

A sepia-toned photograph showing a person's hands holding a clear plastic bag. A dog's head is in the foreground, sniffing the bag. The background is a blurred outdoor setting.

Angelika Wolf

Untersuchung des Einflusses der Alterung  
menschlicher Geruchsspuren auf die  
Ausarbeitung der Fährten durch  
Personensuchhunde

Dissertation  
Tierärztliche Hochschule Hannover





## **Bibliografische Informationen der Deutschen Bibliothek**

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der  
Deutschen Nationalbibliografie;  
Detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

1. Auflage 2016

© 2016 by Verlag: **Deutsche Veterinärmedizinische Gesellschaft Service GmbH**,  
Gießen  
Printed in Germany

ISBN 978-3-86345-323-7

Verlag: DVG Service GmbH  
Friedrichstraße 17  
35392 Gießen  
0641/24466  
[info@dvf.de](mailto:info@dvf.de)  
[www.dvf.de](http://www.dvf.de)

© Einbandfoto: Gabriele Metz. Mit freundlicher Genehmigung.

Tierärztliche Hochschule Hannover

**Untersuchung des Einflusses der Alterung  
menschlicher Geruchsspuren auf die Ausarbeitung  
der Fährten durch Personensuchhunde**

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung des Grades einer Doktorin der Veterinärmedizin  
– Doctor medicinae veterinariae –  
(Dr. med. vet.)

vorgelegt von  
**Angelika Wolf**  
Königstein

Hannover 2016

Wissenschaftliche Betreuung: Univ.-Prof. Dr. H. Hackbarth  
Institut für Tierschutz und Verhalten  
(Heim-, Labortiere und Pferde)  
Tierärztliche Hochschule Hannover

1. Gutachter: Univ.-Prof. Dr. Hansjoachim Hackbarth  
2. Gutachter: PD Dr. Karl-Heinz Esser

Tag der mündlichen Prüfung: 03. Mai 2016

*„Und er roch nicht nur die Gesamtheit dieses Duftgemenges, sondern er spaltete es analytisch auf in seine kleinsten und entferntesten Teile und Teilchen. Seine Nase entwirrte das Knäuel aus Dunst und Gestank zu einzelnen Fäden von Grundgerüchen, die nicht mehr weiter zerlegbar waren.“*

*(SÜSKIND, 1985)*

**Für Heiko  
und für meine Eltern**





---

# Inhaltsverzeichnis

<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS</b> .....	<b>XI</b>
<b>TABELLENVERZEICHNIS</b> .....	<b>XIII</b>
<b>1 EINLEITUNG</b> .....	<b>1</b>
<b>2 STAND DER FORSCHUNG – LITERATUR</b> .....	<b>7</b>
<b>2.1 Neuro-anatomische, histologische und genetische Grundlagen</b> _____	<b>7</b>
2.1.1 Das Riechorgan des Hundes .....	8
2.1.1.1 Äußere Nase .....	9
2.1.1.2 Nasenhöhle und Nasennebenhöhle .....	10
2.1.1.3 Schleimhäute der Nasenhöhlen .....	12
2.1.1.4 Geruchsrezeptoren und ihre Gene .....	16
2.1.1.5 Vomeronasalorgan .....	19
2.1.2 Die weiterleitenden Nerven .....	20
2.1.2.1 Nervus olfactorius und Nervus vomeronasalis .....	20
2.1.2.2 Nervus trigeminus .....	21
2.1.3 Das Empfangsorgan (Großhirn) .....	22
2.1.3.1 Überblick .....	22
2.1.3.2 Riechkolben und akzessorischer Riechkolben .....	24
<b>2.2 Physiologische und fluiddynamische Grundlagen – Wie funktioniert Riechen?</b> _____	<b>26</b>
2.2.1 Was ist Geruch? .....	26
2.2.2 Informationswahrnehmung .....	27
2.2.2.1 Schnüffeln .....	28
2.2.2.2 Externe Aerodynamik während des Riechvorgangs .....	30

# Inhaltsverzeichnis

---

2.2.2.3	Interne Fluidodynamik.....	33
2.2.2.4	Geruchsstoffaufnahme und Weiterleitung der Geruchsinformation.....	37
2.2.3	Informationsverarbeitung.....	39
2.2.4	Adaptation .....	42
<b>2.3</b>	<b>Forschung zum menschlichen Geruch .....</b>	<b>44</b>
2.3.1	Individualgeruch – Produktion und Zusammensetzung.....	45
2.3.1.1	Major-Histokompatibilitäts-Komplex (MHC).....	47
2.3.1.2	Zusammenhang zwischen menschlicher Haut und Individualgeruch ..	50
2.3.1.3	Chemische Zusammensetzung menschlichen Geruchs – VOCs.....	53
2.3.1.4	Menschlicher Geruch von verschiedenen Körperstellen .....	54
2.3.2	Abgabe an die Umwelt und Verteilung in der Umwelt .....	57
2.3.2.1	Körperluftstrom.....	58
2.3.2.2	Aerodynamische Nachlaufströmung .....	59
2.3.2.3	Beeinflussung der Geruchsspuren durch natürliche Bedingungen.....	60
2.3.3	Probenentnahme menschlichen Geruchs – Geruchssammlung .....	65
2.3.4	Persistenz und Stabilität menschlichen Geruchs .....	67
2.3.4.1	Stabilität und Überlebensfähigkeit nach besonderen Einwirkungen....	67
2.3.4.2	Haltbarkeit und Stabilität über die Zeit .....	68
2.3.4.3	Zusammenfassung zu Persistenz und Stabilität.....	72
<b>2.4</b>	<b>Forschung zur Riechleistung des Hundes .....</b>	<b>72</b>
2.4.1	Detektion im Zusammenhang mit menschlichem Geruch .....	74
2.4.2	Diskriminierung im Zusammenhang mit menschlichem Geruch.....	75
2.4.2.1	Diskriminierungsfähigkeit von Geruch verschiedener Körperstellen ...	75
2.4.2.2	Diskriminierungsfähigkeit von Geruch verschiedenen Alters .....	78
2.4.2.3	Diskriminierungsfähigkeit beim Verfolgen einer Spur.....	79
2.4.2.4	Diskriminierungsfähigkeit des Geruchs von Zwillingen .....	83
2.4.3	Die Riechleistung beeinflussende Faktoren .....	86
2.4.4	Zusammenfassung zur Riechleistung des Hundes .....	89

<b>3</b>	<b>TIERE, MATERIAL UND METHODE .....</b>	<b>93</b>
<b>3.1</b>	<b>Die Hunde .....</b>	<b>93</b>
<b>3.2</b>	<b>Die Personen .....</b>	<b>94</b>
3.2.1	Hundeführer .....	94
3.2.2	Läufer .....	94
<b>3.3</b>	<b>Sammlung, Lagerung und Präsentation des Geruchs .....</b>	<b>95</b>
3.3.1	Geruchsträger und Sammlung der Geruchsprobe .....	95
3.3.2	Lagerung der Geruchsprobe .....	96
3.3.3	Präsentation der Geruchsprobe .....	96
<b>3.4</b>	<b>Die Fährten .....</b>	<b>96</b>
3.4.1	Örtlichkeit, Fährtenumgebung und Fährtenuntergrund.....	96
3.4.2	Fährtenalter, Fährtenlänge und Fährtenverlauf .....	97
3.4.3	Suchvorbereitungen, Verblindung und Pausen .....	98
<b>3.5</b>	<b>Datenerhebung und Dokumentation .....</b>	<b>100</b>
3.5.1	Fährtendokumentation .....	100
3.5.2	Dokumentation von Randbedingungen .....	101
<b>3.6</b>	<b>Fragestellungen .....</b>	<b>102</b>
<b>3.7</b>	<b>Bewertungssystematik .....</b>	<b>103</b>
3.7.1	Erfolg.....	103
3.7.1.1	Spurlaufen.....	103
3.7.1.2	Spurlaufen trotz Abweichung .....	104
3.7.1.3	Hochwitterung .....	105
3.7.2	Misserfolg.....	105
<b>3.8</b>	<b>Statistische Auswertung .....</b>	<b>106</b>

# Inhaltsverzeichnis

---

<b>4</b>	<b>ERGEBNISSE</b> .....	<b>107</b>
<b>4.1</b>	<b>Die Hunde</b> .....	<b>107</b>
<b>4.2</b>	<b>Die Personen</b> .....	<b>108</b>
4.2.1	Hundeführer .....	108
4.2.2	Läufer .....	108
<b>4.3</b>	<b>Die Fährten</b> .....	<b>109</b>
4.3.1	Fährtenanzahl und Fährtenalter .....	109
4.3.2	Fährtenbeispiele entsprechend der Bewertungssystematik .....	110
<b>4.4</b>	<b>Erfolg und Misserfolg in Abhängigkeit vom Fährtenalter</b> .....	<b>115</b>
<b>4.5</b>	<b>Prozentuale Häufigkeit richtig getroffener Entscheidungen</b> .....	<b>119</b>
<b>4.6</b>	<b>Erfolgsfährten in Abhängigkeit von Spurlaufen und Hochwitterung</b> ..	<b>125</b>
<b>4.7</b>	<b>Erfolg und Misserfolg in Abhängigkeit von der Umgebung</b> .....	<b>126</b>
<b>5</b>	<b>DISKUSSION</b> .....	<b>133</b>
<b>5.1</b>	<b>Ursprüngliche Planung und tatsächlicher Verlauf</b> .....	<b>133</b>
<b>5.2</b>	<b>Material und Methode</b> .....	<b>135</b>
5.2.1	Hunde.....	135
5.2.2	Hundeführer .....	136
5.2.3	Läufer .....	137
5.2.4	Sammlung, Lagerung und Präsentation der Geruchsproben .....	141
5.2.5	Die Fährten .....	143
5.2.5.1	Örtlichkeit .....	144
5.2.5.2	Fährtenalter, Fährtenuntergrund, Fährtenlänge und Fährtenverlauf ..	144
5.2.5.3	Verblindung .....	149
5.2.6	Fragestellungen.....	151
5.2.7	Bewertungssystematik .....	152

<b>5.3</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>158</b>
5.3.1	Erfolg und Misserfolg in Abhängigkeit vom Fährtenalter .....	158
5.3.2	Prozentuale Häufigkeit richtig getroffener Entscheidungen .....	166
5.3.3	Erfolgsfährten in Abhängigkeit von Spurlaufen und Hochwitterung .....	170
5.3.4	Erfolg und Misserfolg in Abhängigkeit von der Umgebung .....	178
5.3.5	Einfluss der Windgeschwindigkeit .....	181
<b>5.4</b>	<b>Schlussfolgerung</b>	<b>186</b>
<b>6</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG</b> .....	<b>191</b>
<b>7</b>	<b>SUMMARY</b> .....	<b>193</b>
	<b>LITERATURVERZEICHNIS</b> .....	<b>197</b>
	<b>ANHANG</b> .....	<b>221</b>
	<b>Anhang 1: Beaufort Skala</b> .....	<b>222</b>
	<b>Anhang 2: Poster IWDBA</b> .....	<b>223</b>
	<b>DANKSAGUNG</b> .....	<b>225</b>



---

# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Beispiele für die Bewertungssystematik „Spurlaufen“.	111
Abbildung 2: Beispiele für die Bewertungssystematik „Spurlaufen trotz Abweichungen“.	112
Abbildung 3: Beispiele für die Bewertungssystematik „Hochwitterung“.	113
Abbildung 4: Beispiele für die Bewertungssystematik „Misserfolg“.	114
Abbildung 5: Erfolg und Misserfolg aller Fährten in Abhängigkeit vom Fährtenalter.	116
Abbildung 6: Erfolg und Misserfolg ausgewählter Fährten in Abhängigkeit vom Fährtenalter.	118
Abbildung 7: Erfolg und Misserfolg aller Fährten in Abhängigkeit der richtig getroffenen Entscheidungen (%) während des Fährtenverlaufs.	120
Abbildung 8: Erfolg und Misserfolg (%) aller Fährten in Abhängigkeit der richtig getroffenen Entscheidungen (%)	121
Abbildung 9: Erfolg und Misserfolg der Fährten verschiedener Fährtenalter in Abhängigkeit der richtig getroffenen Entscheidungen (%).	122
Abbildung 10: Vergleich gefundener Fährten (%) verschiedener Fährtenalter in Abhängigkeit richtig getroffener Entscheidungen (%)	124
Abbildung 11: Erfolgsfährten in Abhängigkeit von Spurlaufen und Hochwitterung.	126
Abbildung 12: Erfolg und Misserfolg aller gesuchten Fährten in Abhängigkeit vom Untergrund.	127
Abbildung 13: Erfolg/Misserfolg in Abhängigkeit von der Umgebung, aufgeschlüsselt nach Fährtenalter.	129
Abbildung 14: Erfolg/Misserfolg (%) in Abhängigkeit von der Umgebung, aufgeschlüsselt nach Fährtenalter.	130
Abbildung 15: Vergleich erfolgreicher Natur- und Stadtfährten in Abhängigkeit von Hochwitterung und Spur.	131





# Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Ursprünglich geplante Suchen pro Hund. _____	97
Tabelle 2: Tatsächlich durchgeführte Suchen pro Hund _____	109
Tabelle 3: Verteilung der Anzahl gesuchter Fährten auf die Anzahl der Hunde ____	109
Tabelle 4: Verteilung der insgesamt 145 Fährten auf Tages- Wochen- und Monatsfährten, aufgeschlüsselt nach Erfolg (+) und Misserfolg (-). ____	116
Tabelle 5: Absolute Zahlen der gefundenen und nicht gefundenen Fährten in Natur und Stadt. _____	128
Tabelle 6: Vergleich erfolgreicher Natur- und Stadtfährten in Abhängigkeit von Hochwitterung und Spur in absoluten Zahlen. _____	131



---

# 1 Einleitung

*"I once tried an experiment with a terrier of my own, which shows better than anything that I have ever read, the almost supernatural capabilities of smell in dogs. On a Bank holiday, when the Broad Walk in Regent's park was swarming with people of all kinds, walking in all directions, I took my terrier (which I knew had a splendid nose, and could track me for miles) along the walk, and, when his attention was diverted by a strange dog, I suddenly made a number of zigzags across the Broad walk, then stood on a seat, and watched the terrier. Finding I had not continued in the direction I was going when he left me, he went to the place where he had last seen me, and there, picking up my scent, tracked my footsteps over all the zigzags I had made, until he found me. Now, in order to do this, he had to distinguish my trail from at least a hundred others quite as fresh, and many thousands of the others not so fresh, crossing it at all angles."*

(ROMANES, 1887)

Aufgrund ihrer olfaktorischen Fähigkeiten werden Hunde schon seit sehr langer Zeit vom Menschen für viele Arbeitsaufgaben genutzt, bei denen es um das Aufspüren, Verfolgen und Differenzieren von Geruch sowohl in Bezug auf nicht biologische als auch in Bezug auf biologische Gerüche (BROWNE et al., 2006) geht.

Als einer der ersten Aufgaben ist hier sicher die allgemein bekannte, unterstützende Tätigkeit bei der Jagd zu nennen, wo der Hund zum Aufspüren von Wild sowie dem Verfolgen des verletzten, angeschossenen Wildes bis heute eingesetzt wird.

Aber auch bei der Vermisstensuche als Flächen-, Trümmer- und Lawinenhund (FENTON, 1992) oder beim Auffinden illegaler Stoffe (Kokain, Heroin, Ecstasy, etc.)

## Einleitung

---

als Drogenspürhund (LORENZO et al., 2003; MACIAS & FURTON, 2011; JEZIERSKI et al., 2014) bzw. beim Aufspüren von Leichen bzw. Leichenteilen als Leichenspür- bzw. HRD-Hund<sup>1</sup> (KOMAR, 1999; LASSETER et al., 2003; OESTERHELWEG et al., 2008; CABLK & SAGEBIEL, 2011; DEGREEFF et al., 2012) werden sie verwendet.

Der Hund dient als Hilfswerkzeug beim Aufspüren von Landminen und anderen explosiven Stoffen (FURTON & MYERS, 2001; GAZIT et al., 2003; 2005 a, b; GAZIT & TERKEL, 2003 a, b) sowie Brandmitteln (KURZ et al., 1996).

Noch recht jung sind die Disziplinen als Diagnostikhilfsmittel, z. B. zur frühzeitigen Krebserkennung (JEZIERSKI et al., 2009). Ebenso, z. T. noch in der „Erprobung“, werden seit kurzem Hunde als Detektoren zum Auffinden bedrohter Tierarten (CABLK et al., 2008), zum Aufspüren von Bettwanzen (COOPER et al., 2014) sowie als Hilfsmittel in der Reproduktionsmedizin beim Erkennen des Östrusgeruchs der Kuh (FISCHER-TENHAGEN et al., 2011; 2015) oder als Detektoren von verstecktem Rost, z. B. bei Gasleitungsrohren (SCHOON et al., 2014), genutzt.

Bei seiner Verwendung an Tatorten hat der Hund gleich mehrere Aufgaben, soll er doch bei der Verfolgung und Identifizierung von Tätern (SCHOON & HAAK, 2002; ENSMINGER et al., 2010; ENSMINGER, 2012) behilflich sein oder bei der Entscheidung, ob eine bestimmte Person am Tatort war (LANDGERICHT NÜRNBERG, 2012; SEYDEL, 2014) sowie bei der Fluchtwegrekonstruktion (MÖBIUS, 2014).

Schon ROMANES (1887) hat die „übernatürliche“ Riechfähigkeit des Hundes bewundert und seine Fähigkeit, Menschen aufgrund ihres Geruchs zu unterscheiden, beobachtet, dokumentiert und daraus geschlossen, dass jeder Mensch einen einzigartigen, individuellen Geruch haben muss.

Die Verwendung von Hunden zur Diskriminierung, um menschlichen Geruch für strafrechtliche Ermittlungen aufzuspüren und zu verfolgen, ist eben durch diese Idee begründet: Jeder Mensch besitzt einen charakteristischen, individuellen Geruch, den

---

<sup>1</sup> HRD = Human Remains Detection, ein HRD-Hund ist ein Hund, der menschliche Überreste aufspürt.

er an jedem Ort, Weg oder Objekt, an dem er sich befindet, entlang geht oder in Kontakt kommt, hinterlässt (PRADA & FURTON, 2008) und der über die Zeit relativ stabil ist (CURRAN et al., 2010 b).

Seit dem frühen zwanzigsten Jahrhundert werden Hunde genutzt, um Personen aufgrund ihres Geruchs zu finden und zu identifizieren (SCHOON et al., 2009). Dabei nutzen Personenspürhunde menschlichen Geruch im Wesentlichen als eine biometrische Messeinheit (CURRAN et al., 2005 a).

