

Technische Erweiterung unserer biologischen Orientierungsleistungen

1. Orientierung und ihre Komponenten

Orientierung in der ursprünglichen Bedeutung heißt: die Richtung nach der aufgehenden Sonne bestimmen. Im weiteren, heute gebräuchlichen Sinne verstehen wir unter Orientierung das Zurechtfinden in der Umgebung. Selten wird der Begriff im Zusammenhang mit einer Bestimmung der Zeit verwendet. Für komplexe, räumliche Orientierungsleistungen, wie wir sie von Organismen verschiedener Entwicklungsstufen kennen, ist eine gute Zeitmessung oder -abschätzung allerdings unabdingbar. In diesen Fällen ist es daher sinnvoll, von einer raum-zeitlichen Orientierung zu sprechen.

Die Fähigkeit, sich im Raum zu orientieren, ist eine essentielle Eigenschaft aller Tiere, der freibeweglichen Mikroorganismen, einschließlich Bakterien, und von Teilen, z. B. Blättern und Wurzeln, fast aller Pflanzen. Die Orientierung steht im Dienste des Nahrungserwerbs und der Partnerfindung; sie ermöglicht die Entdeckung von Feinden und spielt eine Rolle beim Angriff wie auch bei der Flucht. Die erstaunlichsten Fähigkeiten zur Orientierung finden wir beim Heimfindevermögen vieler Tierarten.

Generell lässt sich eine Lage-Orientierung von der eigentlichen Zielfindung unterscheiden. Bei der ersten Form, die auch als Primär- oder direkte Orientierung bezeichnet wird, handelt es sich um die Einnahme und Stabilisierung einer Ruhestellung, beispielsweise der vertikalen Lage von Fischen im Wasser, bei der sowohl optische wie auch Schwerkraftreize beteiligt sind. Unter der zweiten, der Sekundär-Orientierung, werden alle Formen der Nah- und Fernorientierung zusammengefasst. Voraussetzungen für die Zielfindung sind eine Reihe funktionseller Komponenten, die zum Teil in linearer Abfolge wirksam werden, zwischen denen aber auch mannigfache Rückkoppelungen bestehen (Abb. 1).

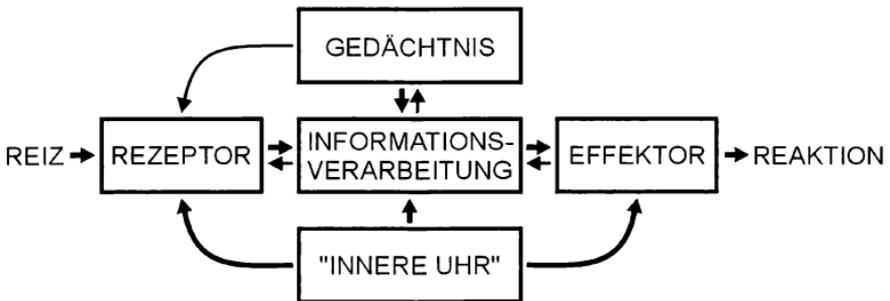


Abb.1: Funktionelle Komponenten der Orientierung und ihre Verschaltung. Von den Rückkoppelungen (dünne Pfeile) sind nur die wichtigsten eingezeichnet.

Erster Schritt in der Signalkette ist die Aufnahme äußerer Reize durch spezifische Rezeptoren, die über eine Filterung oder Verrechnung die Aktivierung von Effektoren (in der Regel Muskeln) bewirken und so eine Bewegungsantwort hervorrufen. Modulierend auf den Signalfloss und die -verrechnung wirken innere Zustände, wie z. B. autonome Rhythmen (innere Uhr) sowie Kurzzeit- und Langzeitgedächtnis. Die Fähigkeit eines Lebewesens zur Orientierung ist folglich von der unterschiedlichen Ausbildung und Effektivität dieser Komponenten abhängig. Wie alle Verhaltensweisen sind auch die Orientierungsleistungen das Ergebnis eines Evolutionsprozesses und daher streng abgestimmt auf die übrigen Merkmale und die besondere Lebensweise.

Eine Systematik der Orientierungsweisen lässt sich zum einen nach den beteiligten Reizen bzw. Sinnesmodalitäten, d.h. nach den sensorischen Eingängen, zum anderen nach den Orientierungs-“Strategien“, also dem Verhalten vornehmen. Ich folge hier weitgehend der von Schöne (Schöne, H., 1980) verwendeten Terminologie.

