Mainz 2001

ZENNER, H. P.: Der Gleichgewichtssinn und die Bewegungs- und Lageempfindung des Menschen. In: SCHMIDT, R. F., THEWS, G., LANG, F. (eds.): Physiologie des Menschen, Berlin, Heidelberg, New York ... 2000

Weitere Literatur bei BAUER sowie BERWANGER (s. o.) sowie:

<http://www.uni-mainz.de/FB/Sport/physio>

### **Kontaktadresse:**

Prof. Dr. med. H.-V. Ulmer, Sportphysiologische Abteilung, FB 26, Johannes Gutenberg-Universität D 55099 Mainz, E-Post: [sportphysiologie@mail.uni-mainz.de](mailto:sportphysiologie@mail.uni-mainz.de)

<http://www.uni-mainz.de/FB/Sport/physio>