Die Nutzung von Hunden in diesem Bereich ist jedoch keine wissenschaftliche Methode und stützt sich weitgehend auf die geruchliche Fähigkeit. Entsprechend ist das Verfahren durch die unterschiedliche Wahrnehmung des menschlichen Geruchs durch den Hund sehr subjektiv und birgt Risiken von Fehlentscheidungen (RAJAN et al., 2013).

Schon vor 100 Jahren wurde in den USA diskutiert, ob aufgrund der hohen Fehlerquote Beweise, die durch Hunde erbracht wurden, in einem Strafverfahren Bestand haben sollten (PRADA & FURTON, 2008).

In jüngster Zeit kommen diese Diskussionen wieder auf und auch in Deutschland ist der Meinungsstreit entfacht. Zum einen, weil hier erst seit einigen Jahren der Hund zur Diskriminierung und Verfolgung menschlichen Geruchs wiederentdeckt wurde und zum anderen, weil durch teilweise sehr fragwürdige Einsätze, in Bezug auf Distanzen, Alter der Fährten und über Autobahnen hinweg, stattgefunden haben.

Zu Recht stellt sich die Frage nach der Eignung in Bezug auf Einsatztauglichkeit, Ausbildung, Erfahrung sowohl von Hunden als auch von Hundeführern und auch nach wissenschaftlicher Untermauerung, insbesondere was die Zuverlässigkeit bei zunehmender Alterung der Fährte betrifft.

Gerade in Ermittlungsverfahren von Polizei und Staatsanwaltschaft oder auch in Gerichtsverfahren sind reproduzierbare Ergebnisse unverzichtbar; der „Glaube“ an die außerordentliche Leistungsfähigkeit von Hunden stellt sicher keine geeignete Grundlage für exakte Ermittlungsergebnisse dar (PÜSCHEL, 2014).

## Einleitung

---

Es ist unumstritten, dass Hunde eine hochentwickelte Fähigkeit besitzen, Geruchsmoleküle zu erkennen und zu identifizieren, auch bei geringen Konzentrationen (QUIGNON et al., 2005). Außerdem ist es unwahrscheinlich, dass die Geruchssensitivität, -selektivität und -erinnerung des Hundes sowie seine Fähigkeit für Geruchsmustererkennung zukünftig durch künstliche Geruchssensoren herausgefordert oder ersetzt werden kann (SETTLE et al., 1994). Umso wichtiger ist eine wissenschaftliche Herangehensweise an die Riechleistung von Hunden (PÜSCHEL, 2014) und die Erarbeitung eines Qualitätsstandards, damit auch Nichtfachleute den Leistungsstand eines Tieres richtig einschätzen können und der „Wildwuchs“<sup>2</sup> beendet wird (SCHÜLER, 2014).

In den letzten sechzig Jahren wurde die Fähigkeit von Hunden, menschlichen Geruch zu detektieren (KING et al., 1964), zu diskriminieren bzw. zu identifizieren (KALMUS, 1955; HEPPEL, 1988; SOMMERVILLE et al., 1990; BRISBIN & AUSTAD, 1991; SCHOON & DEBRUIN, 1994; SETTLE et al., 1994; STOCKHAM et al. 2004 b; SCHOON, 2005; CURRAN et al., 2010 a; PINC et al., 2011; JEZIERSKI et al., 2012) sowie aufzuspüren und zu verfolgen (HARVEY & HARVEY, 2003; HEPPEL & WELLS, 2005; HONHON, 1967, zitiert in ENSMINGER, 2012; MACKENZIE & SCHULTZ, 1987, STEEN & WILSSON, 1990; STOCKHAM et al., 2004 b; WELLS & HEPPEL, 2003), mehrfach erforscht.

Vier der Arbeiten (KING et al., 1964; HARVEY & HARVEY, 2003; STOCKHAM et al., 2004 b; SCHOON, 2005) untersuchten die Detektion bzw. Diskriminierung, Identifizierung gealterter menschlicher Geruchsproben durch Hunde. Die Untersuchung von STOCKHAM et al. (2004 b) beinhaltet auch das Aufspüren und kurze Verfolgen einer Spur unter kontrollierten Bedingungen.

---

<sup>2</sup> Aktuell ist es in Deutschland möglich, dass zu Einsätzen sowohl professionelle Personenspürhundeteams als auch solche von ehrenamtlichen Organisationen und auch Privatleute hinzugezogen werden können. Ohne hier eine Bewertung der Qualifikation der einzelnen Herkunftsrichtungen vorzunehmen, muss ganz allgemein festgestellt werden, dass diese sowohl von Hunden als auch von Hundeführern sehr unterschiedlich ist und teilweise erheblich auseinanderklafft. Das Gleiche trifft auf die Meinungen bezüglich der Leistungsfähigkeit eines Personenspürhundes zu, die zumeist auf persönlichen Erfahrungen und subjektiven Beurteilungen beruhen. Hinzu kommen die von Bundesland zu Bundesland, von Behörde zu Behörde und von Organisation zu Organisation (ehrenamtlich tätige Vereine auf dem Gebiet der Personenrettung) zum Teil sehr unterschiedlichen Leistungsüberprüfungsstandards. Letztlich kann ein Nichtfachmann die Leistung eines Suchteams nicht beurteilen.

Studien zur Stabilität menschlichen Geruchs sowohl unter chemischen, thermischen und mechanischen Einflüssen (CURRAN et al., 2010 a; STOCKHAM et al., 2004 b) als auch Laborforschungen in Bezug auf das Altern (Lagerung) menschlichen Geruchs (KUSANO et al., 2013) ergänzen obige Forschungen.

Der Fähigkeit und Zuverlässigkeit von Hunden, unter natürlichen Bedingungen gealterte menschliche Geruchsspuren aufzuspüren und zu verfolgen, wurde sich noch nicht gewidmet.

Die Frage „Was können Hunde in Bezug auf das Alter der Fährten wirklich leisten und was nicht?“ führt deshalb zwangsläufig zu Meinungsstreitigkeiten, die insbesondere im Rahmen polizeilicher Ermittlungen die Beweiskraft vor Gericht sehr beeinträchtigen.

Hier setzt die vorliegende Studie an. Ziel ist es, wissenschaftlich untermauerte Aussagen über die zuverlässige Suchleistung von Personensuchhunden in Bezug auf das Fährtenalter treffen zu können und eine Eingrenzung des Fährtenalters vorzunehmen, bei dem die Tiere unter natürlichen, einsatznahen Bedingungen noch zuverlässig eine Spur aufnehmen, verfolgen und zuordnen können. Damit stellt sie eine Erweiterung obiger Forschungsansätze dar und ist ein weiterer Schritt in der von PRADA und FURTON (2008) postulierten Notwendigkeit, bezüglich der Stabilität menschlichen Geruchs, der Individualität menschlichen Geruchs, der Angemessenheit von Zertifizierungsverfahren, aber auch der Ausbildungsmethoden und zuverlässigen Leistungsfähigkeit der Hunde, nach Antworten zu suchen.





---

## 2 Stand der Forschung – Literatur

*„Wissen nennen wir den Teil unserer Unwissenheit, den wir geordnet und klassifiziert haben“*

*(BIERCE, o. J., b)*

### 2.1 Neuro-anatomische, histologische und genetische Grundlagen

Die enorme Riechleistung des Hundes und seine Überlegenheit gegenüber dem Menschen wurde lange Zeit vor allem im anatomischen Aufbau gesehen. Als Begründung wurden insbesondere die Oberflächengröße des Riechepithels und die Größe des Riechkolbens genannt. Neuere Forschungen (QUIGNON et al., 2003; TACHER et al., 2005; OLENDER et al., 2004; ROBIN et al., 2009) kommen jedoch zu dem Schluss, dass zusätzlich die Dichte der Riechsinneszellen und die Anzahl der olfaktorischen Rezeptoren, die sie exprimieren, aber auch die Art der Rezeptoren für die Begründung der hundlichen Geruchsleistung zu berücksichtigen sind. Aus diesem Grund soll an dieser Stelle ein Überblick über die altbekannte sowie aktuelle neuro-anatomische Forschung zu diesem Thema gegeben werden.

GASSE (2010, 2011) nennt drei anatomische Systeme, die die strukturelle Grundlage für das Riechen bilden:

- das Riechorgan (hauptsächlich bestehend aus Nase und VNO<sup>3</sup>, die die Gerüche aufnehmen, sondieren und vorsortieren)
- die weiterleitenden Nerven (in der Hauptsache der Nervus olfactorius, Nervus vomeronasalis, aber auch der Nervus trigeminus)
- das Empfangsorgan (bestehend aus verschiedenen Strukturen des Gehirns, die für das bewusste (Wieder-) Erkennen von Gerüchen, die motivationale sowie emotionale Bewertung derselben und das Auslösen vegetativer wie auch hormoneller Effekte verantwortlich sind).

Im Folgenden sollen diese drei Systeme kurz und insoweit beschrieben werden, als es für das spätere Verständnis des Riechvorgangs von Bedeutung ist. Für eine ausführliche, detaillierte Beschreibung der neuro-anatomischen Verhältnisse sei auf die einschlägige Literatur verwiesen. Wenn nicht anders vermerkt, werden hier die anatomischen Verhältnisse auf der Grundlage von FREWEIN & VOLLMERHAUS (1994) vorgestellt.

### 2.1.1 Das Riechorgan des Hundes

*„Ein Irrtum, welcher sich leider allzu lange erhalten hat, war die Annahme, dass die Nase nur der Einatmung dient. Ein so einseitiges Organ ist die Nase nicht.“*

(LEIDERITZ, 1933)

Die Hundenase ist eine beeindruckende komplexe anatomische Struktur mit vielen funktionellen Aufgaben (CRAVEN et al., 2007). Es gibt zwei Hauptaufgaben: Das Atmen, im Rahmen dessen Luft erwärmt, gefiltert und der Lunge zugeführt wird, so-

---

<sup>3</sup> VON = Vomeronasalorgan = JAKOBSONsches Organ)

wie das Riechen, bei dem die eingeatmeten Geruchsmoleküle aufgenommen und weitergeleitet werden.

Auf diese beiden Hauptfunktionen ist die gesamte Nasenanatomie ausgerichtet.

Die Nase kann in die äußere Nase mit den Nasenflügeln und den Nasenlöchern und den inneren Teil, die Nasenhöhle, aufgeteilt werden. Letztere wird durch die Nasenscheidewand durchgängig in zwei bilateral symmetrische Atemwege geteilt und besteht aus drei anatomischen Bereichen: Nasenvorhof, respiratorische und olfaktorische Region (CRAVEN et al., 2007).

### **2.1.1.1 Äußere Nase**

„Die Nase ist der äußerste Vorposten im Gesicht.“

(BIERCE, o. J., a)

Die in den Gesichtsschädel einbezogene, und nur mit der Nasenspitze aus diesem herausragende, äußere Nase bildet mit der Oberlippe die Schnauze (FREWEIN & VOLLMERHAUS, 1994).

An der Nasenspitze befindet sich der von Haaren und Hautdrüsen freie Nasenspiegel mit den sehr kleinen, engen, fast schlitzförmigen Nasenlöchern. Die von außen zu sehende, nahezu runde Eingangsöffnung täuscht eine größere Weite der Nasenlöcher nur vor (FREWEIN & VOLLMERHAUS, 1994).

Begrenzt sind die Nasenlöcher durch die Nasenflügel, deren lateraler Teil geschlitzt ist. Der Schlitz ist unterhalb der wulstigen Flügelfalte gelegen und erstreckt sich dorso-lateral fast bis zum Rand des Nasenspiegels (FREWEIN & VOLLMERHAUS, 1994). Durch ein zugehöriges olfaktomotorisches System mit aufwendiger Muskulatur, können während des Riechens die Nasenflügel, und damit auch die Nasenlöcher, bewegt werden (SETTLES, 2005) und den Luftstrom beim Ein- und Ausatmen beeinflussen. Dies trifft sowohl auf die Durchflussrate und die Strömungsgeschwin-

digkeit als auch die Strömungsrichtung zu, was für den Vorgang des Riechens von großer Bedeutung ist (siehe auch Abschnitt 2.2.2.2 „Externe Aerodynamik während des Riechvorgangs“, S. 30).

### **2.1.1.2 Nasenhöhle und Nasennebenhöhle**

Die Nasenlöcher bilden den Eingang zur Nasenhöhle, die mit dem Nasenvorhof beginnt, der von kutaner Schleimhaut ausgekleidet ist. In ihn münden zum einen die Vorhofdrüsen, zum anderen die Ausgänge der Nasendrüsen und des Tränennasenganges, deren Sekrete sowohl den Nasenspiegel als auch die Schleimhaut des Vorhofes selbst feucht halten.

Die Funktionen von äußerer Nase und Nasenvorhof sind Einlass, Grobreinigung sowie Anwärmung und Befeuchtung der Atemluft. Zusätzlich übernimmt der Vorhof durch die – aufgrund seiner anatomischen Struktur – entstehenden Turbulenzen die Durchmischung der eingeatmeten Luft und deren Verteilung in die verschiedenen Nasengänge und gibt bei der Ausatmung die Richtung des Luftstroms vor. Beides wiederum sind für den Riechvorgang wichtige Aspekte (siehe auch die Abschnitte 2.2.2.1 „Schnüffeln“, S. 28 und 2.2.2.2 „Externe Aerodynamik während des Riechvorgangs“, S. 30).

Direkt an den Nasenvorhof schließt sich die restliche Nasenhöhle an, deren caudaler, dorsaler Abschnitt blind endet und den Nasengrund (NICKEL et al., 1992 a), die olfaktorische Region, darstellt. Diese Riechregion ist vom Nasopharyngeus durch eine knöcherne Platte, der Lamina transversa<sup>4</sup>, abgetrennt und bildet eine Art Recessus (CRAVEN et al., 2007). In diesem hinteren Abschnitt der Nasenhöhle entspringen am Siebbein (Ethmoid) die knöchernen Grundlagen für die Siebbeinmuscheln. Während die kleineren Siebbeinmuscheln (Endoturbinale III und IV und Ectoturbinale medialer und lateraler Reihe) im Nasengrund verbleiben, ragen die dorsale

---

<sup>4</sup> Die Lamina transversa wird durch die Lamina basalis des Siebbeins und dem Vomer gebildet.

und mediale Nasenmuschel (Endoturbinale I und II) in den mittleren Bereich der Nasenhöhle nach rostral hinein.

Die knöcherne Grundlage der ventralen Nasenmuschel hat keine Verbindung zum Ethmoid, sondern entstammt der Maxilla<sup>5</sup>. Sie ist die größte der drei großen Nasenmuscheln und füllt fast den gesamten Querschnitt der Nasenhöhle aus.

Allen Nasenmuscheln gemeinsam sind die mehr oder weniger aufgerollten Knochenlamellen, die Nebenbuchten und Nebenkammern bilden, denen gut durchblutete Schleimhaut aufliegt (GASSE, 2010; 2011). Während die ventrale Nasenmuschel mit respiratorischem Schleimhautepithel überzogen ist, liegt den Ethmoturbinaten olfaktorisches Sinnesepithel auf. Durch ihre komplizierten Verzweigungen und Aufrollungen bieten die Nasenmuscheln eine große Oberfläche für die Übertragung von Hitze, Feuchtigkeit und Geruchsstoffen (CRAVEN et al., 2007). Das trifft im Säugetiervergleich insbesondere auf den Hund zu (GASSE, 2010; 2011).

Ausgefüllt von den drei großen Nasenmuscheln gliedert sich der enge Raum der Nasenhöhle in den gemeinsamen, den oberen, den mittleren und den unteren Nasengang. Der gemeinsame Nasengang (Meatus nasi communis) reicht vom Nasendach bis zum Nasenboden und verläuft paramedian je zwischen dem Septum und den Nasenmuscheln. Von ihm aus sind die drei anderen Nasengänge erreichbar. Der obere Nasengang befindet sich zwischen dem Nasendach und der dorsalen Nasenmuschel. Der mittlere Nasengang liegt zwischen der dorsalen und ventralen Nasenmuschel. Er wird durch die sich von caudal vorschiebende mittlere Nasenmuschel in einen oberen und unteren Schenkel geteilt. Der ventrale Nasengang, auch Atemgang genannt, läuft dagegen auf dem Nasenboden, ventral der Nasenmuscheln, vom Nasenvorhof bis zum Nasen-Rachengang. Dieser wiederum befindet sich ventral des Siebbeins im kaudalen Teil der Nasenhöhle und führt die Atemluft über den Nasenrachen den Lungen zu. Der ventrale Nasengang kann sowohl bei der Inspiration als auch bei der Expiration genutzt werden.

---

<sup>5</sup> Daher stammt auch der Name Maxilloturbinate.

Die Nasennebenhöhlen beschränken sich beim Hund auf die drei benachbarten Stirnhöhlen und die Kieferbucht. Letztere stellt eine Ausbuchtung der Nasenhöhle dar. Ihr Zugang liegt im ventralen Schenkel des mittleren Nasenganges. Die Stirnhöhlen sind in eine rostrale, eine laterale und eine caudale Höhle aufgeteilt, schließen sich dorsocaudal dem Nasengrund an und verfügen jede über einen eigenen Zugang zum Nasengrund. Bei älteren Tieren können sich die kleinen Ethmoturbinaten in die vorderen Bereiche der Stirnhöhlen vorstülpen, die ansonsten leer sind (NICKEL et al., 1992 a; FREWEIN & VOLLMERHAUS, 1994; CRAVEN et al., 2007). Mit Ausnahme der vorgestülpten Nasenmuscheln, auf denen sich das Riechepithel befindet, sind die Nebenhöhlen mit respiratorischer Schleimhaut ausgekleidet.

### **2.1.1.3 Schleimhäute der Nasenhöhlen**

Die verschiedenen Regionen der Nasenhöhle sind mit unterschiedlichen Schleimhautepithelien ausgekleidet. Während man im Nasenvorhof Plattenepithel vorfindet, sind die Maxilloturbinate mit nicht-sensorischem Respirationsepithel und die Ethmoturbinaten mit sensorischem Riechepithel überzogen (CRAVEN et al., 2007). Im caudalen Teil des Vorhofes sowie im vorderen Bereich der Maxilloturbinate lässt sich außerdem Übergangsepithel nachweisen, was dem Wechsel vom einfachen Plattenepithel zum mehrreihigen säulenartigen respiratorischen Epithel dient (MYGLIND et al., 1982, zitiert nach CRAVEN et al., 2007). Der Übergang zum olfaktorischen Epithel ist dagegen noch nicht näher definiert (CRAVEN et al., 2007)<sup>6</sup>.