2. Sinnesleistungen des Menschen

Sehen wir uns zunächst die sensorische Ausstattung des Menschen im Vergleich zu der der Tiere an. In Tabelle I sind die verschiedenen Sinnesmodalitäten aufgelistet, die bei der Orientierung von Lebewesen eine Rolle spielen. Über sehr leistungsfähige Rezeptoren verfügt der Mensch für optische Wahrnehmung und den Schweresinn (Gravirezeption). Beide Sinnesmodalitäten dienen der Lageorientierung, die zweite sogar ausschließlich. Wenn der Gesichtssinn des Menschen auch von manchen Tierarten übertroffen

	ohne Technik	mit Technik
Photorezeption, Sehen	++	+++
Chemorezeption, Riechen	+	++
Mechanorezeption, Hören	+	+++
Rezeption von Ultraschall	-	+++
Vibration	(+)	++
Strömung	(+)	++
Schwere	++	++
Tastsinn	++	+++
Thermorezeption	+	+++
Elektrorezeption	-	+++
Magnetorezeption	-	+++

Tab. I.: Sensorische Modalitäten des Menschen und ihre Erweiterung durch Technik

wird, spielt er beim Menschen doch die bedeutendste Rolle; hinter ihn treten Chemo- und Thermorezeption, die beispielsweise bei manchen Insekten und Fischen bzw. bei bestimmten Reptilien zu höchster Empfindlichkeit entwickelt sind, deutlich zurück. Zwar ist unser Hörsystem aufgrund der bilateralen Anordnung der Ohren zur Richtungslokalisierung einer Schallquelle gut geeignet, doch erreicht weder seine Empfindlichkeit noch der Frequenzumfang die Werte vieler Tierarten. Ultraschall, die wichtigste Sinnesmodalität für die Orientierung von Fledermäusen, können wir überhaupt nicht wahrnehmen; ebensowenig elektrische und magnetische Felder, die nachweislich von Fischen bzw. Vögeln zur Orientierung verwendet werden. Die übrigen Sinne des Menschen sind im Vergleich zu bestimmten Tieren ausgesprochen unterentwickelt, beispielsweise die Mechanorezeption für Vibrationen, die bei Spinnen sehr ausgeprägt ist. Von unserer sensorischen Ausstattung her können wir uns also keineswegs als „Krone der Schöpfung“ sehen.

3. Technische Erweiterung unserer Sinne durch Technik

Man kann vermuten, dass die sensorische Ausstattung des Menschen im vor-technischen Zeitalter im Großen und Ganzen seinen Bedürfnissen und der Lebensweise in einer Welt der mittleren Dimensionen angemessen war. Der Vorstoß über die räumlichen und zeitlichen Grenzen hinaus ging sicherlich Hand in Hand mit einer technischen Erweiterung des menschlichen Wahrnehmungsvermögens und durch Technik verbesserter Orientierungsstrategien. Für nahezu alle Reizmodalitäten hat sich der Mensch bis zum heutigen Tag leistungsfähige Hilfsmittel geschaffen, die es ihm in vielen Fällen ermöglichen, bis an die Grenzen der physikalischen Detektierbarkeit von Signalen vorzudringen. Tabelle I enthält eine grobe Abschätzung der so gewonnenen Verbesserungen. Technische Hilfsmittel ermöglichen es uns überhaupt erst, Ultraschall sowie elektrische und magnetische Felder und deren Änderungen zu messen. Bedeutende Erfindungen für die Erkennung optischer Signale sind der Sekundär-Elektronen-Vervielfacher (SEV), der die Registrierung einzelner Lichtquanten erlaubt, Lichtwandler für das Sehen im infraroten Bereich des Spektrums, so genannte Nachtsichtgeräte, und natürlich alle Arten von Fernrohren und Mikroskopen (Hildebrand, E. 2001). Hochempfindliche Mikrofone zusammen mit elektronischen Verstärkern ermöglichen eine Wahrnehmung schwächster Schallsignale, und empfindliche Seismographen registrieren feinste Vibrationen. Unsere natürlichen Thermorezeptoren, die weniger für absolute Temperaturmessungen ausgelegt sind als für die Wahrnehmung von Temperaturänderungen, werden, was Empfindlichkeit und Genauigkeit betrifft, weit übertroffen von den verschiedensten Arten von Thermometern und Thermosäulen.

Hervorzuheben ist, dass es bisher nicht gelungen ist, die menschlichen Fähigkeiten der Chemorezeption, d. h. des Riechens und Schmeckens durch technische Verfahren zu ersetzen oder zu verbessern. Zwar lassen sich elektronische „Nasen“ für definierte Stoffe konstruieren, die in ihrer absoluten Empfindlichkeit der des Menschen überlegen sind, doch gibt es für die Analyse von Duftgemischen bisher nur erste Ansätze einer technischen Lösung. Interessant ist, dass dabei ein bionischer Ansatz, d. h. das biologische Prinzip der Geruchserkennung bevorzugt wird (*Gardner, J.W., et al., 1990*). Hierbei wird ein Mosaik aus mehreren verschiedenen Chemosensoren verwendet. Die Summe ihrer Signale gibt ein charakteristisches Muster, das dem jeweiligen Duftgemisch zugeordnet werden kann.

Technische Hilfsmittel vermögen auch sensorische Behinderungen ganz oder teilweise zu kompensieren. Das Bestreben, wirkungsvolle Prothesen, Seh- oder Hörhilfen, zu schaffen, ist alt und konzentriert sich zur Zeit besonders auf die Entwicklung einer künstlichen Retina für Blinde. Das Rasterkraftmikroskop ermöglicht es prinzipiell, Oberflächen bis hin zu atomaren Dimensionen „abzutasten“, doch ist diese Methode für die Orientierung des Menschen im Raum selbstverständlich bedeutungslos.

4. Biologische Orientierungsleistungen

Jeder Versuch, die verschiedenen Orientierungsmethoden der Tiere systematisch zu ordnen, ist problematisch. Zu viele funktionelle Komponenten mit unterschiedlicher Bedeutung sind beteiligt, und häufig ergeben sich die beobachteten Strategien aus einer Kombination verschiedener Grundmechanismen. Die in Tabelle II dargestellte Übersicht kann daher nur als grobe „Orientierungshilfe“ in der behandelten Materie dienen.

Tab. II.: Orientierungsstrategien

1. **Indirekte O.** (Versuch und Irrtum)
 - Kinesis
 - a) Orthokinesis (z.B. Assel)
 - b) Klinokinesis (z.B. Bakterien)
 - phobische Reaktion (z.B. Paramecium)

2. **Direkte O.** (Ausrichtung rel. zur Bezugsgröße)
 - Raumlage (Schwerkraft, Licht)
 - Ortung
 - a) Sukzessivmessung (Unisensorsystem, z.B. Nase)
 - b) Differenzmessung (Bisensorsystem, z.B. Ohren)
 - c) Fixierung (Augen)

3. **Idiothetische O.** (ohne Außenreize)

Speicherung und Integration der Eigenbewegungen
(z.B. Spinnen, Tausendfüßler)

4. **Komplexe O.** (mittelbare O., Fern-O.)

Landmarken-O. (Ortsinformation, Karte, Gedächtnis)
Kompass-O.

a) Magnetfeld

b) Gestirne (Zeitkorrektur)

Navigation, terrestrische und astronomische
(Positions- und Kursbestimmung, Integration
zurückgelegter Wegstrecken)

4.1 *Lageorientierung*

Direkte (primäre) Orientierung, also die Ausrichtung des Körpers, hat seine Bedeutung vor allem für die stabile Ruhelage im Raum und für ihre ständige Korrektur bei unwillkürlichen Störungen. Bei Menschen und anderen Wirbeltieren, z.B. auch bei Fischen, wird die stabile Raumlage auf zweifache Weise gewährleistet, durch den optischen und den Schweresinn. Die Richtung der Gravitation wird dabei mittels der Otolithen im Ohrlabyrinth wahrgenommen. Durch einseitige Ausschaltung des einen oder des anderen Sinnes bei Fischen konnte gezeigt werden,

dass die Erregungen aus beiden Systemen vektoriell miteinander verrechnet werden (v. Holst, E., 1950). Die stabile Ruheposition des stehenden Menschen ist die Vertikale mit einem um 30° nach vorn geneigten Kopf. Unsere tägliche Erfahrung ist, dass Telegrafmasten und Häuser senkrecht stehen, gleichfalls Fenster und Türen, und dass auch Bilder in aller Regel gerade hängen. Die Interferenz zwischen optischen Bezugsgrößen und der Gravitation lässt sich beim Menschen durch einen einfachen Versuch beweisen. Wir versetzen eine Versuchsperson mit Hilfe einer geeigneten Projektion in einen gekippten Raum und lassen sie sodann die Richtung der Vertikalen schätzen.