Entsprechend seiner Funktion (Atemluft anwärmen oder abkühlen, befeuchten und reinigen, u.a. durch Entfernen von Schwebeteilchen), besteht das Respirationsepithel aus einem mit Becherzellen durchsetztem mehrreihigen, hochprismatischen Epithel mit Flimmerbesatz und weist eine ca. 120 cm<sup>2</sup> (CRAVEN et al., 2007) große Oberfläche auf. Unter dem Epithel, in der Lamina propria, befinden sich reichhaltig Gefäße,

---

<sup>6</sup> Manche Autoren berichten aber von einer farblichen Veränderung der Riechschleimhaut ins Bräunliche, die als Übergangsmerkmal herangezogen werden kann (CRAVEN et al., 2007, 2009, 2010; LAWSON et al., 2012).

die zu einer erheblichen Verengung und Erweiterung in der Lage sind (FREWEIN & VOLLMERHAUS, 1994; CRAVEN et al., 2007). In der Schleimhaut des Nasenseptums befinden sich cavernöse Schwellkörper, die sich ausdehnen und so den respiratorischen Luftstrom regeln können; ist der Schwellkörper expandiert, blockt er den Luftstrom durch den unteren Nasengang und forciert den Luftweg durch die Maxilloturbinate (NICKEL et al., 1992 b; CRAVEN et al., 2007).

Das Riechepithel dagegen besteht aus einer pseudostratifizierten, säulenartigen Schichtung und ist darauf spezialisiert, Geruchsstoffe zu erkennen und die sensorischen Informationen direkt an das Gehirn weiterzuleiten (MORRISON & COSTANZO, 1992).

Das Epithel besteht aus drei Zelltypen: Riechzellen (OSN bzw. ORN)<sup>7</sup>, Basalzellen und Stützzellen.

Bei den ORNs handelt es sich um primäre bipolare<sup>8</sup> Neurone (MORRISON & COSTANZO, 1992; BUCK & BARGMANN, 2013) im mittleren bis unteren Epithelbereich. Sie haben einen runden Zelleib, einen großen Kern und viele Zellorganellen, was auf einen hohen Energiebedarf hindeutet. Apikal verläuft ein einzelner Dendrit vom Zellkörper zur Epitheloberfläche, sein Ende ist „knopfartig vorgewölbt“ (NICKEL et al., 1992 b) und trägt zahlreiche<sup>9</sup> dünne Zilien, die in den auf der Epitheloberfläche liegenden Schleim ragen (BUCK & BARGMANN, 2013). Auf der gegenüberliegenden, basalen Seite zieht ein unverzweigtes, markloses Axon (MOMBAERTS, 1999) durch die Basalschicht in die Lamina propria. Hier vereinigt es sich mit den Axonen der anderen Riechzellen zu größeren Bündeln, die den Riechnerv bilden.

Auf den Zilien werden die Rezeptoren exprimiert, die Geruchsstoffe erkennen und eine „Weiterleitungsmaschinerie“ (BUCK & BARGMANN, 2013) in Gang setzen, um

---

<sup>7</sup> Es handelt sich dabei um die Abkürzungen für Olfaktorisches Sensorneuron (OSN) bzw. Olfaktorisches Rezeptorneuron (ORN) als andere Begriffe für Riechsinneszellen.

<sup>8</sup> „Allerdings gibt es auch Zweifel, ob die Riechzellen tatsächlich als echte Nervenzellen anzusprechen sind, vielmehr lassen sie sich zwanglos in die Gruppe der Paraneurone einreihen.“ (NICKEL et al., 1992 b).

<sup>9</sup> 6-8 (NICKEL et al., 1992 b), 10-25 (MORRISON & COSTANZO, 1992), 6-20 (FREWEIN & VOLLMERHAUS, 1994)

## Kapitel 2

---

die sensorischen Signale zu verstärken und sie in elektrische Signale zu transformieren, damit sie über das Axon in den Riechkolben projiziert werden können. Aber die Rezeptoren kommen nicht nur in den Zilien der Dendriten vor, sondern auch in den Axonen, wo sie nicht der Geruchstofferkennung dienen, sondern im Rahmen der Geruchsweiterleitung bestimmen, wo im Gehirn die Axone enden (AXEL, 2005).

Die Stützzellen sind eng mit den Riechzellen verbunden. Es sind große, mit vielen Mikrovilli bedeckte Zylinderzellen, die sowohl den Zellkörper als auch den Dendriten und das Axon der Riechzellen umgeben. Ihre Funktion ist vermutlich die Isolierung der Riechzellen, die Führung bei deren Entwicklung, die Schleimabsonderung und der Transport von Molekülen; es sind aber keine Sinneszellen (MORRISON & COSTANZO, 1992).

Die Basalzellen sind „Neuroblast-Stammzellen mit bemerkenswerter Fähigkeit zur Neurogenese bis ins hohe Alter“ (MORRISON & COSTANZO, 1992). Sie entwickeln sich zu reifen Riechzellen. Die Riechzelle hat eine Lebensdauer von ca. 30-60 Tagen (BUCK & BARGMANN, 2013), dann wird sie von der Basalzelle erneuert. Das heißt nicht, dass zwangsläufig eine Zelle gleichen Typs entsteht; in bestimmten Stadien der Entwicklung der Zelle ist der Riechzelltyp zwar festgelegt, teilweise wird die Festlegung des Rezeptortyps aber ausgelöst durch die Gerüche, die oft gerochen werden (SCHOON & HAAK, 2002)<sup>10</sup>.

Die Lamina propria des Riechepithels enthält zwar Blutgefäße, im Gegensatz zum respiratorischen Epithel jedoch kein so reichhaltiges vaskuläres Netzwerk (CRAVEN et al., 2007). Dafür enthält sie die tubuloalveolären Bowmanndrüsen, deren einzelner Kanal sich zur Epitheloberfläche erstreckt und dort ihr dünnflüssiges Sekret abgibt (MORRISON & COSTANZO, 1992). Zusammen mit dem Sekret der Stützzellen bilden sie den auf dem Riechepithel aufliegenden Schleim. Es handelt sich dabei um eine „großartige Komposition und hochgesättigte Lösung“ (HATT & DEE, 2011). Er enthält die für die Signalübertragung nötigen Ionen, aber auch Binde- und Transport-

---

<sup>10</sup> SCHOON & HAAK (2002) berichten, dass Tiere, die systematisch auf bestimmte Gerüche trainiert wurden, auch mehr Rezeptoren für diese Gerüche enthielten.



proteine (sog. OBP)<sup>11</sup>. Seine Funktionen sind vielseitig: Er dient sowohl als Schutz vor Austrocknung und Infektionen als auch als Lösungsmittel für Geruchsstoffe, die dann zu den Rezeptoren diffundieren. Die wasserunlöslichen Geruchsmoleküle werden vermutlich durch die olfaktorischen Bindeproteine zu den Rezeptoren transportiert.

Aufgrund der verstärkt aufgerollten Knochenlamellen der Ethmoturbinaten weist die olfaktorische Schleimhaut mit ca. 210 cm<sup>2</sup> (CRAVEN et al., 2007),<sup>12,13</sup> im Vergleich zur respiratorischen, nahezu die doppelte Fläche auf. Die Begründung für diese Notwendigkeit wird in der Verteilung der Geruchsrezeptoren in der Riechschleimhaut gesehen. Sie werden „selektiv exprimiert“ (BUCK, 2005), weshalb für jeden Rezeptortyp eine bestimmte Fläche zur Verfügung gestellt werden muss. Das gilt für das respiratorische Epithel nicht, bei dem es um die nichtselektive Übertragung von Wärme und Feuchtigkeit geht (CRAVEN et al., 2007).

---

<sup>11</sup> OBP = Olfaktorische Bindeproteine. Inzwischen sind etwas über 100 verschiedener Transportmoleküle bekannt. Ihnen kommen vermutlich zwei Funktionen zu: Erstens der Transport von schwerlöslichen oder unlöslichen Geruchsmolekülen zu den Geruchsrezeptoren und zweitens der Abtransport überschüssiger Geruchsmoleküle (MÜCKE & LEMMEN, 2010; HATT & DEE, 2011).

<sup>12</sup> CAVE: An anderer Stelle werden, je nach Hunderasse, hiervon abweichende Zahlen angegeben: Dachshund 75 cm<sup>2</sup>, Airedale Terrier 83,5 cm<sup>2</sup>, Deutscher Schäferhund 150 cm<sup>2</sup> (NICKEL et al., 1992 b; FREWEIN & VOLLMERHAUS, 1994) bzw. > 170 cm<sup>2</sup> (BEAR et al., 2009).

<sup>13</sup> Im Vergleich dazu der Mensch mit gerade einmal 5 cm<sup>2</sup> (FREWEIN & VOLLMERHAUS, 1994) bzw. 10 cm<sup>2</sup> (BEAR et al., 2009).

### 2.1.1.4 Geruchsrezeptoren und ihre Gene

*„Um Dinge ganz zu kennen, muss man um ihre Einzelheiten wissen.“*

*(ROUCHEFOUCAULD, FRANCOIS VI. DUC DE LA, 1665)*

1991 entdeckten Linda Buck und Richard Axel die Familie der Riechgene, die bei der Ratte aus über 1000 Mitgliedern besteht. Dafür erhielten sie 2004 den Nobelpreis. Seitdem beschäftigen sich viele Forschergruppen mit Themen rund um den Geruchssinn.

Etwa 1 % bis 5 % der Gene in den Genomen der Säugetiere dienen dem Nachweis von Geruchstoffen, womit sie die größte Genfamilie darstellen und sich über das gesamte Genom verteilen (BUCK, 2005), was die Wichtigkeit des Geruchsinns unterstreicht.

Die aktuell niedrigste Schätzung für den Hund stammt mit 1094 Genen<sup>14</sup> von QUIGNON et al. (2005; 2006), die fast eine vollständige Liste der Geruchsrezeptorgene des Hundes aufstellen konnten. Allerdings entpuppten sich davon 20,3 % als Pseudogene, sodass nach der Schätzung für den Hund ca. 872 aktive Gene und damit 872 unterschiedliche Geruchsrezeptoren existieren<sup>15</sup>. Untersuchungen an verschiedenen Hunderassen haben ergeben, dass das Genrepertoire olfaktorischer Gene bei allen Rassen – unabhängig von Größe und Einsatzgebiet – gleich ist (ISSEL-TARVER & RINE, 1996). Es existiert aber ein relativ hoher genetischer Po-

---

<sup>14</sup> Von den 1094 Genen konnten 963 auf dem Hundegenom lokalisiert werden. 131 konnten noch nicht zugeordnet werden. Die Geruchsrezeptorgene sind beim Hund über alle 24 Chromosomen verteilt, wo sie Cluster von 1-200 Genen bilden. Insgesamt gibt es 23 Genfamilien, die in zwei Klassen eingeteilt werden. Klasse I enthält 67 Unterfamilien mit insgesamt 193 Genen und 19 % Pseudogenen und Klasse II enthält 233 Unterfamilien mit ca. 814 Genen und 23 % Pseudogenen. Der hier näher interessierte Leser sei für ausführliche Informationen auf die Untersuchungen von QUIGNON et al. (2003; 2005; 2006) sowie ROUQUIER & GIORGI (2007) verwiesen.

<sup>15</sup> Im Vergleich dazu sind von den ca. 900 beim Menschen vorhandenen Genen ca. 63 % Pseudogene (also stillgelegte, aktuell nicht nutzbare Gene), sodass die Riechzellen des Menschen nur 350 verschiedene Geruchsrezeptoren exprimieren können.

lymorphismus, dessen Einfluss auf die Riechleistung noch unklar ist (TACHER et al., 2005; LESNIAK et al., 2008)<sup>16</sup>.

Entsprechend den Genen werden auch die olfaktorischen Rezeptorzellen in Klasse I und Klasse II eingeteilt. Sie zeigen unterschiedliche Ligandensensitivität und sind auf der Riechschleimhaut unterschiedlich verteilt (vgl. Fußnote 14, S. 16 und Abschnitt 2.2.2.3 „Interne Fluidodynamik“, insbesondere Absatz 2, S. 36).

Jedes Riechneuron kann nur ein Geruchsrezeptorgen exprimieren und jedes Geruchsrezeptorgen kann nur von einer Riechsinneszelle exprimiert werden (MALNIC et al., 1999; Mombaerts, 1999; BUCK, 2005). Der Mechanismus, nach dem die Zellen das Gen auswählen, welches sie exprimieren, ist noch ungeklärt (HATT, 2003).

Der Hund hat, verteilt auf das gesamte olfaktorische Epithel, geschätzt ca. 125-225 Millionen<sup>17</sup> Riechsinneszellen (NICKEL et al., 1992 b; FREWEIN & VOLLMERHAUS, 1994). Das bedeutet, dass bei ca. 872 aktiven Geruchsrezeptorgen rund 140 000 bis 260 000 von jedem Zelltyp existieren und über die Riechschleimhaut verteilt sind, wodurch die weiter oben beschriebene Notwendigkeit einer großen Fläche der Riechschleimhaut unterstrichen wird.

Die Geruchsrezeptoren gehören zu der Superfamilie der G-Protein-gekoppelten Rezeptoren<sup>18</sup>, sind also Proteine mit 7-Transmembrandomänen (Mombaerts, 1999), die bei Bindung eines entsprechenden Moleküls über ein Second-Messenger-System die Signaltransduktion<sup>19</sup> auslösen. Beim Hund zeigt sich der größte Anteil variabler Aminosäuren an den Transmembrandomänen vier und fünf, was vermuten lässt,

---

<sup>16</sup> LESNIAK et al. (2008) geben außerdem zu bedenken, dass die Geruchsleistung des Hundes nicht nur von den Rezeptoren, sondern auch vom Training und der Zusammenarbeit mit dem Hundeführer abhängt.

<sup>17</sup> Dackel ca. 125 Mio., Fox Terrier ca. 147 Mio., Schäferhund ca. 225 Mio., Mensch ca. 20 Mio. (NICKEL et al., 1992 b; FREWEIN & VOLLMERHAUS, 1994).

<sup>18</sup> Neben den Geruchsrezeptoren gehören u.a. auch die Rezeptoren für süß, bitter und umami sowie viele Neurotransmitterrezeptoren und auch die Rezeptoren des Vomeronasalorgans zu den G-Protein-gekoppelten-Rezeptoren (vgl. auch 2.1.1.5 „Vomeronasalorgan“, S. 19).

<sup>19</sup> Bindet ein Geruchsmolekül, wird über die Freisetzung von c-AMP eine Kette biochemischer Reaktionen ausgelöst, die das Signal biochemisch verstärken und dann in einen elektrischen Impuls umwandeln, mit dem das Signal weitergeleitet und verarbeitet werden kann (siehe auch 2.2.2.4 „Geruchsstoffaufnahme und Weiterleitung der Geruchsinformation“, S. 37).

## Kapitel 2

---

dass hier die Bindungstasche für die Ligandenerkennung und Ligandenbindung ist (QUIGNON et al., 2005; 2006)<sup>20</sup>.

Aufgrund dieser Variabilität ist ein Geruchsrezeptor in der Lage, nach dem „Schlüssel-Schloss-Prinzip“ (HATT & DEE, 2011)<sup>21</sup> sehr spezifisch nur Moleküle mit einer bestimmten Teilstruktur (z.B. funktionelle Gruppe) zu erkennen. In höheren Konzentrationen können jedoch auch Moleküle mit ähnlicher Struktur an den gleichen Rezeptortyp binden, sodass innerhalb eines bestimmten Rahmens mehrere chemisch verwandte Moleküle erkannt werden können und ein spezifischer Duftstoff an mehrere ORs<sup>22</sup> andocken kann. Das funktioniert jedoch nur, solange die bestimmende Gruppe gleich ist. Sobald eine kleine Veränderung daran vorliegt, kommt es i. d. R. zu einem vollständigen Wirkstoffverlust (HATT, 2003). In Verbindung mit den Rezeptoren am Axon erhält das Riechneuron eine eindeutige Identität. Nach AXEL (2005) sind sowohl der Geruchsstoff, auf den die Riechzelle anspricht, als auch der Zielpunkt<sup>23</sup> im Gehirn, in dem ihr Axon endet, vorgeschrieben.

Man darf sich jedoch nicht vorstellen, dass Riechzellen mit dem gleichen Rezeptortyp innerhalb der Riechschleimhaut immer zusammengruppiert sind. Bei Nagetieren wurde gezeigt (und man vermutet das Gleiche für den Hund), dass das olfaktorische Epithel in eine grobe topographische Ordnung von vier Zonen eingeteilt ist (MOMBAERTS, 2004), jedoch sind Riechzellen mit bestimmten Rezeptorgenen nur auf eine der vier Zonen beschränkt. Innerhalb dieses Bereichs sind sie wie zufällig verstreut, d. h.: Neuronen mit Rezeptoren für einen bestimmten Geruchsstoff sind durchsetzt mit Neuronen, die Rezeptoren für andere Geruchsstoffe tragen (AXEL, 2005; BUCK, 2005).

---

<sup>20</sup> Beim Menschen sind es die Transmembrandomänen drei bis sechs mit der höchsten Variabilität (MOMBAERTS, 1999; HATT, 2003).

<sup>21</sup> „(...)“, wobei eher simple Hausschlösser mit altertümlichen Bartschlüsseln zum Einsatz kommen als Hochsicherheitsschlösser.“ (HATT & DEE, 2011)

<sup>22</sup> OR = Olfaktorischer Rezeptor

<sup>23</sup> Mit Zielpunkt ist der Glomerulus im Riechkolben gemeint (siehe auch 2.1.3.2 „Riechkolben und akzessorischer Riechkolben“, S. 24 sowie 2.2.3 „Informationsverarbeitung“, S. 39)

### 2.1.1.5 Vomeronasalorgan

Das VNO oder JAKOBSONSche Organ stellt das zweite olfaktorische System dar (MOMBAERTS, 2004) und wird auch als akzessorisches Geruchssystem bezeichnet.

Es handelt sich um ein paariges Schleimhautröllchen im Knochen des Nasenbodens (zugleich Dach der Mundhöhle); es mündet in den Nasen-Gaumen-Kanal, der die Nasen- und die Mundhöhle in deren vorderem Bereich miteinander verbindet (GASSE, 2010; 2011). Die Schleimhaut entspricht der Riechschleimhaut, allerdings besitzen die Riechhärchen keine Zilienstruktur, sondern lange Mikrovilli (NICKEL et al., 1992 b). An die Stelle der OSNs treten die VSNs (Vomero Sensorische Neuronen). Ihre basalen Fortsätze sammeln sich analog der Axone der olfaktorischen Neuronen und bilden den Nervus vomeronasalis (NICKEL et al., 1992 b).

Wie die olfaktorischen Sensorneuronen exprimieren auch die VSNs Rezeptoren (V1R und V2R)<sup>24</sup>. Es handelt sich ebenfalls um G-Protein-gekoppelte Rezeptoren mit sieben Transmembrandomänen, für die auch die Ein-Gen-Ein-Neuron-Hypothese gilt (MOMBAERTS, 2004; QUIGNON et al., 2006). Sie werden nur im Vomeronasalorgan exprimiert und sind bezüglich ihrer Aminosäuresequenz nicht mit den olfaktorischen Rezeptoren verwandt (BUCK, 2005).