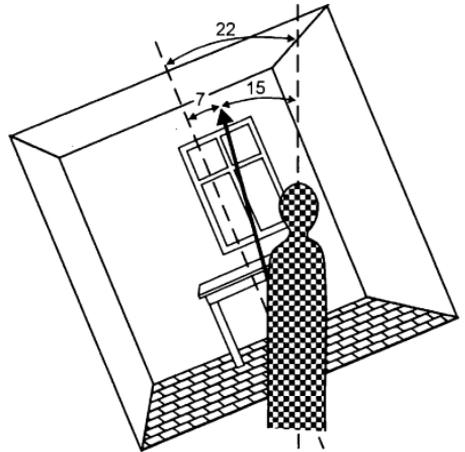


Abb. 2: Subjektive Vertikale (dicker Pfeil) vor einer Raummatratze, die um 22° gekippt ist (aus Schöne, H., 1980)

Diese subjektive Vertikale liegt regelmäßig zwischen der tatsächlichen und der vorgestellten (Abb. 2).

4.2 *Ortung*

Zur direkten Orientierung lässt sich auch die Ortung zählen, eine wichtige Voraussetzung für Richtungslokalisierung und Ausrichtung. Die natürliche Ortung einer Signalquelle kann auf verschiedene Weise erfolgen, 1. durch Sukzessivmessung und Richtungsvergleich mit einem Unisensor-System, z. B. der Nase, 2. durch Messung der Erregungs- bzw. Zeitdifferenz mit einem symmetrisch angeordneten Bisensoren-System, wie sie unser Gehörsinn darstellt, und 3. durch Fixierung der Reizquelle mit den Augen.

Außerordentlich empfindlich ist die Richtungslokalisierung einer Schallquelle durch das Gehör des Menschen. So werden Zeitdifferenzen von Schallsignalen zwischen den Ohren bis herab zu 30 μ s erkannt. Das entspricht einer Winkelabweichung von nur etwa 3°. Auf der Registrierung von Laufzeitunterschieden beruht auch der sehr effektive Mechanismus der Echoortung von Fledermäusen im Ultraschall-Bereich, der eine Lokalisation sowohl nach Richtung als auch Entfernung erlaubt. Optische Systeme schätzen die Entfernung von Gegenständen durch Stereoskopie, Akkommodation und Größenvergleich mit bekannten Körpern. Die wahrgenommene Lautstärke eines bekannten Signals ermöglicht eine ungefähre Abschätzung der Entfernung der Schallquelle.

4.3 *Idiothetische Orientierung*

Zu erwähnen wäre schließlich noch die sogenannte idiothetische Orientierung, die allein auf der Erregung innerer Propriozeptoren beruht, welche die Eigenbewegungen des Organismus und seiner Teile registrieren. Spinnen können mit Hilfe dieses Verfahrens die Richtungsänderungen während langer zurückgelegter Wegstrecken integrieren und auf diese Weise sicher zum Ausgangsort zurückfinden. Wie vergleichsweise schwach entwickelt diese Fähigkeit beim Menschen ist, wird einem leicht bewusst, wenn man versucht, in einem absolut dunklen Raum nur geradeaus zu gehen.

4.4 *Indirekte Orientierung*

Bevor wir uns mit den komplexesten Formen der Orientierung befassen, soll der Vollständigkeit halber noch eine Strategie erwähnt werden, die auf indirekte Weise zum Ziel führt, folglich als indirekte Orientierung bezeichnet werden kann und damit zum großen Bereich der Sekundär-Orientierung gerechnet wird. Dabei handelt es sich um ein Versuch-Irrtum-Verhalten, bei dem der Organismus in einem Reizgradienten entweder die Geschwindigkeit seiner Fortbewegung (Orthokinesis), z.B. bei Asseln, oder die Häufigkeit

von Wendungen (Klinokinesis) verändern, wie für Bakterien gezeigt. Eine ähnliche Form der indirekten Orientierung lässt sich an dem bekannten Pantoffeltierchen (Paramecium) beobachten, das in einem Reizgefälle von Zeit zu Zeit so genannte phobische Reaktionen, d. h. reizinduzierte Neuausrichtungen im Raum vornimmt. Auch die Anlockung von Spermien durch chemische Stoffe, die von dem zu befruchtenden Ei abgegeben werden, stellt eine indirekte Orientierung dar. Bei der Orientierung im Zielbereich kann eine Versuch-Irrtum-Strategie in Form von Suchschleifen auch bei höher entwickelten Lebewesen, z. B. Insekten, eine Rolle spielen.

4.5 Fernorientierung

Im Gegensatz zur Orientierung im Nahbereich, bei der die Reizquelle unmittelbar wahrgenommen oder ihre Richtung erschlossen wird und folglich eine direkte Bewegung auf sie zu oder von ihr weg erfolgen kann, hat die Evolution für die Fernorientierung komplexe Strategien hervorgebracht. Wenn das Ziel mit den Sinnesorganen nicht direkt auszumachen ist, werden ein Ortsgedächtnis, unter Umständen auch eine interne Zeitmessung (innere Uhr) und ein effizienter Vergleich von gespeicherter und jeweils aufgenommener Information für die Zielfindung unerlässlich.

4.5.1 Orientierung an Landmarken

Für die Orientierung an Landmarken, die bei verschiedenen Tierarten, sowohl Wirbellosen als auch Wirbeltieren, verbreitet ist und die für den Menschen zu allen Zeiten als die gängigste Form der Fernorientierung angesehen werden muss, ist neben der Aufnahme von Information über die Topographie der Umgebung ausschließlich eine genaue im Gedächtnis gespei-

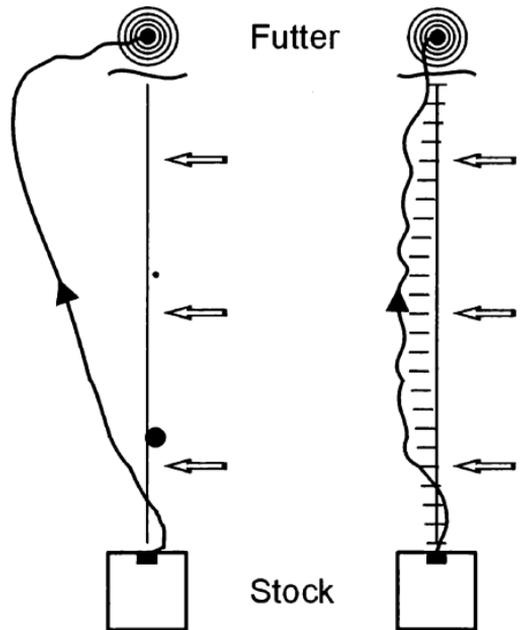


Abb.3: Orientierung einer Biene an der Struktur des Untergrunds.
a) Flugbahn über einer homogenen Wasserfläche bei Verdriftung durch den Wind.
b) an einer Lattenbrücke korrigierter Kurs
(aus Schöne, H., 1980).

cherte Ortsinformation notwendig. Es ist zu fragen, ob diese Information dabei als abstrakte Karte, d. h. als Projektion aus der Vogelschau oder als Abfolge bestimmter markanter Umweltmerkmale und -konstellationen abgespeichert wird.

Bienen, die möglichst geradlinig zum Futterplatz bzw. von diesem zurück zum Stock fliegen, können sich, wie die Abbildung 3 zeigt, gut an geradlinig angeordneten Wegmarken orientieren und so verbessert Kurs halten. Diese einfache und sichere Methode hat Zeitungsberichten zufolge 1987 auch der junge Sporfliieger Mathias Rust angewandt, der von Leningrad aus der Bahnlinie folgend sicher in Moskau gelandet ist. Untersuchungen an einer afrikanischen Wüstenameise haben gezeigt, dass nicht eine abstrakte Landkarte des Lebensraums im Gehirn dieser Insekten abgespeichert ist, sondern vielmehr die Abfolge von charakteristischen unregelmäßigen Strukturen längs des Weges (Wehner, R., 1983). Wenn der heutige Mensch sich auch vorwiegend mit Landkarten zurechtfindet, indem er quasi die Position eines Vogels einnimmt, scheint diese Art der Orientierung doch eher eine Kulturleistung zu sein. Die Erfahrungen, die wir täglich an uns selbst machen, deuten darauf hin, dass wir in vielen Fällen dem archaischen Beispiel der Ameise folgen und uns den Weg an markanten Merkmalen einprägen. Damit hängt auch zusammen, dass es viel leichter ist, sich in einer unregelmäßigen Umgebung zurechtzufinden als in einer einheitlichen oder geometrisch streng strukturierten.