Bislang wurde dem VNO immer zugeschrieben, dass es sich auf Pheromone (z.B. Sexuallockstoffe) spezialisiert hat, die es auch in sehr geringer Konzentration und auf große Entfernungen wahrnehmen kann. Bei Kontakt wird die Pheromonquelle über eine Pumpwirkung in das Lumen des JAKOBSONSchen Organs gezogen, welche aktiviert wird, wenn das Tier erregt ist, und diffundieren dann durch den Schleim, der das Epithel bedeckt, zu den Vomero-Sensorischen-Neuronen<sup>25</sup> (MOMBAERTS, 2004). Dies geht anscheinend mit dem Flehmen einher. Durch das Hochschieben der Oberlippe wird bewirkt, dass die Nasenhöhle verschlossen wird. Der Geruchs-

---

<sup>24</sup> Man unterscheidet zwei Vomero-Rezeptorgene (V1R und V2R). Von den V1R-Genen besitzt der Hund mit acht aktiven Genen und 54 Pseudogenen relativ wenige. Von den V2R-Rezeptorgenen sind sogar nur drei nachgewiesen, die zu 100 % Pseudogene sind. Damit besitzt der Hund weit weniger Vomero-Rezeptoren als Ratte und Maus, aber mehr als der Mensch (QUIGNON et al., 2006).

<sup>25</sup> NICKEL et al. (1992 b) sprechen auch hier von „nervenzellartigen Epithelzellen (Paraneuronen)“.

sinn wird dadurch offensichtlich ausgeschaltet und die Wahrnehmung durch das VNO begünstigt (NICKEL et al., 1992 b).

In jüngerer Zeit gibt es jedoch Diskussionen darüber, ob tatsächlich nur das VNO in der Lage ist, Pheromone zu erkennen bzw. das JAKOBSONSche Organ wirklich nur Pheromone detektieren kann (MOMBAERTS, 2004)<sup>26</sup>. Dies gilt umso mehr, seit LIBERLES & BUCK (2006) im Riechepithel der Maus zusätzliche Rezeptoren entdeckten<sup>27</sup>, die das Erkennen von Pheromonen über die Nase ermöglichen. Das legt die Vermutung nahe, dass auch der Hund über Pheromonrezeptoren im Riechepithel verfügt (CRAVEN et al., 2010).

## 2.1.2 Die weiterleitenden Nerven

### 2.1.2.1 *Nervus olfactorius und Nervus vomeronasalis*

Die basalen Fortsätze der Riechsinneszellen bündeln sich und bilden zusammen den Riechnerven (Nervus olfactorius). Die Besonderheit ist, dass es sich hierbei nicht um einen einzelnen Nervenstrang im üblichen Sinn handelt, sondern um mehrere Riechfäden (Fila olfactoria), bestehend aus mehreren Axongruppen. Diese passieren die Lamina cribrosa und gelangen direkt zum Bulbus olfactorius, wo sie in einer „sphärischen Struktur“ (BUCK, 2005) enden<sup>28</sup>. Dort bilden sie Synapsen mit dem ersten Relais der zentralen Riechbahn (den Dendriten der Mitralzellen) (BUCK & BARGMANN, 2013).

---

<sup>26</sup> MOMBAERTS (2004) berichtet, dass für den Hasen und das Schwein bereits nachgewiesen ist, dass Pheromonreaktionen ebenso über die Nase vermittelt werden können und auch das JAKOBSONSche Organ gewöhnliche Gerüche (keine Pheromone) erkennen kann. Es ist deshalb möglich, dass auch der Hund sowohl über die Nase Pheromone als auch gewöhnliche Gerüche über das VNO wahrnehmen kann.

<sup>27</sup> „Trace amine-associated receptors“ wurden bislang bei der Maus, Menschen und Fischen nachgewiesen.

<sup>28</sup> Mit der sphärischen Struktur sind die Glomeruli im Riechkolben gemeint.

Der Nervus vomeronasalis besteht aus den gebündelten Axonen der sensorischen Neuronen des Vomeronasalorgans. Er verläuft zusammen mit den Fila olfactoria durch die Siebbeinplatte, zieht dann aber in den Bulbus olfactorius accessorius, den akzessorischen Teil des Riechkolbens (NICKEL et al., 1992 b).

Beide, Nervus olfactorius und Nervus vomeronasale, liegen paarig vor (rechts und links) und ziehen in die jeweilige Hälfte des Riechkolbens bzw. des akzessorischen Riechkolbens.

### **2.1.2.2 *Nervus trigeminus***

Der Nervus trigeminus gilt als mächtigster sensibler Nerv (NICKEL et al., 1992 b) und innerviert mit seinen drei Hauptästen (N. ophthalmicus, N. maxillaris, N. mandibularis) sowie den davon abzweigenden Ästen den Augenbereich, den Ober- und den Unterkiefer. Dabei werden große Teile der Kopfhaut, sämtliche Schleimhäute des Kopfes sowie die Wurzeln der Zähne innerviert (NICKEL et al., 1992 b). Im Zusammenhang mit dem Riechen reagieren seine Sensoren auf stark irritierende Geruchsstoffe. Durch stechende, brennende und kribbelnde Empfindungen werden Schutz- und Abwehrmechanismen ausgelöst. Kommt es zu einer Überreizung, kann die Geruchswahrnehmung komplett unterdrückt werden (GASSE, 2010; 2011).

Die Riechschleimhaut und auch das Vomeronasalorgan werden von Trigeminusfasern innerviert.

### 2.1.3 Das Empfangsorgan (Großhirn)

Im Folgenden sollen grob die am Riechen beteiligten Hirnareale besprochen werden. Wenn nicht anders vermerkt, stützen sich die Ausführungen auf die Darstellungen bei NICKEL et al. (1992 b).

#### 2.1.3.1 Überblick

*„Das beste Gedächtnis hat bekanntlich die Nase.“*

*(TUCHOLSKY, o.J.)*

Empfangsorgan der olfaktorischen Signale ist das Endhirn (Telencephalon, Großhirn). Es besteht aus zwei Hälften (Hemisphären) und dem Telencephalon medium, welches sie miteinander verbindet. Jede Hirnhälfte setzt sich aus dem Ganglienhügel mit dem Corpus striatum und dem Hirnmantel (Pallium) zusammen. Das Pallium wiederum besteht aus drei Anteilen: Den beiden phylogenetisch alten Teilen, dem Palaeopallium und dem Archipallium, und dem jüngsten Gehirnteil, dem Neopallium (Neocortex).

Palaeo- und Archipallium bilden zusammen das Riechhirn (Rhinencephalon), welches die Geruchsreize aufnimmt und auswertet. Der Neocortex übernimmt die bewusste Wahrnehmung. Die entwicklungsgeschichtlich frühe Entwicklung von Palaeo- und Archipallium unterstreicht die Bedeutung des Geruchsinns für das (Wieder-) Erkennen von Nahrung und Gefahrstoffen, aber auch von Geschlechtspartnern sowie für die Entstehung von Stimmungen (Emotionen) und damit für den Umgang mit anderen (GASSE, 2010; 2011).

Das Riechhirn, in seiner Gesamtheit auch als olfaktorischer Cortex (Riechrinde) bezeichnet, kann nicht als eine kompakte Einheit dargestellt werden. Es setzt sich



stattdessen aus mehreren anatomischen Strukturen unterschiedlicher Funktion zusammen und kann nur als funktionelles System beschrieben werden.

Entwicklungsgeschichtlich werden Palaeopallium und Archipallium als Riechhirn zusammengefasst, anatomisch und funktionell ist es jedoch sinnvoll, sie getrennt zu betrachten (GASSE, 2010; 2011).

Das Palaeopallium wird als Riechhirn im engeren Sinne gesehen und dient als eigentlicher olfaktorischer Bereich, weil hier die bewusste Identifizierung und Zuordnung von Gerüchen erfolgt, anhand dessen andere Individuen, Gegenstände, Materialien, Substanzen etc. (wieder-)erkannt werden können (GASSE, 2010; 2011). Die hier beinhalteten Strukturen sind der Riechkolben (Bulbus olfactorius), der Riechstiel (Pedunculus olfactorius), der Gyrus olfactorius lateralis und medialis, das Tuberculum olfactorium, der Gyrus diagonalis (diagonales BROCA'sches Band), die Commissura rostralis, der Lobus piriformis und der Corpus amygdaloideum. Zusammen werden diese Strukturen auch als Lobus olfactorius sive Pars basalis rhinencephali bezeichnet. Dabei scheint der beim Hund gegenüber dem Menschen mächtig entwickelte birnenförmige Lobus piriformis eine Sonderstellung einzunehmen: In ihm wird das eigentliche Riechzentrum vermutet, da Hunde nach dessen beidseitiger Entfernung das Witterungsvermögen verlieren.

Das Archipallium dagegen sorgt für vegetative und emotionale Reaktionen auf einen Geruchsreiz und wird auch als limbisches System bezeichnet (GASSE, 2010; 2011). Aufgrund der Vielzahl von Kernen, Bahnen und Funktionen gibt es hierfür weder morphologisch noch funktionell eine klare Abgrenzung. Beispielhaft seien hier der Gyrus cinguli, der Gyrus parahippocampalis, die Hippocampusformation und das Induseum griseum sowie einige subcorticale Zentren wie das Corpus amygdaloideum und die Formatio reticularis genannt. Innerhalb des limbischen Systems bestehen Verbindungen zwischen den einzelnen Strukturen, aber auch außerhalb wird es durch Faserzüge mit subcortikalen Projektionsgebieten im Zwischen- und Mittelhirn in Verbindung gesetzt. So wird z.B. der Hypothalamus vom Hippocampus und dem Corpus amygdaloideum angesteuert, wodurch das limbische System in der Lage ist,

neurosekretorische Vorgänge im Hypothalamus zu beeinflussen. Da dieser wiederum die Hypophyse und damit die Produktion vieler Hormone kontrolliert, können Geruchssignale über die Hypothalamus-Hypophysen-Achse direkt auf das endokrine System und damit auf die wichtigsten Regulationsvorgänge des Körpers einwirken (MÜCKE & LEMMEN, 2010).

Die bewusste Verarbeitung von Geruchsreizen im Neokortex findet vor allem im orbitofrontalen Kortex statt, der im Frontallappen der Großhirnrinde liegt und zusammen mit dem Inselkortex als sekundärer olfaktorischer Kortex bezeichnet wird (MÜCKE & LEMMEN, 2010). Er ist sowohl mit dem Limbischen System als auch mit dem primären olfaktorischen Kortex verbunden und erhält seine Informationen direkt von dort oder/und vom Thalamus. Im orbitofrontalen Kortex werden die Geruchsreize als ‚angenehm‘ und ‚unangenehm‘ bewertet und entsprechende, flexible Verhaltensreaktionen eingeleitet. Außerdem findet hier eine Verknüpfung mit anderen Sinnesindrücken statt.

### **2.1.3.2 Riechkolben und akzessorischer Riechkolben**

Im vorderen Bereich des Palaeopalliums befindet sich mit dem paarig angelegten Riechkolben eine Verdickung. Der Riechkolben weist enorme Größenunterschiede bei Mensch und Hund zugunsten des Hundes auf. Das trifft sowohl auf den relativen Größenvergleich mit anderen Gehirnteilen als auch auf den absoluten Größenvergleich zwischen Hund und Mensch zu (GASSE, 2010; 2011).

Je größer der Riechkolben ist, desto mehr Speicherkapazität liegt vor, was sich wiederum auf das (Wieder-) Erkennen von Gerüchen auswirkt; beim Hund hat er etwa die Größe eines Daumennagels (GASSE, 2010; 2011)<sup>29</sup>.

---

<sup>29</sup> Eigene Mitschrift aus den Vorträgen von GASSE (2010; 2011) am 27.11.2010 und 16.09.2011 in Hannover.

Nachdem die Riechfäden durch die Lamina cribrosa getreten sind, bilden sie auf dem Riechkolben dessen Stratum fibrosum externum, welches als filzartiger Belag sichtbar ist. Sie enden in dicht verästelten Endbäumchen, die mit den Dendritenverzweigungen der Mitralzellen die kugeligen Glomerula olfactoria bilden (Stratum glomerulosum). Es folgt das Stratum plexiforme externum, das große und kleine Büschelzellen, Endigungen der inneren Körnerzellen und accessorische Dendriten der Mitralzellen enthält. Dem schließen sich das Stratum mitrale mit den pyramidenförmigen Mitralzellen, das Stratum plexiforme internum und das Stratum granulosum internum an. Der Hauptdendrit der Mitralzellen endet in den Glomeruli, während das Axon das Stratum plexiforme internum und das Stratum granulosum internum durchläuft und zusammen mit den anderen Axonen den Riechstiel (Pedunculus olfactorius) bildet. Der nur sehr kurze Riechstiel geht in den Tractus olfactorius über und zieht zu den olfaktorischen Projektionsfeldern (z.B. mediale Hemisphärenfläche, Lobus piriformis, Corpus amygdaloideum) der gleichen Seite. Im Stratum granulosum internum befinden sich außerdem axonlose Interneuronen, die Impulse von den Dendriten der Mitralzellen erhalten und diese hemmend beeinflussen. Außerdem erhalten sie Erregungen von Axonkollateralen der Mitralzellen und über die Commissura rostralis aus dem gegenseitigen Riechkolben.

Der accessorische Riechkolben befindet sich dorsal hinter dem Hauptbulbus und ist makroskopisch nicht zu identifizieren. In ihn ziehen die Axone der Vomero Sensorischen Neurone (VSN) des Vomeronasalorgans. Histologisch ist er genauso aufgebaut wie der Hauptbulbus, wobei die Lamina fibrosa externa vom N. Vomeronasalis gebildet wird. Er projiziert zum Corpus amygdaloideum.

# 2.2 Physiologische und fluiddynamische Grundlagen – Wie funktioniert Riechen?

*„What we know of the scent organ, and of odor in general, is far from complete.“*

*(SCHOON & HAAK, 2002)*

## 2.2.1 Was ist Geruch?

*„Geruch, der: Ausdünstung, Ausströmung, die durch das Geruchsorgan wahrgenommen wird; die Art, wie etwas riecht.“*

*(DUDENREDAKTION, 2011)*

Gerüche sind in der Regel Mischungen aus verschiedenen Geruchsstoffen. Geruchsstoffe wiederum sind kleine, organische, zumeist flüchtige Moleküle, deren Strukturen in einer Vielzahl von Parametern variieren können und diese Unterschiede werden als unterschiedliche Gerüche wahrgenommen (BUCK, 2005; MALNIC et al., 1999). Der Sinneseindruck eines Geruchs wird durch das olfaktorische System vermittelt und schon eine geringfügige Strukturänderung eines oder mehrerer Geruchsmoleküle kann sich auf die Geruchsempfindung auswirken (BUCK, 2005)<sup>30</sup>. Um an der Nase erfasst werden zu können, müssen Geruchsstoffe flüchtig sein, weshalb eine große Anzahl flüchtiger Stoffe einen wahrnehmbaren Geruch haben; die Anzahl riechbarer Chemikalien liegt bei über Hunderttausend oder Millionen (MOMBAERTS, 2004). Hierbei ist zu bedenken, dass das Erkennen (Detektieren, Wahrnehmen) eines Geruchs nicht gleichzusetzen ist mit seiner Identifikation.

---

<sup>30</sup> Selbst geringfügige Struktur- oder Konzentrationsveränderungen können eine große Geruchsveränderung bewirken: Austausch der Hydroxylgruppe von Octanol durch eine Carboxylgruppe führt von Rosenduft zu verschwitztem Duft. Indol in hoher Konzentration riecht faulig, in niedriger aber blumig (MALNIC et al., 1999).

Der Geruchssinn ist somit die sensorische Erfassung eines Geruchs, eines chemischen Signals aus der Umwelt, wofür nur geringe Spuren<sup>31</sup> benötigt werden (SETTLES, 2005).

## 2.2.2 Informationswahrnehmung

Bisher wurde die besondere Geruchssensibilität des Hundes<sup>32</sup> der Größe der Schleimhautoberfläche und der Größe des Riechkolbens zugeschrieben. Neuere Erkenntnisse zeigen jedoch, dass zusätzliche Faktoren berücksichtigt werden müssen. Hierzu gehören: Die Dichte der Sinneszellen, die Anzahl und Art des Rezeptor-Gen-Repertoires (QUIGNON et al., 2003; QUIGNON et al., 2006; TACHER et al., 2005; ROBIN et al., 2009; OLENDER et al., 2004) und das Verhältnis von funktionellen Genen zu Pseudogenen (ROUQUIER & GIORGI, 2007). CRAVEN et al. (2010) möchten diese Liste noch durch die Einbeziehung der Fluidodynamik während des Riechvorganges ergänzt wissen, da der Riechstofftransport in die olfaktorische Region der erste wichtige Schritt bei der Geruchswahrnehmung ist. Sie stellen die Hypothese auf, dass die Geruchssensibilität und das Riechvermögen in hohem Maße von dem Geruchstofftransport der nasalen Luftzirkulationsmuster abhängen.

---

<sup>31</sup> Eine Spur ist dabei ein sehr kleines chemisches Signal, manchmal nur wenige Moleküle (SETTLES, 2005).

<sup>32</sup> Er kann eine Geruchsstoffkonzentration in einer billionenfachen ( $10^{-12}$ ) Verdünnung erkennen, womit seine Geruchserkennungsfähigkeit und -genauigkeit um ein 10 000 bis 100 000-faches höher liegt als die des Menschen (WALKER et al., 2006).

Zur Fluidodynamik des Geruchsinns gehören:

- die Aufnahme des Geruchs über aktives Schnüffeln und die damit verbundenen Luftstrombewegungen außerhalb der Nase, welche als externe Aerodynamik während des Riechens zu bezeichnen sind
- die Strömungsverhältnisse beim Transport inspirierter Geruchsstoffe in die Riechregion, welche unter dem Begriff der intranasalen Aero- (Fluid-) dynamik zusammengefasst werden.

Das Wissen über die aero- und fluiddynamischen Eigenschaften<sup>33</sup> der ein- und ausgeatmeten Luftströme sind aber nicht nur für die Konstruktion künstlicher Nasen von Bedeutung. Sie sind auch essentiell für das Verständnis des Riechvorgangs sowohl in Hinblick auf die Absorption und Weiterleitung als auch für die sich daraus ergebenden Möglichkeiten und Grenzen der Riechleistung des Hundes selbst.

### 2.2.2.1 Schnüffeln

Schon früh konnte beobachtet werden, dass Hunde bei der Erkundung einer Duftquelle ihr Schnüffelverhalten verändern. ZUSCHNEID (1973) beispielsweise hat festgestellt, dass Hunde bei verschiedenen Duftstoffkonzentrationen unterschiedliche Schnüffelmuster aufweisen. Er beobachtete ein kurzes und ein langes Schnüffelver-

---

<sup>33</sup> Beide Phänomene wurden von Wissenschaftlern des Department of Mechanical and Nuclear Energy der Pennsylvania State University untersucht, um die Biomechanik für die Konstruktion künstlicher Nasen zu nutzen.