4.5.2 Kompassorientierung

Wenn das Magnetfeld der Erde oder die Stellung der Gestirne für die Orientierung verwendet wird, sprechen wir von Kompassorientierung. Manche Insekten und Vögel, die Magnetfelder wahrnehmen können, verwenden diese Sinnesmodalität, von der wir noch nicht mit Sicherheit wissen, welches die entsprechenden Rezeptoren sind und wo sie im Körper lokalisiert sind. Zwar hat das Erdmagnetfeld keinen tageszeitlichen Gang und eine Zeitkorrektur ist daher nicht nötig, doch erfordert eine Wanderung über längere Wegstrecken ein gutes Gedächtnis für die einzuhaltenden Winkel und ein Integrationsvermögen für die zurückgelegten Strecken.

Anders sind die Voraussetzungen für die Kompassorientierung nach dem Sonnenstand oder den Sternen. Für Bienen, Ameisen, Vögel und andere Tierarten ist nachgewiesen, dass sie sich am Stand der Gestirne orientieren. Im Falle der Insekten reicht bei verdeckter Sonne sogar ein Stück blauen Himmels aus, um am Polarisationsmuster des Himmelslichts den Sonnenstand zu erkennen (Wehner, R., 1983). Bei der Sternorientierung spielt vermutlich die Konstellation um den Nordpol des Himmels (Polarstern) eine wichtige Rolle. Der

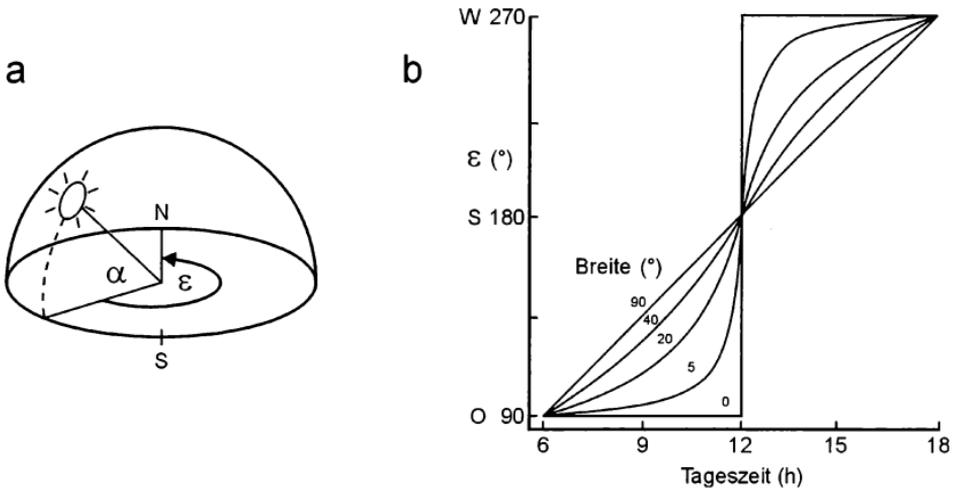


Abb. 4: a) Sonnenhöhe (α) und Azimut (ϵ). b) Sonnenazimut auf der nördlichen Halbkugel in Abhängigkeit von der Tageszeit und der geographischen Breite (nach Schöne, H., 1980)

tages- und auch jahreszeitliche Gang der Sonnenhöhe und des Azimuts machen allerdings eine ständige Zeitkorrektur nötig (Abb. 4). Hinzu kommt die Korrektur, die notwendig wird, wenn Vögel eine größere Anzahl von Breitengraden durchfliegen. Sie wird mit Hilfe einer „inneren Uhr“ vorgenommen. Das Gleiche gilt für die Korrektur des Ganges der Sterne. In den meisten Fällen ist die Kompassorientierung mit der nach Landmarken kombiniert. Man spricht daher auch von einer Orientierung „nach Karte und Kompass“.

Die Kompassorientierung war vermutlich für den Menschen in vortechnischer Zeit ohne größere Bedeutung. Die zu überwindenden Distanzen waren verhältnismäßig gering; Landmarken sind dabei weitaus präzisere Orientierungsmerkmale, doch wird, wo solche fehlten, der Sonnenstand zur groben Richtungsfindung beigetragen haben. Für eine exakte Zielbestimmung mit Hilfe des Sonnenkompasses genügt die Genauigkeit der inneren Uhr des Menschen nicht.

Eine interessante Ausnahme findet man bei den Ureinwohnern Polynesiens, die bereits vor vielen tausend Jahren mehrtägige Bootsfahrten über das offene Meer zu entfernten Inseln unternahmen (zit. nach Wehner, R. 1983). Dazu orientierten sie sich an bestimmten Sternen, die hintereinander in der gleichen Position unmittelbar über dem Horizont erscheinen oder verschwinden. Da diese Richtung von der Jahreszeit unabhängig ist und die Sterne in der Nähe des Äquators senkrecht zum Horizont auf- und untergehen, ihr Azimut also während der Nacht konstant bleibt, konnte sich ein

solcher Sternenkompas in diesen Breiten durch Erfahrung und Tradierung entwickeln. Eine ständige „Verrechnung“ der zurückgelegten Strecken und eingeschlagenen Richtungen war natürlich zusätzlich notwendig, und so muss diese Strategie bereits zur Navigation gerechnet werden.

4.5.3 *Navigation*

Der Begriff *Navigation* stammt ursprünglich aus der Schifffahrt; wegen der grundlegenden Ähnlichkeit der Strategie wird er ebenso im Flugverkehr verwendet. Bei der *Navigation* handelt es sich um eine Kombination verschiedener Methoden, also eine multimodale Orientierung. Sie erfordert ständige Positions- und Kursbestimmungen und eine Verrechnung der zurückgelegten Wegstrecken. Je nachdem, ob dafür als Bezugssystem die Erde oder der Himmel verwendet werden, spricht man von terrestrischer oder astronomischer *Navigation*. Unter den Tieren verfügen vor allem Zugvögel über erstaunliche Fähigkeiten zur *Navigation*, die ihnen eine Orientierung über sehr große Entfernungen ermöglichen. Eine hohe Integrationsleistung zeigen Wüstenameisen bei der Vektor-*Navigation* mit Hilfe des Sonnenstandes (Wehner, R., 1983). Dem Menschen ist diese Fähigkeit nicht angeboren. Ohne Kenntnis der Sonnenbahn, des Standes der Sterne und ihrer Abhängigkeit von Tages-, Jahreszeit und geographischer Breite und ohne sphärische Trigonometrie ist der Mensch nicht fähig zu navigieren. Es werden wenigstens ein Chronometer, ein Sextant und Tabellen, aus denen die Koordinaten der Gestirne ersichtlich sind, benötigt. Wir müssen die Fähigkeit des Menschen zur *Navigation* also bereits als kulturelle Leistung betrachten.

5. Erweiterung der menschlichen Orientierungsleistungen durch Technik

Das Beispiel der *Navigation* zeigt bereits: Kulturevolution und Technikentwicklung vergrößern den Handlungsraum des Menschen. Daraus wiederum ergibt sich vice versa die Notwendigkeit zu verbesserten und erweiterten Orientierungsmethoden. Der technische Fortschritt schafft empfindlichere und präzisere Messgeräte und damit wieder neue Orientierungsstrategien und Handlungsräume. Neben der Erweiterung der Sensorik, die uns verschiedene Reizmodalitäten überhaupt erst erschließen, konnte die Empfindlichkeit für andere durch technische Detektoren zum Teil stark erhöht werden (vgl. Abschnitt 3). Ganz wesentlich haben immer genauere Chronometer, die unsere wenig zuverlässige innere Uhr ersetzen, zur Ausweitung und Verbesserung der Orientierungsmöglichkeiten beigetragen. Heute schließlich ersetzen Elektronenrechner und Magnetspeicher in vielen Fällen unser

Gedächtnis und gewährleisten eine schnelle und effiziente Informationsverarbeitung, die für nahezu alle Orientierungsstrategien wichtig ist.

Ultraschall wird in „SONAR“-Systemen (sound navigation and ranging) für die Echoortung von Gegenständen unter Wasser verwendet, Radar übernimmt diese Aufgabe in der Luft. Über Laufzeitmessungen lassen sich mit diesen Mitteln auch die Entfernungen der Gegenstände bestimmen.

Eine interessante technische Lösung, die der idiothetischen Orientierung ähnelt, stellt die „Trägheitsnavigation“ dar, die unter dem Kürzel INS (inertial navigation system) seit 1956 in der Luft- und Raumfahrt eingesetzt wird. Sie beruht auf der Beschleunigung von 3 Massen und einer computer-gestützten Integration der erfolgten Bewegungen.

Die Orientierung nach Landmarken wurde wesentlich verbessert durch die Einführung von Land- und Seekarten, also abstrakter Projektionen aus der Vogelschau. Zusätzlich wurden für die Schifffahrt künstliche Landmarken, Leuchttürme oder -feuer sowie Seetonnen eingeführt.