Für die Erforschung der aerodynamischen Schnüffelvorgänge wurden sowohl die Bewegungen der Nase als auch die äußeren Luftstrombewegungen bei der Inspiration und der Expiration über Strömungsvisualisierungstechniken untersucht. Dies geschah anhand der Videographie von Wärmebewegungen und auch mittels Lichtstreuungsexperimenten. Dabei wurde sich vor allem auf die Aufnahme der Geruchspartikel einer sich auf dem Boden befindenden Geruchsquelle konzentriert (SETTLES et al., 2003; SETTLES, 2005).

Mit Magnetic Resonance Imaging (MRI) gelang es, aus dem Kadaver eines Labradormischlings ein detailliertes Modell des inneren Aufbaus der Hundennase zu entwerfen. An diesem Modell konnten mithilfe der numerischen Strömungsmechanik (CFD) die während des Riechvorganges auftretenden fluiddynamischen Eigenschaften des Luftstroms innerhalb der Hundennase dargestellt werden (CRAVEN et al., 2007; CRAVEN et al., 2009; CRAVEN et al., 2010; LAWSON et al., 2012). CFD = computational fluid dynamics, eine etablierte Methode, die in der Strömungsmechanik zur statischen und dynamischen Analyse von Windeffekten genutzt wird.

halten, je nachdem, wie gut bzw. schwer zugänglich oder wie stark oder schwach konzentriert die angebotenen Gerüche waren.

Neuere Untersuchungen an Ratten und Hunden (SETTLES et al., 2003; SETTLES, 2005; KEPECS et al., 2007; CRAVEN et al., 2010) bestätigen diese Beobachtung und zeigen, dass das Schnüffeln aktiv kontrolliert wird. Bei Vorlage einer Duftquelle wechseln die Tiere von der normalen Atmung zum Schnüffeln, dabei ist das Schnüffeln durch eine höhere Frequenz und einen deutlich höheren Luftdurchsatz in der Nasenhöhle sehr gut von der Atmung zu unterscheiden<sup>34</sup>.

Im Allgemeinen kann Schnüffeln als forciertes, kurzes Atmen bezeichnet werden. Es besteht aus einer alternierenden Serie von Inspiration und Expiration mit einem sinusförmigen, sich wiederholenden Muster für die Dauer von etwa einer halben Sekunde bis zu mehreren Sekunden. Es beginnt mit einem relativ schwachen Atemzug, gefolgt von einem Crescendo bis zum größten Atemzug, bezogen auf den Luftdurchsatz (CRAVEN et al., 2010)<sup>35</sup>.

Schnüffeln bewirkt eine Verringerung des Druckes innerhalb der Nase gegenüber dem Umgebungsdruck. Durch die Druckdifferenz wird ein Luftstrom Richtung Nasenhöhle gezogen, wobei die Flussrate des Luftstroms von der Zeitdauer des Schnüffels sowie der Häufigkeit der einzelnen Schnüffelsequenzen abhängt (SETTLES, 2005). Innerhalb der Nase kann es zwar durch Wandreibung oder plötzlich verursachte Erweiterungen bzw. Kontraktionen (z. B. durch die Schwellkörper oder Blutgefäße) zu Verlusten (also einer Verringerung) der Fließgeschwindigkeit kommen, die aber durch die vom Hund aktiv steuerbare Schnüffelrate und Einatmungszeit ausgeglichen werden kann:

---

<sup>34</sup> Für das kurze Schnüffeln, welches die Norm darstellt, wurde eine Frequenz von 3-5 Hz gemessen, während die Frequenz bei langen Schnüffeleinheiten nur 1/3 bis 1/2 davon betrug und bei frei zugänglichen Geruchsquellen nie gezeigt wurde (SETTLES et al., 2003).

<sup>35</sup> Bei längeren Schnüffeleinheiten mit niedrigerer Frequenz treten mehrere Maxima im Luftdurchsatz bei einer relativ niedrigen Schnüffelfrequenz (0,5-1,5 Hz) auf (CRAVEN et al., 2010).

Höhere Schnüffelraten und längere Schnüffeleinheiten erhöhen die Geruchsaufnahme und damit auch die durchschnittliche Konzentration (SETTLES, 2005)<sup>36</sup>. Zusammenfassend kann man sagen, dass Hunde durch intensives Schnüffeln aktiv die Durchflussrate bei der Inspiration sowie die Abscheidungsrate (LAWSON et al., 2012) und damit auch die Riechleistung steigern können.

### **2.2.2.2 Externe Aerodynamik während des Riechvorgangs**

*„The dog's nose is something for us to wonder at.“*

(CARAS, 1993, ©1992)

SETTLES (2005) und SETTLES et al. (2003) konnten visualisieren, dass während des Schnüffeln die Luft in der unmittelbaren Umgebung der Nasenlöcher in Richtung der Nasenlöcher gezogen und so ein Einatemluftstrom innerhalb eines kleinen halbkugelförmigen Bereichs des Nasenlochs induziert wird. Dabei tritt die Luft aus allen verfügbaren Richtungen in die Nase ein. Die eintretende Geruchsmenge eines bestimmten Geruchs sinkt mit zunehmender Entfernung der Geruchsquelle zur Nase, was die räumliche Nähe der Nase zu einer Geruchsquelle erforderlich macht, um einen lokalisierten Duft aufzunehmen<sup>37</sup>. Die aerodynamische Reichweite, des

---

<sup>36</sup> SETTLES (2005) berichtet von Untersuchungen, die sich mit diesem Themenbereich auseinandergesetzt haben: Zum einen wurde festgestellt, dass eine höhere Durchflussrate die Verweildauer der Geruchsstoffmenge verringert und damit auch weniger olfaktorische Antwort ausgelöst wird. Zum anderen konnte nachgewiesen werden, dass die Erhöhung der Flussrate mit dem Zeitintervall, über das eingeatmet wird, und mit dem dadurch verbundenen höheren Luftvolumen einhergeht. Das wiederum führt zu einer Verlangsamung der Schnüffelrate in Verbindung mit einer längeren Schnüffeleinheit, wodurch die Geruchsstoffmenge länger auf den Rezeptoren verweilt.

<sup>37</sup> Eine Ausnahme stellt laut SETTLES (2005) die Hochwitterung (air scenting) dar; hier ist Nähe nicht erforderlich. STEEN et al. (1996) konnten zeigen, dass während der Hochwitterung die Umgebungsluft auch während der Ausatemungsphase in die Riechregion der Nase strömt. Während dem Riechen am Boden wird über das Schnüffeln versucht, Turbulenzen in den Nasengängen zu erzeugen, die den Luftstrom weiter nach hinten in die Nase befördern. Bei der Hochwitterung dagegen behält der Hund während des Laufens eine kontinuierliche Inspiration bei, die bis zu 40 Sekunden andauern kann. STEEN et al. (1996) vermuten, dass durch die Atmung bei geöffnetem Mund, die Expirationsluft mit hoher Geschwindigkeit aus der Trachea in die Mundhöhle einströmt und dort einen niedrigeren Druck



Nasenlochs beträgt beim Inspirationspeak ca. 1 cm<sup>38</sup> und ist damit kleiner als die anatomische Trennung zwischen den Nasenlöchern. Das hat zur Folge, dass jedes Nasenloch Luftproben von räumlich getrennten Regionen nimmt. Dem Hund werden so während des Riechens bilaterale Duftproben zur Verfügung gestellt, die von ihm durch die bilateralen Nervenbahnen (RAJAN et al., 2006)<sup>39</sup> und räumlich empfängliche Neuronen im Riechhirn zur Geruchsquellenlokalisierung genutzt werden können, d. h.: Der Hund kann stereoriechen (CRAVEN et al., 2010).

Die von SETTLES (2005) und SETTLES et al. (2003) beim Riechvorgang beobachtete externe Aerodynamik während des Schnüffeln lässt erkennen, dass die Bewegungen des Luftstroms während der Inspiration und Expiration unterschiedlich sind. Bei der Inspiration handelt es sich um eine laminare Strömung, bei der Expiration dagegen um eine turbulente.

Die Unterschiede ergeben sich aus der Anatomie der Hundenase.

Durch die anatomische Form und aufgrund der Möglichkeit durch olfaktorische Muskeln die Nase zu bewegen, können die Nasenlöcher beim Schnüffeln die Richtung der ein- und ausströmenden Luftmassen vorgeben. Eine besondere Rolle spielen hierbei die Flügelfalte (Plica alaris) und die geschlitzten Nasenflügel. Während des Schnüffeln behindert die bauchige Flügelfalte bei der Einatmung den direkten Weg in den Nasenvorhof, d. h. die Luft muss die Flügelfalte umfließen. Gleichzeitig öffnet sich durch die Dilatation der Nasenlöcher dorsomedial der Flügelfalte eine Mündung, das „upper orifice“ (SETTLES et al., 2003).

---

als in der Nase erzeugt. Durch den Bernoulli-Effekt entsteht dadurch während des Ausatmens eine nach innen gerichtete Luftströmung durch die Nase.

<sup>38</sup> Das entspricht dem von THESEN et al. (1993) in der Praxis beobachteten Abstand zum Boden, den Hunde beim Suchen einer Bodenfährte hielten.

<sup>39</sup> Die Untersuchungen von RAJAN et al. (2006) wurden zwar an Ratten durchgeführt und folglich beziehen sich die Schlussfolgerungen dort auf diese Tierart. Die Untersuchungen von CRAVEN et al. (2010) haben für den Hund jedoch gleiche Ergebnisse erbracht und lassen deshalb vermuten, dass die bilaterale Weiterverarbeitung hier genauso stattfindet wie von RAJAN et al. (2006) für die Ratte geschlossen.

## Kapitel 2

---

Dieses gibt die Richtung des Luftstroms nach oben vor und kanalisiert die Luft in Richtung des oberen Nasengangs, dem „Riechgang“, der die Luft direkt in die Riechregion der Nase transportiert (SETTLES, 2005). Während der Expirationsphase beim Riechen weiten sich die Nasenflügel nach außen und oben auf, wodurch die mittig-seitlichen Schlitzte geöffnet und das „upper orifice“ geschlossen werden. Die innere Form des Nasenvorhofs und die äußere Form der Nase sind während der Ausatmung wiederum verantwortlich für die Vektorisierung der, durch den ventralen Nasengang gelieferten, verbrauchten Luft nach unten, seitlich und hinten, verbunden mit zwei gleichgroßen Wirbeln. So wird verhindert, dass die ausgeatmete Luft direkt wieder auf die Geruchsquelle am Boden trifft und diese zerstreut. Bei einer frei zugänglichen Fläche ist die Hundenase immer so ausgerichtet, dass der ausgeatmete Luftstrahl nach hinten und entlang der gerichteten Grundebene auf dem Boden auftrifft (SETTLES et al., 2003). Aus der Laufrichtung des Hundes gesehen also etwas seitlich und hinter der Hundenase. Zum anderen wird durch den seitlich gerichteten Luftstrahl und die zwei co-rotierenden Wirbel Umgebungsluft mitgerissen. Es entsteht ein Luftstrom nach vorne und nach oben, in Richtung der Nasenlöcher. Durch diese Turbulenzen werden weitere Umgebungsriechstoffe aufgewirbelt und vermischt sowie nach vorne oben in Richtung der Nasenlöcher bewegt, sodass auch sonst unzugängliche Gerüche eingeatmet werden können (CRAVEN, 2010). Letztlich dient der ausgeatmete Luftstrahl auch dazu, verborgene (gebundene) Geruchsspuren von der Oberfläche zu lösen und zu verflüchtigen, denn viele Gerüche lösen sich nahe der Körpertemperatur (SETTLES et al., 2003; CRAVEN et al., 2010).

Messungen der Geschwindigkeiten der Ein- und Ausatemluftströme haben ergeben, dass sich bei einer gleichbleibenden Schnüffelfrequenz über der Geruchsquelle ein quasi-stationärer-Zustand (quasi-steady-state) einstellt (SETTLES et al., 2003, SETTLES, 2005), der Geruchspartikel aus der Quelle durchmischt und in Auftrieb hält, die dann nach und nach in die Nase gelangen. Zusätzlich konnte beobachtet werden, dass Hunde bei einer neuen auf dem Boden befindenden Geruchsquelle immer das gleiche Untersuchungsverhalten zeigen: Kurz vor Erreichen der Duftquelle senken sie die Nase ganz dicht über den Boden, halten öfter inne und arbeiten

sich langsam zur Geruchsquelle vor. Mit den Nasenlöchern direkt über der Quelle angekommen, verharren sie für ein paar Schnüffelzyklen, um dann mit der Nase kurz hinter die Duftquelle zu gehen. Auch hier schnüffeln sie wieder, sodass der ausgeatmete Luftstrahl direkt auf die Quelle zielt, um dann für einige weitere Schnüffelzyklen mit den Nasenlöchern wieder direkt über die Quelle zurückzukehren. Dieses Verhalten begünstigt eine visuelle wie auch olfaktorische Inspektion der Verteilung des Geruchs im Raum und führt zur Inspiration sowohl der Partikel aus dem „steady-state“ als auch der aufgewirbelten Partikel.

Zusammenfassend kann man sagen, dass die externe Nase aufgrund ihrer Anatomie wie eine Druck-Saug-Pumpe wirkt, mit folgenden Vorteilen:

1. Die eingeatmete Luft wird während des Schnüffels in den dorsalen Nasengang kanalisiert und so auf direktem Weg in die Riechregion transportiert. Die Ausatmung erfolgt über den ventralen Nasengang.
2. Die Duftquelle wird durch den Expirationsluftstrahl nicht verstreut.
3. Weitere, sonst unzugängliche, Duftstoffe (wie Umgebungsriechstoffe und feste Partikel) werden erschlossen und dem Riechfeld zur Verfügung gestellt.
4. Durch den „quasi-stationären-Zustand“ ist der Hund in der Lage, die unter den Nasenlöchern befindliche Luft, nebst den darin enthaltenen Geruchsstoffen (lösliche und unlösliche), zu konzentrieren und der Riechschleimhaut in hoher Konzentration zuzuführen.

### **2.2.2.3 Interne Fluiddynamik**

*„The dog's sense of smell is purely functional and not an aesthetic pursuit.“*

*(CARAS, 1993, ©1992)*

Die interne Fluiddynamik der Hundennase und die daraus resultierenden Geruchsfähigkeiten wurde intensiv von CRAVEN et al. (2009; 2010) untersucht, auf deren Ergebnisse sich die folgenden Ausführungen – wenn nicht anders vermerkt – beziehen.

## Kapitel 2

---

Bei der internen Fluidodynamik kommt die komplizierte Naseninnenstruktur der Hundennase zum Tragen, durch die besondere Strömungswege und Strömungsverhältnisse entstehen. Diese ermöglichen es dem Hund, aus der in die Riechregion gelieferten Luftmenge das Maximum an riechbaren Stoffen herauszuziehen.

Bedingt durch die doppelte Funktion von Atmen und Riechen existieren zwei separate Hauptströmungswege.

Nach der Durchmischung der Atemluft im Nasenvorhof wird diese auf den Atemweg und den „Riechweg“ verteilt und so sichergestellt, dass eine repräsentative Geruchprobe in den oberen Nasengang gelangt.

Der Atemluftstrom fließt nach Verlassen des Vorhofes durch die Maxilloturbinate in den Nasopharynx, wo er unter vollständiger Umgehung der Riechregion in die unteren Atemwege eintritt (LAWSON et al., 2012). Mit jedem Atemzug wird aber auch gerochen. Ca. 15 % (LAWSON et al., 2012)<sup>40</sup> der Atemluft werden dabei dem dorsalen Nasengang, dem „Riechgang“, zugeführt. Dieser transportiert die Luft wie eine Art „Bypass für Geruchstoff beladene Atemluft“ (CRAVEN et al., 2007; 2009), mit einer Hochgeschwindigkeitsströmung und unter Umgehung der respiratorischen Atemwege<sup>41</sup>, in den hinteren Bereich der Nase, die Riechregion. An deren Ende angekommen, dreht sich der Luftstrom um 180° und filtert langsam vorwärts durch das olfaktorische Labyrinth der Siebbeinmuscheln, um anschließend über den Nasopharynx die unteren Nasenwege zu betreten (CRAVEN et al., 2010).

LAWSON et al. (2012) haben herausgefunden, dass es drei Strömungswege bei der Filterung durch die Riechregion gibt, den dorsalen, den lateralen und den ventralen. Sie unterscheiden sich vor allem bezüglich der Verweildauer der Geruchstoff beladenen Luft. Der Luftstrom, der durch die dorsale Ethmoturbinalen fließt, verweilt signifi-

---

<sup>40</sup> Unter Einbeziehung der physiologischen Nasenlochbewegungen kann sich dieser Prozentsatz noch erhöhen, allerdings ist das bis jetzt nur für die Ratte nachgewiesen, wo ca. 2-3 % mehr Luft in die olfaktorische Region fließt; Veränderungen der Luftstrommuster haben sich aber nicht gezeigt (KIMBELL et al., 1997, zitiert nach CRAVEN et al., 2010). Aufgrund der ähnlichen Nasenstrukturen von Hund und Ratte vermuten CRAVEN et al. (2010), dass das für den Hund auch so zutrifft.

<sup>41</sup> Ziel ist, den Luftweg über die Maxilloturbinate zu umgehen, um den Verlust von Riechstoffen durch die Absorption von nichtolfaktorischem Gewebe zu vermeiden (LAWSON et al., 2012).

kant länger als die Luftströme, die durch die lateralen und ventralen Ethmoturbinale fließen.

Eine weitere Besonderheit ist, dass der Hund sowohl beim Ein- als auch beim Ausatmen riechen kann. Alle Luftströmungen innerhalb der Nasenhöhle während der Inspiration sind unidirektional und laminar. Aufgrund der Abtrennung der Riechregion vom Nasopharynx durch die Lamina transversa ergibt sich, dass die geruchbeladene Luft noch in der Riechregion verweilen kann und nicht mit ausgeatmet wird, weil sie während der Expiration im Prinzip bewegungslos bleibt (LAWSON et al., 2012; CRAVEN et al. 2010). Dadurch entsteht mehr Zeit für die Trennung der Riechstoffmoleküle von der Luft und deren Absorption.

Aber nicht nur das. Auch die Geruchstoffablagerung wird durch die fluiddynamischen Faktoren beeinflusst. Aufgrund der zyklischen Luftstrommuster in der Riechregion entstehen entlang des Riechepithels räumliche und zeitliche Ablagerungsmuster für verschiedene Riechstoffmoleküle, die LAWSON et al.(2012) genauer untersucht haben.