Da der Mensch von Natur aus keinen Sinn für die Wahrnehmung von Magnetfeldern hat, stellt die Einführung des Magnetkompasses (in Europa Ende des 12. Jhds.) einen Meilenstein für die Orientierung dar. Kompass wurden seitdem ständig verbessert bis hin zur Erfindung des Kreiselkompasses 1904.

Eine zuverlässige Navigation ist dem Menschen, wie schon erwähnt, erst mit Hilfe des Sextanten, genauer Chronometer (Schiffschronometer seit ca. 1675) und astronomischer (nautischer) Tabellen (seit ca. 1600) möglich. Diese Form der Orientierung stellt also ausschließlich ein Produkt der kulturellen, d. h. technischen Entwicklung dar. Im 20. Jhd. wurde die Navigation durch Funkpeilung, Radar und ab 1967 durch Satelliten wesentlich verbessert.

Zu den leistungsfähigsten Navigationssystemen gehört das NAVSTAR/GPS (navigation system with time and ranging/global positioning system), welches bei Verwendung von 2 Sendern eine Genauigkeit der Positionsbestimmung von 10 cm auf 1000 km Entfernung erlaubt. Nach dem Doppler-Prinzip funktioniert das durch 6 Satelliten gestützte Navigationssystem TRANSIT mit einer Genauigkeit von 200 m. Der „Autopilot“, ein automatisches System zur Orientierung und Steuerung von Flugkörpern, ist geeignet, den Menschen zeitweilig oder ganz zu ersetzen.

Nicht erörtert wurden in dieser Übersicht die technischen Verkehrsmittel, deren Entwicklung in enger Wechselwirkung mit den Orientierungsstrategien neue Räume erschlossen und eine immer größere Geschwindigkeit der Fortbewegung gebracht haben.

6. Orientierung und technische Evolution

Verglichen mit den herausragenden Leistungen verschiedener Tiere sind unsere biologischen, d. h. angeborenen Fähigkeiten des Menschen zur räumlichen Orientierung eher mittelmäßig. Dies betrifft alle funktionellen Komponenten, die für die Orientierung notwendig sind, also sensorische Ausstattung, Integrationsfähigkeit, Gedächtnis und innere Uhr und damit auch die Orientierungsstrategien. Spitzenleistungen bei der Orientierung von Tieren sind allerdings meist auf eine oder wenige Reizmodalitäten beschränkt. Die biologische Ausstattung des Menschen ist, wie nicht anders zu erwarten, seinem Handlungsraum in der vortechnischen Zeit angemessen, ein evolutionärer Kompromiss also. Die verstärkte Mobilität und die Erweiterung seiner Orientierungsleistungen durch technische Hilfsmittel fördern sich wechselseitig und führen zu immer komplexeren Entwicklungsstufen innerhalb der kulturellen Evolution. Fast alle technischen Lösungen sind den biologischen, die wir bei Tieren vorfinden, überlegen.

Dank. Frau Anita Eckert und Herrn Hans-Dieter Grammig danke ich für die Herstellung des Satzatzes und der Abbildungen.

LITERATUR

- Brockhaus Enzyklopädie (1991) Mannheim
- GARDNER, J.W., BARTLETT, P.N., DODD, G.H., and SHURMER, H.V. (1990) The Design of an Artificial Olfactory System. In: D. Schild (Ed.): Chemosensory Information Processing. 131-173, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg
- HILDEBRAND, E. (2001) Die zunehmende wechselseitige Abhängigkeit von Naturwissenschaft und Technik. Ein Beispiel für kulturelle Koevolution. In: M. Liedtke (Hrsg.): Kulturwandel, 30-53, austria medien service, Graz
- v. HOLST, E. (1950) Die Tätigkeit des Statolithenapparats im Wirbeltierlabyrinth. Naturwissenschaften 17, 265-272
- SCIÖNE, H. (1980) Orientierung im Raum, Wiss. Verlagsges., Stuttgart
- STEIN, W. (1993) Der große Kulturfahrplan, Herbig, München, Berlin
- WEINER, R. (1983) Celestial und Terrestrial Navigation: Human Strategies - Insect Strategies. In: F. Huber und H. Markl (Eds.): Neuroethology and Behavioral Physiology. 367-381, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Matreier Gespräche - Schriftenreihe der
Forschungsgemeinschaft Wilheminenberg](#)

Jahr/Year: 2002

Band/Volume: [2002](#)

Autor(en)/Author(s): Hildebrand Eilo

Artikel/Article: [Technische Erweiterung unserer biologischen
Orientierungsleistungen 94-105](#)