Es hat sich gezeigt, dass Ort, Schnelligkeit und Menge der Ablagerung von Riechstoffen auf der Schleimhaut von verschiedenen Faktoren abhängt: Zum einen von der Durchflussrate<sup>42</sup>, zum anderen von der Strömungsgeschwindigkeit, aber auch von der Löslichkeit der Geruchsmoleküle. Dabei steht die Abnahme der Durchflussrate in engem Zusammenhang mit der Löslichkeit der Riechstoffe, d. h.: Die Duftmoleküle werden ungleichmäßig entlang der Schleimhaut abgelagert. Leicht lösliche Duftstoffe werden schon zu Beginn der Riechschleimhaut abgeschieden, wo die Durchflussrate noch sehr hoch ist. Mäßig bis schwer lösliche Duftmoleküle werden erst später, nämlich während der „Scrollarbeit“ (LAWSON et al., 2012) durch die dorsale, laterale und ventrale Ethmoturbinale, abgeschieden und so über die gesamte Riechschleimhaut verteilt. Die Abnahme der Konzentration schwer löslicher Ge-

---

<sup>42</sup> Die Durchflussrate beinhaltet hier einerseits das Volumen der mit Geruchsmolekülen beladenen eingeatmeten Luft, aber auch die darin enthaltene Menge der Geruchsmoleküle, also deren Konzentration, da davon ausgegangen wird, dass mit einem höheren Luftvolumen auch die Riechstoffmenge steigt. Die Durchflussrate zeigt hier also das Volumen der Riechstoffmenge pro Zeiteinheit ( $m^3/s$ ) an, welches durch den dorsalen Nasengang und die Riechregion transportiert wird.

## Kapitel 2

---

ruchsmoleküle aus dem Luftstrom, also die Menge der Geruchspartikel, die auf der Schleimhaut abgeschieden werden, ist dabei auch von den Strömungswegen innerhalb der Riechregion abhängig: In den lateralen und ventralen Ethmoturbinaten nimmt die Konzentration aufgrund der relativ kurzen Verweildauer relativ wenig ab, in den dorsalen Ethmoturbinaten wird sie dagegen fast vollständig aufgebraucht, d. h., hier werden die meisten schwer löslichen Stoffe abgeschieden.

Dieses Abscheidungsmuster stimmt mit der Verteilung der olfaktorischen Rezeptorneuronen in der Riechschleimhaut überein. Klasse I, die empfindlich auf leicht lösliche Geruchsmoleküle reagieren, befinden sich hauptsächlich zu Beginn der Riechregion entlang des dorsalen Nasenganges und des Nasenseptums, was auch ihre geringere Anzahl von ca. 25 % erklärt (LAWSON et al., 2012). Die Rezeptoren der Klasse II werden dagegen über die gesamte Riechschleimhaut verteilt exprimiert.

Die Durchflussrate hat somit einen großen Einfluss auf die Ablagerungsmuster mäßiger und schwer löslicher Geruchsstoffe, aber nur einen begrenzten Einfluss auf die leicht löslichen Stoffe, die sowieso schnell abgeschieden werden. Intensives Schnüffeln erhöht die Luftstromgeschwindigkeit im Nasenvorhof und dem dorsalen Nasengang und vermindert so die Ablagerung und Absorption von Geruchsstoffen auf diesen Oberflächen, bevor die Riechregion erreicht ist. Gleichzeitig erhöht sich die Durchflussrate und es gelangt eine größere Menge an Duftstoffen in die Riechregion. D. h., intensives Schnüffeln steigert den Geruchsstofffluss und damit auch insgesamt die Abscheidungsrate in der Riechregion (LAWSON et al., 2012) und ermöglicht es überhaupt erst, dass sowohl leicht als auch schwer lösliche Stoffe die Riechregion<sup>43</sup> erreichen und auch abgeschieden werden können.

---

<sup>43</sup> SETTLES (2005) berichtet von einer Untersuchung, bei der Versuche mit Kohlestaub gemacht wurden. Es stellte sich heraus, dass bei einer normalen Atmung die Kohlestaubpartikel vornehmlich im vorderen Nasenhöhlenbereich, ventral der Maxilloturbinate, gefunden wurden. Nach intensiven Schnüffeln erreichten die Partikel auch die Riechregion.

### **2.2.2.4 Geruchstoffaufnahme und Weiterleitung der Geruchsinformation**

Während der Luftstromtransport in die Riechregion advektiver Natur ist, kommt es nach Abscheidung der Duftmoleküle an der Schleimhaut zur Diffusion durch den Schleim, in den die Bindungsrezeptoren eingebettet sind.

Dabei sind vermutlich die Transportproteine (OBP) unterstützend beteiligt. Die kurze Diffusionszeit (0,1 s) zu den Rezeptoren und die kurze Verweildauer (1 ms) an den Rezeptoren zeigen, dass die Geruchsmoleküle mit Abscheidung auf der Schleimhaut sehr schnell an die Rezeptoren gebunden und danach sehr zügig abgebaut werden<sup>44</sup> (LAWSON et al., 2012). Aus diesem Grund ist ein schneller Transport in die Riechschleimhaut und an die richtigen Rezeptoren für die Riechleistung des Hundes von hoher Bedeutung.

Der erste Schritt bei der olfaktorischen Diskriminierung ist das Zusammenspiel des Geruchsliganden mit einem spezifischen Rezeptor auf der Oberfläche der Riechsinneszellen (MOMBAERTS, 1999).

Die Bindung an die Rezeptoren erfolgt dabei nach folgenden Gesichtspunkten (MALNIC et al., 1999; BUCK, 2005):

1. *Jeder Duftstoff hat aufgrund seiner Struktur einen eigenen Rezeptorcode.*  
Strukturmerkmale, die für die Erkennung von Bedeutung sind, sind vor allem die Kohlenstoffkettenlänge und die funktionelle Gruppe. Kleinste Veränderungen daran führen zur Änderung des Rezeptorcodes.
2. *Ein Rezeptor kann ein oder mehrere Geruchstoffe erkennen, aber in unterschiedlicher Intensität.*  
Rezeptoren erkennen die Duftstoffe anhand ihres Rezeptorcodes (ihrer Struktur).

---

<sup>44</sup> LAWSON et al. (2012) fanden heraus, dass die Geruchsmoleküle mit Eintreffen auf der Epitheloberfläche sofort gebunden werden. Werden die Rezeptoren nicht gesättigt, geht die effektive Geruchsstoffkonzentration gleich wieder gegen Null. Der Abbau erfolgt vermutlich durch Riechstoff abbauende Enzyme und auch durch die OBP oder durch vaskuläre Clearance.

## Kapitel 2

---

Geruchstoffe mit ähnlicher Struktur können von einem Rezeptor erkannt werden, aber die ausgelöste Zellreaktion ist unterschiedlich.

3. *Ein Geruchstoff wird von mehreren verschiedenen Rezeptoren erkannt.*

Rezeptoren, die nah verwandt sind, können ähnliche Geruchstoffe erkennen, je näher sie verwandt sind, desto ähnlicher ist auch die Zellreaktion, die durch den Geruchstoff ausgelöst wird. Auch die Konzentration spielt hier eine Rolle. Bei höheren Konzentrationen kann ein Geruchstoff an zusätzlichen Rezeptoren binden. Der ausgelöste Schwellenwert für die Signaltransduktion kann bei verschiedenen Rezeptor-Ligand-Kombinationen stark variieren.

4. *Verschiedene Geruchstoffe lösen unterschiedliche Kombinationen aus.*

Ein Geruchstoff wird aufgrund seiner Struktur von beispielsweise acht Rezeptoren erkannt, zwei weitere Geruchstoffe werden auch von den gleichen Rezeptoren erkannt, aber nicht vom identischen Rezeptorset. D. h., verwandte Geruchsstoffe zeigen dabei mehr oder weniger überlappende Rezeptorkombinationen. Diese Kombinationen werden später im Gehirn ausgewertet.

Durch den Rezeptorcode eines jeden Geruchsstoffes, verbunden mit der Anzahl von 872 aktiven Rezeptoren beim Hund, können somit unendlich viele Kombinationen gebildet werden.

Hat ein Geruchstoff an einen Rezeptor gebunden, wird eine Signaltransduktion ausgelöst, bei der der chemische Duftreiz in ein elektrisches Zellsignal umgesetzt wird, welches entlang des Axons weitertransportiert werden kann.

Mit Bindung des Geruchstoffes ändert der Rezeptor seine Gestalt und stimuliert die membranständige Adenylatcyclase. Diese synthetisiert große Mengen des intrazellulären Botenstoffes cAMP, der als second-messenger an Ionenkanäle der Zellmembran bindet, sie öffnet, positive Ionen ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ) in die Zelle einströmen und das Membranpotenzial sinken lässt. Die Zelle depolarisiert und negative Ionen ( $\text{Cl}^-$ ) strömen aus der Zelle hinaus in die Schleimschicht, die Depolarisation wird verstärkt. Dabei handelt es sich um Alles-oder-Nichts-Reaktionen. Wird der Schwellenwert er-



reicht, entsteht ein Aktionspotential, welches über das Axon der Zelle in den Riechkolben weitergeleitet wird.

Zusammengefasst heißt das: Geruchsstoffe erzeugen in den Zilien der Riechsinneszelle ein Rezeptorpotential, welches sich über den Dendriten bis zum Zellkörper fortpflanzt, dort eine Reihe von Aktionspotentialen auslöst, die wiederum die nun elektrisch verschlüsselte Geruchsinformation an den Riechkolben senden<sup>45</sup>.

## 2.2.3 Informationsverarbeitung

*„Nichts in der Welt macht Vergangenes so lebendig wie der Geruch.“*

*(MARLITT, 1888)*

Insgesamt ist die neuronale Verschaltung von Geruchsinformationen im Gehirn noch recht wenig erforscht. In Bezug auf die Verarbeitung der Geruchsreize in der ersten Gehirnstation, dem Bulbus olfactorius, liegen jedoch schon reichhaltige Erkenntnisse vor. Deshalb soll sich in diesem Abschnitt weitgehend auf die Verarbeitung im Riechkolben beschränkt werden. Für die weiterführende Verarbeitung im Gehirn wird deshalb auf den neuro-anatomischen Überblick (Punkt 2.1.3 „Das Empfangsorgan (Großhirn)“, S. 22) verwiesen.

Insbesondere drei Aspekte spielen bei der Codierung von Geruchsreizen anscheinend eine Rolle (BEAR et al., 2009):

1. Die Vermittlung und damit Abbildung eines Geruchs durch eine Vielzahl von Neuronen und einen daraus entstehenden Ensemble-Code.
2. Die räumliche Anordnung der für bestimmte Gerüche spezifischen Neuronen und eine daraus entstehende topographische Karte.

---

<sup>45</sup> Über die Transduktion von Reizen durch VSN (Vomero Sensorische Neuronen) ist wenig bekannt (MOMBAERTS, 2004).

## Kapitel 2

---

3. Die zeitliche Codierung einlaufender Aktionspotentiale, wozu es aber noch zu wenig Forschung gibt.

Im Riechkolben angekommen, werden die Axone der Riechzellen sortiert. Neurone, die einen bestimmten Rezeptortyp exprimieren, ziehen zu unterschiedlichen Glomeruli (BUCK, 1996; BUCK, 2005). Hierbei dienen die Rezeptoren an den Axonen vermutlich als Erkennungsproteine, die den Weg weisen (AXEL, 2005).

Für jeden Rezeptortyp gibt es nur ein bis zwei topographisch festgelegte Glomeruli. D. h.: Nicht nur jede Riechzelle in der Nase, sondern auch jeder Glomerulus im Riechkolben scheint sich auf einen Rezeptortyp spezialisiert zu haben (MALNIC et al., 1999; BUCK, 2005). Bei der Maus gibt es ca. 2000 Glomeruli und in jedes ziehen einige 1000 Axone. Da Rezeptorzellen im Riechepithel in vier Zonen fixiert sind und ihre Axone in nur wenigen Glomeruli zusammenlaufen, heißt das, dass die in vier Zonen organisierte Geruchsinformation im Riechkolben ankommt und dann neu in eine sensorische Karte umorganisiert wird (MALNIC et al., 1999). Der Codierung der Geruchsstoffe durch eine Rezeptorkombination im Riechepithel entspricht im Riechkolben ein räumliches Muster aktivierter Glomeruli (AXEL, 2005).

Die Form des Musters hängt auch von der Art und der Konzentration des Geruchs ab. Jeder Rezeptor in der Riechschleimhaut kann mehrere Geruchsmoleküle erkennen und jedes Geruchsmolekül kann an mehrere Rezeptorneuronen binden (QUIGNON et al., 2005). Dies geschieht jedoch mit unterschiedlicher Präferenz und Intensität, sodass jede Rezeptorzelle mehr oder weniger empfindlich gegenüber der chemischen Struktur des jeweiligen Duftstoffes ist (BEAR et al., 2009). Als Folge werden von einem Duftstoff viele der insgesamt 1000 Rezeptoren aktiviert, manche mehr, manche weniger, manche gar nicht. Auch die Konzentration des Geruchsstoffes spielt eine Rolle, je höher die Konzentration, desto mehr verschiedene Rezeptoren werden möglicherweise aktiviert. Jede Riechzelle liefert also mehrdeutige Informationen über die Art und die Konzentration eines Geruchs (BEAR et al., 2009), die so jeweils auch Einfluss auf die Rekrutierung der Glomeruli und damit auch auf die räumlichen Aktivitätsmuster im Riechkolben haben. Ensemble-Code und eine Ver-

schlüsselung der Qualität durch ein räumliches Aktivitätsmuster der Glomeruli greifen somit ineinander.

In den Glomeruli treffen die Axone der Riechzellen auf die Dendriten der Mitralzellen, die ebenfalls nur von einem Glomerulus angesprochen werden (BUCK, 2005). Signale von ca. 5000 Neuronen mit gleichem Rezeptor treffen in zwei bis vier Glomeruli mit ungefähr 50 Mitralzellen zusammen, wodurch ein hohes Maß an Signalverstärkung erreicht und die Empfindlichkeit für niedrige Geruchskonzentrationen maximiert wird (BUCK, 2005). Die Weiterleitung zu den höheren zentralen Gebieten findet über die Axone der Mitralzellen statt, die durch lokale inhibitorische Regelkreise modifiziert und reguliert werden (MOMBAERTS, 1999).

Im anterioren olfaktorischen Nukleus werden die Informationen der beiden Riechkolben über die Commissura rostralis ausgetauscht, sodass jeweils die Geruchsinformationen beider Riechkolben weiter verarbeitet werden können. Das geschieht über den Lobus piriformis, den kortikalen Kern der Amygdala, den Thalamus und durch neokortikale Bereiche, wie z. B. dem orbitofrontalen Kortex (LLEDO et al., 2005).

Der Thalamus ist das Tor zum Bewusstsein, die Hauptumschaltstelle zwischen Sinnesorganen und Neocortex. Er hat die Aufgabe, nur bedeutsame Reize der kontrollierten, bewussten Verarbeitung zugänglich zu machen. Diese wichtige Umschaltstelle kann vom Geruchssinn umgangen werden. Es werden zwar auch geruchliche Informationen an den Thalamus geleitet, der sie an den Neokortex weitergibt, sie können aber ebenfalls über den primären olfaktorischen Kortex oder das limbische System direkt zum orbitofrontalen Kortex weitergeleitet werden. Das ist eine herausragende Besonderheit des Geruchsinns.

Ein Beispiel für die Verarbeitung stellt beim Hund die Lokalisation der Geruchsquelle durch die separate Aufnahme von Duftproben über das rechte und linke Nasenloch dar. Über die Rezeptoren in der Nasenschleimhaut findet dadurch in der linken und rechten Nasenhöhle eine unterschiedliche Codierung der Geruchsinformation statt, die bilateral weitergeleitet wird und zu unterschiedlichen Aktivitätsmustern in den

beiden Riechkolben führt. Die hier neu codierten Informationen werden über die Commissura rostralis ausgetauscht, sodass bei der Weiterleitung die Informationen des jeweils anderen Riechkolbens mit verarbeitet und durch die räumlich empfänglichen Neuronen zur Lokalisation der Geruchsquelle genutzt werden können<sup>46</sup>.

### 2.2.4 Adaptation

*„Practical Advice: Be aware of the phenomenons of adaptation (and cross-adaptation). This may make it impossible for the dog to locate the source of a smell, since the environment is already satiated with the smell. Adjust your training and search method to this.”*

(SCHOON & HAAK, 2002)

Unter Adaptation versteht man einen physiologischen Gewöhnungsprozess, der zu einer Herabsetzung der Empfindlichkeit (MÜCKE & LEMMEN, 2010) der olfaktorischen Rezeptoren führt und dafür sorgt, dass ein bestimmter Geruch vorerst nicht mehr gerochen werden kann. Auf molekularer Ebene bedeutet das zweierlei (HATT, 2003): Einerseits schließen sich über einen Rückkopplungsmechanismus die bei der Erregung der Zelle geöffneten Kationen-Kanäle und die Zelle polarisiert wieder. Andererseits wird über cAMP auch ein Enzym (Proteinkinase A) aktiviert, das durch die Phosphorylierung von Natrium- und Calcium-Kanalproteinen diese Ionenkanäle wieder abschalten kann. Da diese Kanäle für die Depolarisation der Zelle und damit für die Entstehung eines Aktionspotentialstroms verantwortlich sind, wird nach Schließung der Kanäle eine Dufterregung nicht mehr von der Nase ins Gehirn geleitet und so ein Duft nicht mehr gerochen. MÜCKE & LEMMEN (2010) beschreiben es so: Mit der Adaptation steigt die Reizschwelle an und die Empfindungsstärke nimmt ab, dabei ist das Ausmaß für beides abhängig von der Konzentration des Geruchsstoffes. Die Reizschwelle steigt anfangs schnell, dann langsamer, bis sie bei einem Vielfa-

---

<sup>46</sup> Nachgewiesen ist dies bisher nur für die Ratte (RAJAN et al., 2006). Die Untersuchungen von CRAVEN et al. (2010) sowie SETTLES et al. (2003) und der Umstand, dass Ratte und Hund sehr viele Ähnlichkeiten im nasalen Aufbau haben, lassen jedoch vermuten, dass es auch auf den Hund zutrifft.

chen das Adaptationsplateau erreicht und konstant bleibt. Bei hohen Geruchsstoffkonzentrationen dauert es länger bis das Plateau erreicht ist. Ein lang anhaltender Geruchsreiz, insbesondere in Verbindung mit einer hohen Konzentration kann zur vollständigen Adaptation führen (man riecht nichts mehr). Die Erholungsphase, auch Deadaptation genannt, hat einen ähnlichen Verlauf. Aber hier nimmt die Empfindlichkeit gegenüber dem Geruchsreiz zunächst schnell, dann langsamer zu, bis sie den ursprünglichen Wert erreicht hat. Kommt es zu einer Adaptation, ist sie auf den gerade wahrgenommenen Geruch begrenzt, die Schwelle für andere Gerüche bleibt unverändert.

Es gibt aber auch Kreuzadaptationen, bei denen die Gewöhnungsreaktion auch andere Gerüche einbezieht. Dieses Phänomen ist einige Male für verschiedene Gerüche berichtet worden, aber weder ist der Mechanismus dazu bekannt, noch kennt man alle möglichen Kreuzadaptationen (SCHOON & HAAK, 2002; MÜCKE & LEMMEN, 2010).

SCHOON & HAAK (2002) nennen zwei Beispiele aus der Hundearbeit für Adaptation: Die Suche nach einem bestimmten Geruch in einem Raum (z. B. bei der Suche nach Rauschgift) und das Verfolgen einer Fährte. Im ersten Fall adaptiert der Hund aufgrund der gesättigten Raumluft<sup>47</sup>. Im zweiten Fall befindet er sich mit der Nase zu lange und zu tief auf der Spur. In beiden Fällen kann Adaptation dazu führen, dass der Hund die eigentliche Geruchsquelle nicht lokalisieren kann.<sup>48</sup>

---

<sup>47</sup> Hier weisen SCHOON & HAAK (2002) aber auch auf andere Ursachen für den Misserfolg hin. So kann z. B. auch ein fehlendes Konzentrationsgefälle der Grund dafür sein, dass der Hund die Quelle nicht lokalisieren kann.

<sup>48</sup> Adaptation ist vielfach auch der Grund dafür, dass Hunde beim Verfolgen eines Geruchs im Zick-Zack laufen. Durch das Einatmen anderer Gerüche kommt es zur Deadaptation („die Nase ist wieder frei“) und sie können den ursprünglich verfolgten Duft wieder wahrnehmen. Dieses Verhalten ist gerade auch beim Personenspürhund, der sich ja alleine am Individualgeruch orientiert häufig zu beobachten.

### 2.3 Forschung zum menschlichen Geruch

*„Er wollte sich, und wenn es vorläufig auch nur ein schlechtes Surrogat war, den Geruch der Menschen aneignen, den er selbst nicht besaß. Freilich den Geruch der Menschen gab es nicht, genauso wenig wie es das menschliche Anlitz gab. Jeder Mensch roch anders, niemand wusste das besser als Grenouille, der Tausende und Abertausende von Individualgerüchen kannte und den Menschen schon von Geburt an witternd unterschied.“*

(SÜSKIND, 1985)

Jeder weiß es: Menschen riechen. Der eine mehr, der andere weniger. Den einen mag man riechen, den anderen nicht. Nach körperlicher Anstrengung riecht man mehr als in Ruhe. Gerüche im Allgemeinen und menschlicher Geruch im Besonderen wirken – auf einen selbst und auf andere. Und jeder riecht ganz individuell.

Literatur (z. B. Patrick Süskinds Roman ‚Das Parfum‘) und Redensarten (z.B. „...den riecht man drei Meilen gegen den Wind.“) setzen sich mit *dem* menschlichen Geruch auseinander.

Ein ganzer Industriezweig beschäftigt sich damit, den Menschen für sich und andere gut und besser riechen zu lassen und forscht u.a. im Rahmen der Deodorant- und Antitranspirantentwicklung schon seit längerem auf diesem Sektor der Körpergerüche.

Aber sind die gewonnen Erkenntnisse von der Zusammensetzung des meist überliechenden Achselgeruchs gleichzusetzen mit *dem* menschlichen Geruch? Besteht menschlicher Geruch nicht aus viel mehr als aus von Bakterien zersetztem überliechendem Schweiß? Was genau macht den Geruch eines jeden einzelnen Menschen eigentlich aus?

Im Zusammenhang mit dieser Arbeit ist natürlich von großem Interesse, was denn Hunde eigentlich genau riechen, wenn sie einen menschlichen Geruch detektieren, diskriminieren, identifizieren, aufspüren oder verfolgen.

Jedoch ist es in Bezug auf den menschlichen Geruch im Allgemeinen und den individuellen menschlichen Geruch im Besonderen ähnlich wie bei der Erforschung des Geruchssinns. Trotz intensiver und inzwischen auch schon fortgeschrittener Forschung, gibt es noch viel Unwissenheit. Die Herkunft und Zusammensetzung des individuellen Geruchs des Menschen ist noch nicht vollständig geklärt und wird noch diskutiert (RAJAN et al., 2013).

Das trifft in besonderem Maße auf den von Hunden wahrgenommenen menschlichen Geruch zu. Solange unbekannt ist, was genau menschlicher Individualgeruch ist, solange ist es schwierig zu beurteilen, welche Komponenten der Hund bei einer Suche nutzt.

### 2.3.1 Individualgeruch – Produktion und Zusammensetzung

*„Es gab (...) keinen Menschen, den er nicht geruchlich kannte, wiedererkannte und in der jeweiligen Einmaligkeit fest im Gedächtnis verwahrte.“*

(SÜSKIND, 1985)

Einigkeit herrscht darüber, dass menschlicher Geruch eine sehr komplexe Kombination aus mehreren Ausscheidungsprodukten des Körpers (z. B. Hautzellen, Schweiß, Hautfette, VOC's<sup>49</sup>, etc.) ist, die durch Genetik, Umwelt, Ernährung, Geschlecht, Alter, physiologische Körperprozesse sowie Gesundheit beeinflusst und verändert werden (BROWN, 1995; CURRAN et al., 2005 a; 2005 b; 2005 c; 2006, 2007; 2010 a; 2010 b; PENN et al. 2007; PRADA & FURTON, 2008; LENOCHOVA & HAVLICEK, 2008; YAMAZAKI et al. 2010; PANDEY & KIM, 2011; RAJAN et al., 2013; PRADA et al., 2015).

---

<sup>49</sup> VOC = Volatile Organic Compounds. Es handelt sich dabei um flüchtige chemische Verbindungen, denen ein Extraabschnitt gewidmet wird (siehe 2.3.1.3 „Chemische Zusammensetzung menschlichen Geruchs – VOCs“, S. 53).

## Kapitel 2

---

So konnten MEBAZAA et al. (2010) beispielsweise nachweisen, dass die Ernährung mit Bockshornklee oder Knoblauch zur Veränderung der im Schweiß enthaltenen chemischen Bestandteile führt. Auch haben chromatographische Untersuchungen menschlichen Geruchs verschiedene chemische Verbindungen angezeigt, die später z. B. kosmetischen Produkten zugeordnet werden konnten.

Aber trotz der Beeinflussung durch so viele Faktoren ist menschlicher Individualgeruch so einzigartig wie ein chemischer Fingerabdruck (PENN et al., 2007; RAJAN et al., 2013), da die Individualisierung des Geruchs zum einen durch das Vorhandensein einzelner Verbindungen als auch durch ihr Verhältnis zueinander bestimmt wird (CURRAN et al., 2005 a; 2005 c; RAJAN et al., 2013). Menschlicher Geruch oder auch menschlicher Körpergeruch ist also nicht gleichzusetzen mit menschlichem Individualgeruch, wenngleich er in ihm vorhanden ist.

Zur besseren Übersicht und Vereinfachung wird menschlicher Geruch deshalb in drei Kategorien eingeteilt (CURRAN et al., 2005 b; 2005 c; 2010 b; SCHOON et al., 2009; RAJAN et al., 2013):

### 1. Primärgeruch:

Er stellt die Grundlage der Individualisierung dar. Er ist chemisch stabil, d. h., er bleibt über die Zeit und unabhängig von beeinflussenden Faktoren konstant. Er ist genetisch<sup>50</sup> bedingt und wird vermutlich durch den Major-Histokompatibilitäts-Komplex (MHC)<sup>51</sup> bewirkt.

### 2. Sekundärgeruch:

Er entsteht durch Nahrungs- und (interne) Umwelteinflüsse (z.B. Menstruationszyklus, Geschlecht, Alter, Gesundheit, etc.) auf den Primärgeruch.

### 3. Tertiärgeruch:

Er entsteht durch von außen aufgebraachte externe Umwelteinflüsse, die auf den

---

<sup>50</sup> Der Sinn eines genetisch vermittelten Individualgeruchs bei Säugetieren und der Fähigkeit diesen zu erkennen, wird vor allem in der sozialen Interaktion gesehen (Selbsterkennung, Geschlechterkennung, Verwandtschaftserkennung, Nichtverwandtschaftserkennung) und dient zum einen dem (Wieder-) Erkennen der familiären Zugehörigkeit und zum anderen der sexuellen Selektion (LENOCHOVA & HAVLICEK, 2008).

<sup>51</sup> Nähere Informationen hierzu siehe Punkt 2.3.1.1 „Major-Histokompatibilitäts-Komplex (MHC)“, S 47.



Primär- und Sekundärgeruch einwirken. In der Regel handelt es sich dabei um kosmetische Produkte, die zum Teil auch Bestandteile enthalten, die durch den Körper selbst produziert werden und diese reduzieren (z.B. Antitranspirantien) oder verstärken (z. B. Hautcremes). Aber auch chemische Bestandteile, die aus der Luft oder durch den Kontakt mit anderen Subjekten bzw. Gegenständen abgelagert werden, sind hierunter zu verstehen.

In einer gesammelten Geruchsprobe ist es schwierig, zwischen Primär-, Sekundär- und Tertiärgeruch zu unterscheiden, was die Erforschung menschlichen Geruchs an Grenzen stoßen lässt. Deshalb wird hier sehr viel fachübergreifend und auch mit Bio-detektoren geforscht.

Untersuchungen mit eineiigen und zweieiigen Zwillingen unterstützen die obige Einteilung und die Hypothese, dass Individualgeruch genetisch bedingt ist; eine Unterscheidung war entweder nur aufgrund der genetischen Unterschiede (dizygote Zwillinge) oder durch unterschiedliche Umweltbedingungen möglich, wobei die Unterscheidung allein durch das Umfeld mit mehr Fehlern behaftet war (LENOCHOVA & HAVLICEK, 2008)<sup>52</sup>.

### **2.3.1.1 Major-Histokompatibilitäts-Komplex (MHC)**

Der MHC stellt eine Gruppe von Genen bei Säugetieren dar, die Oberflächenglykoproteine (MHC-Proteine) für die Immunabwehr codieren (WEDEKIND, 2000; JANEŠ et al., 2010), beim Menschen für das HLA-System<sup>53</sup>.

Über diesen Mechanismus steuern MHC-Gene die immunologische Selbst-Nichtselbst-Diskriminierung (WEDEKIND, 2000).

---

<sup>52</sup> Beispiele sind u.a. die Untersuchungen von KALMUS (1955), HEPPER (1988), ROBERTS et al. (2005), HARVEY et al. (2006); auf die jeweils an anderer Stelle (2.4.2.4 „Diskriminierungsfähigkeit des Geruchs von Zwillingen“, S. 83) noch genauer eingegangen wird.

<sup>53</sup> Human-Leukocyt-Antigen-System.

## Kapitel 2

---

Seitdem YAMAZAKI (1976) hat nachweisen können, dass Mäuse Partner bevorzugen, deren MHC-Komplex unterschiedlich zu ihrem eigenen ist und dies an dem Geruch erkennen können, wurde viel in die Richtung geforscht, ob der MHC für die Produktion eines individuellen Körpergeruchs verantwortlich sein könnte.

SCHÄFER et al. (2001) konnten nachweisen, dass durch Veränderung nur eines Gens im MHC von Mäusen, sich deren, im Urin repräsentierter, Individualgeruch ebenfalls verändert. SINGER et al. (1997, zitiert nach CURRAN et al., 2005 a) stellten fest, dass die Modifikation am MHC sich auf die Konzentration flüchtiger organischer Bestandteile (VOC) im Mäuseurin auswirkt, was dann zu der Variation im Individualgeruch führt. EGGERT et al. (1998) wiederum konnten zeigen, dass auch die Uringerüche des Menschen mit dem MHC in Verbindung stehen und demonstrierten, dass auch das Profil von VOCs mit dem MHC verknüpft ist.<sup>54</sup>

Inzwischen wird der MHC von der aktuellen Forschung als Quelle des einzigartigen Individualgeruchs gesehen (FERSTL et al., 1992; YAMAZAKI et al., 1990; EGGERT et al., 1998; 1999; YAMAZAKI et al., 1999; 2000; SCHAEFER et al., 2001; 2002; SANTOS et al., 2005; HURST et al., 2005; CURRAN et al., 2005; HAVLICEK & ROBERTS, 2009; KWAK et al., 2010; PRADA et al., 2015).

Begründet wird dies mit einer chemischen Identität des MHC (EGGERT et al. 1999) und seinem hohen Polymorphismus (EGGERT et al., 1998; 1999; YAMAZAKI et al., 1999; 2000; SANTOS et al., 2005; PRADA et al., 2015), dessen Antrieb die sexuelle Selektion ist (WEDEKIND, 2000; MILINSKI et al., 2013). Durch diese hohe genetische Vielfalt des MHC wird verhindert, dass zwei Personen (mit Ausnahme homozygoter Zwillinge) den gleichen MHC und damit den gleichen Individualgeruch besitzen (EGGERT et al., 1999), obwohl miteinander verwandte Individuen ähnliche MHC und damit ähnliche Gerüche aufweisen.

Unbeantwortet ist allerdings noch die Frage, wie der MHC die Geruchsbildung beeinflusst. Hierzu gibt es mehrere Hypothesen, die durchaus auch zusammenwirken

---

<sup>54</sup> Sie führten dafür zwei Versuche durch: Zum einen trafen trainierte Ratten eine Zuordnungsentcheidung, zum anderen wurden die MHC-assoziierten Geruchssignale gaschromatographisch untersucht.

könnten und von mehreren Autoren dargestellt werden (WEDEKIND, 2000; CURRAN et al., 2005 a; PRADA & FURTON, 2008; HAVLICEK & ROBERTS, 2009; CURRAN et al., 2010 b; MILINSKI et al., 2013; PRADA et al., 2015):

1. Lösliche MHC-Proteine treten in Körpersekreten auf, und scheinen durch bakterielle Aktivität in geruchliche Substanzen umgewandelt zu werden<sup>55</sup>.
2. MHC-Moleküle fungieren als Geruchstoffträger, indem Peptide mit flüchtigen Stoffwechselprodukten selektiv an lösliche MHC-Derivate binden und dabei die spezifische Binderegion des MHC-Moleküls besetzen. Die Peptide selbst sind Vorstufen der Geruchstoffe<sup>56</sup>.
3. Der MHC modelliert das Spektrum der Mikroflora und ihrer Stoffwechselprodukte und beeinflusst so den Individualgeruch.
4. Koexpression von Geruch produzierenden Genen in der MHC-Region (EGGERT et al., 1999). MHC-Moleküle verändern ihre Konformation, um flüchtige Stoffe (VOC) binden zu können. Dabei binden die VOC's in der besonderen Form (U-Form<sup>57</sup>) des MHC, der diesen „Cocktail“ über den Blutstrom zum Renalsystem, den Schweißdrüsen sowie den Speicheldrüsen transportiert (THOMAS, 1995, zitiert nach HARVEY, 2006). Hier wird das MHC-Protein abgebaut und die flüchtigen Stoffe freigegeben.<sup>58</sup>

---

<sup>55</sup> Zwar wurden MHC-Moleküle und zerlegte Teile davon im Urin und Schweiß gefunden, dennoch halten PRADA et al. (2015) diese Hypothese für unwahrscheinlich. Sie begründen das damit, dass es sich zum einen um große, nicht flüchtige Moleküle handelt, während die bisher ermittelten MHC-assoziierten Gerüche alle flüchtig waren. Zum anderen führen sie an, dass die Zerstörung von MHC-Proteinen im Mäuseurin nicht zu einer Unterscheidungsfähigkeit des MHC vermittelten Geruchs führte.

<sup>56</sup> Diese Hypothese wird als attraktiv angesehen, weil sie die Antigenbindungsstelle des MHC-Moleküls bei der Festlegung eines allerspezifischen Geruchs einbezieht (SCHAEFER et al., 2002; CURRAN et al., 2010 b).

<sup>57</sup> Jedes MHC-Protein ist ein Dimer und besteht aus zwei Polypeptiden,  $\alpha_1$ - und  $\alpha_2$ -Ketten, die die Seitenwände bilden und dem  $\alpha$ - $\beta$ -Faltblatt, das die Basis des U's bildet (ROITT et al., 1985, zitiert nach HARVEY, 2006).

<sup>58</sup> Diese These scheint sich zu erhärten. Neuere Studien, z.B. VERHULST et al. (2013), zeigen, dass die MHC-Gene des Menschen (= HLA-Gene) direkt mit den VOC der menschlichen Haut und der Mosquitoattraktivität korrelieren.

### 2.3.1.2 **Zusammenhang zwischen menschlicher Haut und Individualgeruch**

*„Der Traum ist der beste Beweis dafür, dass wir nicht so fest in unsere Haut eingeschlossen sind, als es scheint.“*

(HEBBEL, o.J.)

Die menschliche Haut ist als größtes Organ des menschlichen Körpers der Schlüssel bei der Abscheidung von Geruch (PRADA et al., 2015).

Sie besteht aus Epidermis und Dermis. Die darunter liegende Subcutis aus lockerem Binde- und Fettgewebe stellt die Verbindung zwischen Dermis und Muskulatur und Knochen dar. Zusammen haben die drei Schichten Schutz-, Isolierungs-, Energiespeicherungs- und Stoffwechselfunktionen (RAJAN et al., 2013; PRADA et al., 2015).

Die Epidermis besteht aus einem mehrschichtigen Epithel aus Keratozyten, die in der Basalmembran von den Basalzellen gebildet werden, auf dem Weg nach oben absterben und immer weiter abflachen. Die Lebensdauer einer Epithelzelle beträgt ca. 36 Stunden, dann wird sie abgestoßen (SYROTUCK, 1980, ©1972; CURRAN et al., 2010 b). Zwei bis mehrere abgestoßene Zellen finden sich zu sog. Zellplatten („rafts“) mit einem Durchschnittsdurchmesser von ca. 14  $\mu\text{m}$ , einer Größe von 5  $\mu\text{m}$  bis 50  $\mu\text{m}$  (SETTLES, 2005) und einem Gewicht von ca. 0,07  $\mu\text{g}$  zusammen. Sie beinhalten alle Körpersekrete, die über die Haut abgegeben werden sowie die Bakterien aus der Hautmikroflora (SYROTUCK, 1980, ©1972; CURRAN et al., 2010 b). Die Erneuerung alle ein bis zwei Tage bedeutet demnach die Freigabe von ca. einer Million, mit Mikroorganismen bedeckten Hautschuppen pro Minute<sup>59</sup>. Darüber hinaus ist in den Hautschuppen noch mitochondriale DNA enthalten, sodass jeder Mensch kontinuierlich viele Exemplare seiner DNA in die Umgebungsluft abgibt (SETTLES,

---

<sup>59</sup> An anderer Stelle wird von 667 Zellen pro Sekunde gesprochen (CURRAN et al., 2010 b).

2005; 2007)<sup>60</sup>. Die Abscheidung der Hautschuppen kann nicht unterdrückt werden und kann deshalb zur DNA-Analyse (SETTLES, 2005) und natürlich zur Identifikation über den Geruch herangezogen werden.

Die Lederhaut (Dermis) besteht aus dichtem Bindegewebe, ist reich an Blutgefäßen sowie Nerven und beinhaltet mehrere Anhangsgebilde wie Nägel, Haare, Talg- und Schweißdrüsen (ekkrine sowie apokrine) und Ohrschmalzdrüsen. Ihre Sekrete enden über lange Kanäle, die die Epidermis passieren, auf der Hautoberfläche (STEIGLEDER, 1992).

Talgdrüsen sind alveoläre, holokrine Drüsen, die sich meist dort befinden, wo Haare sind, in deren Haarschaft sie i. d. R. münden (Ausnahmen: Lippen und Augenlider, hier enden sie direkt auf der Hautoberfläche); Hand und Fußflächen enthalten keine Talgdrüsen (STEIGLEDER, 1992). Auch, wenn sich die Talgdrüsen nicht auf der gesamten Hautoberfläche befinden, wird der Talg aufgrund seiner Konsistenz und seiner Fließgeschwindigkeit (ca. 3 cm pro Sekunde) bei Körpertemperatur überall hin verteilt und ist folglich auf der gesamten Hautoberfläche zu finden (STEIGLEDER, 1992; TEBRICH, 1993). Das Sebum besteht aus einer komplexen Mischung aus freien und gebundenen Fettsäuren, Wachs, Alkoholen, Sterolen, Terpenen und Kohlenwasserstoffen (TEBRICH, 1993; GALLAGHER et al., 2008); die organischen Komponenten sind sehr vielfältig und werden durch Ernährung, Genetik (CURRAN et al., 2010 b) und Alter<sup>61</sup> (STEIGLEDER, 1992) beeinflusst. CURRAN et al. (2010 b) zitieren Quellen, nach denen durch Hydrolyse des Sebums eine Mischung aus Fettsäuren resultiert, in der die freien Fettsäuren durchschnittlich zwischen 15 % und 25 % variieren. Ebenso zitieren sie Untersuchungen über die biochemische Einzigartigkeit von Hautlipiden, die suggerieren, dass bereits leichte Differenzen in der Zu-

---

<sup>60</sup> Untersuchungen des Hausstaubes in Häusern und Büros haben ergeben, dass dieser hauptsächlich (70 % bis 90 %) aus menschlichen Hautschuppen besteht, die wiederum mit Mikroorganismen überdeckt sind (SETTLES, 2005; 2007).

<sup>61</sup> STEIGLEDER (1992) schreibt, dass in der menschlichen Haut nach der Geburt reichlich Talgdrüsen vorhanden sind und der Talgspiegel hoch ist. Im ersten Lebensjahr bilden sie sich zurück, weshalb bis zur Pubertät entsprechend wenig Fett an der Hautoberfläche nachzuweisen ist. Dennoch zerfallen in dieser Zeit auch Zellen, sodass mit einer geringen Fettung der Oberfläche zu rechnen ist. In der Pubertät kommt es zu einer neuen Vollreife und Funktion der Talgdrüse.

## Kapitel 2

---

sammensetzung des Talgdrüsenfettsäurengemisches zu dem einzigartigen individuellen Geruch beim Menschen führen könnten.

Schweißdrüsen werden in ekkrine und apokrine Drüsen eingeteilt. Während die ekkrinen Schweißdrüsen über die ganze Haut verteilt sind (mit einer hohen Dichte an den Handinnenflächen, den Fußsohlen und der Stirn), befinden sich die apokrinen Schweißdrüsen nur in bestimmten Körperregionen, nämlich Achselhöhlen, Brustwarzenhof und Genitalien (GALLAGHER et al., 2008; CURRAN et al., 2010 b).

Das Sekret der ekkrinen Schweißdrüsen entstammt der extrazellulären Flüssigkeit und spiegelt die Chemie des Blutplasmas (CURRAN, 2010 b). Es besteht zu 99 % aus Wasser mit kleinen Mengen anorganischen Salzen, Milchsäure sowie Aminosäuren und ist unmittelbar nach Abgabe an die Hautoberfläche geruchlos; bei der Stoffwechslung durch die Bakterien der Mikroflora auf der Hautoberfläche entstehen flüchtige Bestandteile, die als Geruch wahrgenommen werden (YAMAZAKI et al., 2010).

Die apokrinen Drüsen befinden sich nur in den Regionen, in denen sich auch Haare befinden, da ihre Kanäle über die Haarfollikel die Hautoberfläche erreichen. Sie sind von Geburt an vorhanden, beginnen ihre Aktivität aber erst mit der Pubertät und reagieren auf emotionale Stimuli mit Produktionssteigerung. Ihr visköses Sekret besteht aus Wasser, Proteinen, Lipiden, Fettsäuren, Cholesterin, eisenhaltigen Salzen und Pheromonen (RAJAN et al., 2013; PRADA et al., 2015), erreicht – wie auch das der ekkrinen Drüsen – geruchlos die Hautoberfläche und beginnt erst zu riechen, wenn es durch die Hautmikroben metabolisiert wird (STEIGLEDER, 1992; YAMAZAKI et al., 2010).

Die Mikroflora der Haut wird von commensalen Bakterien gebildet. Durch die Stoffwechslung toter Hautzellen und der Sekrete der diversen Hautdrüsen sowie auf die Haut aufgetragener externer Stoffe, tragen sie entscheidend zur Bildung von Körpergeruch bei. Art und Dichte der Hautbakterien an verschiedenen Körperstellen hängt von der Feuchtigkeit, dem pH-Wert und dem Nahrungsangebot ab und

schwankt (YAMAZAKI et al., 2010; PRADA et al., 2015)<sup>62</sup>. Allerdings sind die Unterschiede zwischen Individuen sehr viel höher als zwischen den verschiedenen Körperstellen desselben Individuums, woraus sich schließen lässt, dass die Bakterien der Haut an der Entstehung des Individualgeruchs beteiligt sind (COSTELLO et al., 2009). DORMONT et al. (2013) zitieren mehrere Untersuchungen, die eine starke Verlinkung zwischen der Zusammensetzung der bakteriellen Mikroflora und dem menschlichen Geruch herstellen. Gestützt wird diese These durch Untersuchungen neueren Datums, die Zusammenhänge zwischen der Mosquitoattraktivität und des menschlichen Individualgeruchs sehen (VERHULST et al., 2011; 2013).

### **2.3.1.3 Chemische Zusammensetzung menschlichen Geruchs – VOCs**

Zahlreiche Studien haben die chemische Zusammensetzung menschlichen Geruchs in Form von VOC's untersucht (CURRAN et al., 2005 b; 2007; 2010 a; 2010 b; GALLAGHER et al., 2008; PRADA & FURTON, 2008; DEGREEFF & FURTON, 2011; VERHULST et al., 2013; KUSANO et al., 2013). Eine Übersicht über diese und weitere bieten DORMONT et al. (2013), die feststellen, dass die Ziele so unterschiedlich sind wie die Studien selbst<sup>63</sup>.

Unbestritten ist, dass durch den Abbau von Hautschuppen und Talgdrüsen sowie durch den Abbau von Sekreten der ekkrinen und apokrinen Schweißdrüsen und der jeweiligen Wechselwirkung dieser Produkte mit verschiedenen Körperregionen und deren mikrobieller Flora, und letztlich auch durch die Wechselwirkung mit Luft, flüchtige Verbindungen mit einem niedrigen Molekulargewicht (VOCs) entstehen (GALLAGHER et al., 2008; YAMAZAKI et al., 2010). Aufgrund dieses Entstehungsprozesses variieren VOCs in verschiedenen Körperregionen. Außerdem werden

---

<sup>62</sup> Eine hohe Dichte findet sich am Kopf, in den Achselhöhlen und der Leiste, während am Unterarm und Rücken weniger zu finden sind.

<sup>63</sup> Insbesondere die Methodik der Probennahme und die damit verbundenen, zum Teil unterschiedlichen, Ergebnisse und Schlussfolgerungen führen zu fachlichen Diskussionen (vgl. CURRAN et al., 2006 und PRETI et al., 2006).

auch externe Faktoren (Kontaminationen aus der Umwelt, Kosmetika, etc.) zu flüchtigen Bestandteilen abgebaut und können so die Anzahl von VOCs auf der menschlichen Haut erhöhen. Das bedeutet, dass die bisher gefundenen ca. 400 extrahierten VOCs nicht alle zum Primärgeruch beitragen (DORMONT et al., 2013; PRADA et al., 2015), Teile davon aber darin enthalten sind, die es jedoch noch herauszufinden gilt.

### **2.3.1.4 Menschlicher Geruch von verschiedenen Körperstellen**

*„Nun roch er, dass sie ein Mensch war, roch den Schweiß ihrer Achseln, das Fett ihrer Haare, den Fischgeruch ihres Geschlechts, und roch mit größtem Wohlgefallen.“*

*(SÜSKIND, 1985)*

Besonders gut erforscht ist der menschliche Achselgeruch. Durch das Vorhandensein aller Hautdrüsen in sehr hoher Dichte und durch eine ebenfalls in sehr hoher Dichte vorliegenden, vielfältigen mikrobiellen Flora, hat er sich als eine sehr reichhaltige Quelle verschiedener flüchtiger Verbindungen erwiesen (DORMONT et al., 2013). Deshalb wurde er von PENN et al. (2007) als Marker für individuellen Geruch vorgeschlagen.

Apokrine Drüsen werden aber erst mit der Pubertät aktiv und sind sehr stark von verschiedenen inneren Faktoren beeinflussbar (Menstruationszyklus, Krankheit, Ernährung, emotionaler Zustand, etc.). Das trifft auf die ekkrinen Schweißdrüsen und die Talgdrüsen nur vermindert zu. Zwar wird die Zusammensetzung des Sebums auch durch Ernährung beeinflusst, aber nicht in diesem Ausmaß wie das Sekret der apokrinen Drüsen. Die Folge ist, dass ekkrine Schweißdrüsen und Talgdrüsen eher einen stabilen Geruch erzeugen, während der von apokrinen Drüsen sehr stark variiert (CURRAN et al., 2010 b). Auch spiegelt menschlicher Achselgeruch nicht das wieder, was Menschen z. B. an einem Tatort verlieren und dennoch von Hunden de-



tektiert, diskriminiert, aufgespürt und verfolgt werden kann (PRADA & FURTON, 2008).

GALLAGHER et al. (2008) untersuchten VOC-Profile des oberen Rückens und des Unterarms und konnte ca. 100 Komponenten identifizieren, von denen manche mit dem Alter variierten. Die meisten gefundenen VOC-Profile stimmten für beide Körperstellen überein bzw. waren sehr ähnlich. Dennoch konnten auch quantitative sowie qualitative Unterschiede festgestellt werden.

Handgeruch ist eine Kombination aus Sekreten der ekkrinen Schweißdrüsen und Talgdrüsen ohne Beteiligung der apokrinen Drüsen und stellt deshalb eine relativ konstante Geruchsquelle dar (CURRAN et al., 2010 b). Dies hat sich sowohl in neueren Laboruntersuchungen (KUSANO et al., 2013) als auch in Versuchen mit Hunden bestätigt, die Handgeruchsproben auch nach längerer Lagerungszeit unterscheiden und zuordnen konnten (SCHOON, 2005).

CURRAN et al. (2005 c; 2010 b) konnten für den Handgeruch das „Sortiment“ bestimmen, das anscheinend zum primären Geruchsprofil der Hand gehört. Dazu gehören Säuren (8,33 %), Alkohole (16,67 %), Aldehyde (25 %), Alkane (25 %), Säureester (16,67 %) und Ketone (8,33 %) <sup>64</sup>. Diese chemischen Gruppen decken sich auch mit anderen biologischen Proben, die an anderer Stelle untersucht wurden (PENN et al., 2007; GALLAGHER et al., 2008; PRADA & FURTON, 2008; DEGREEFF & FURTON, 2011; KUSANO et al., 2013). Dabei wird deutlich, dass Alkane und Aldehyde zusammengenommen zu 50 % vertreten sind. Es handelt sich dabei um Stoffe, die beim oxidativen Abbau von Komponenten des Talgdrüsensekrets entstehen. Sie decken damit einen Großteil des menschlichen Körpers ab und stellen damit einen erheblichen Anteil am Gesamtkörpergeruch.

Innerhalb dieses chemischen Sortiments konnten CURRAN et al. (2010 b) 24 VOC-Hauptverbindungen identifizieren, die mit einer hohen Wahrscheinlichkeit an der Bildung des Primärgeruchs beteiligt sind und mit denen eine Geruchsunterscheidung zu 99,34 % durchführbar ist. Die Vermutung, es handele sich dabei um Bestandteile des

---

<sup>64</sup> Prozentzahlen gelten nur für die Hand.

Primärgeruchs, wird dadurch gestützt, dass sich diese Verbindungen auch in anderen biologischen Proben (Blut, Urin, Mundspeichel, Fingernägel und Haare) wiederfinden.

KUSANO et al. (2013) haben eine erste vergleichende Studie durchgeführt. Sie untersuchten verschiedene biologische Proben (Mundschleimhaut, Urin, Blut) eines Individuums, verglichen sie miteinander und mit den gleichen Proben anderer Individuen. Dabei untersuchten sie a) inwieweit ein Vergleich zwischen den Proben derselben Person möglich ist, b) inwieweit sich die Proben verschiedener Personen unterscheiden und c) welche der Proben sich auch für einen Geruchsvergleich zwischen gealterter (gelagerter) und frischer Probe eignen<sup>65</sup>.

Die Ergebnisse der Studie zeigen:

- a) Ein – zumindest chromatographischer – Vergleich der verschiedenen biologischen Proben eines Individuums ist nicht möglich, da die Profile zu unterschiedlich sind. Aber: Alle Proben (mit Ausnahme von Blut) enthalten das von CURRAN et al. (2010 b) gefundene Sortiment an VOC's, wenn auch in unterschiedlicher Zusammensetzung.
- b) Verschiedene Personen lassen sich in allen biologischen Proben zu über 99 % unterscheiden.

Zusammenfassend lässt sich für den Geruch verschiedener Körperstellen festhalten:

Das menschliche Individuum riecht nicht an allen Körperstellen gleich, da sich die VOC-Profile der verschiedenen Körperstellen sowohl qualitativ als auch quantitativ unterscheiden (GALLAGHER et al., 2008; YAMAZAKI et al., 2010). Diese Unterschiede hängen wiederum mit der Art, Dichte und Zusammensetzung der Hautbakterien, den vorhandenen Hautdrüsen, den „klimatischen“ Bedingungen an den unterschiedlichen Körperstellen, der Ernährung, dem sexuellen Zyklus, dem Alter etc. zusammen.

---

<sup>65</sup> Auf die Fragestellung c) sei hier nur der Vollständigkeit halber hingewiesen. Das Ergebnis dazu wird an späterer Stelle unter dem Gliederungspunkt 2.3.4.2 „Haltbarkeit und Stabilität über die Zeit“ und dort im dritten Absatz auf S. 70 vorgestellt, da es für den aktuellen Abschnitt nicht relevant ist.

Dennoch gilt: Es gibt bestimmte Verbindungen, die überall vorkommen und deshalb sehr wahrscheinlich zum Primärgeruch gehören. Das wird durch diverse Studien gestützt, in denen Hunde Gerüche verschiedener Körperstellen unterscheiden und zuordnen konnten (SCHOON & DEBRUIN, 1994; SETTLE et al., 1994).

Proben von verschiedenen Körperbereichen (Achsel, Hand, Fuß, Armbeuge, Rücken, Mundschleimhaut, Speichel, Urin) eines Individuums weichen zwar sowohl in ihrer mikrobiellen Zusammensetzung als auch in den entstehenden VOC's voneinander ab, es gibt aber signifikant größere Unterschiede zwischen den gleichen Körperstellen verschiedener Personen (CURRAN et al., 2005 a; 2005 b; PENN et al., 2007). Diese lassen sich in ihrem VOC-Profil zu über 99 % (KUSANO et al., 2013) voneinander unterscheiden.

### **2.3.2 Abgabe an die Umwelt und Verteilung in der Umwelt**

*„We thus continuously shed gross samples of our mitochondrial DNA into the surrounding.“*

*(SETTLES, 2005)*

Nach aktueller Forschung weiß man, dass jedes menschliche Individuum einen einzigartigen Geruch produziert. So wie die Entstehung, die genaue Produktion und die Zusammensetzung des Individualgeruchs noch unklar sind, so ist auch seine Verteilung in der Umwelt noch nicht vollständig verstanden.

Forscher des „Laboratory and Department of Mechanical and Nuclear Engineering“ der Pennsylvania State University führten zu diesem Thema Untersuchungen durch, um sie für die Entwicklung eines Detektionsportals für chemische Spuren, die vom menschlichen Körper abgeschieden werden, zu nutzen (EDGE et al., 2005; SETTLES, 2005; CRAVEN & SETTLES, 2006; SETTLES, 2007; CRAVEN et al., 2014).

### 2.3.2.1 Körperluftstrom

Erstmalig hat DOYLE (1970) von einer „Wolke“ berichtet, die den ruhenden<sup>66</sup> menschlichen Körper umgibt. Sie entsteht aufgrund der relativ konstanten Körpertemperatur von 37 °C, wodurch sich die unmittelbare Umgebungsluft erwärmt (CRAVEN et al., 2014). Die menschliche Haut ist mit durchschnittlich 33 °C Hauttemperatur gegenüber ca. 24 °C Raumtemperatur i. d. R. wärmer als die sie unmittelbar umgebende Luft, was eine kontinuierliche, freie thermische Konvektion zur Folge hat. SETTLES (2007) beschreibt die Entstehung des Körperluftstroms als von der menschlichen Haut erwärmte direkte Umgebungsluft des Körpers, die, da sie weniger dicht als die restliche Umgebungsluft ist, gemäß dem Archimedes-Prinzip nach oben steigt. Bei einer stehenden Person beginnt die menschliche Grenzschicht mit einer laminaren Strömung an den Füßen, wandert an den Beinen und dem Torso nach oben und wird in ihrer Bewegung dicker und schneller. Der Oberkörper ist von einer mehrere Zentimeter dicken Schicht umgeben, die eine nach oben gerichtete Geschwindigkeit von bis zu 0,5 m/s aufweist.

Etwa in Brusthöhe geht die Grenzschicht in eine turbulenteren Strömung über, löst sich an den Schultern und formt Rezirkulationsströmungen, die sich wieder mit dem am Kopf entstehenden Luftstrom verbinden (CRAVEN et al., 2014) und mit diesem zusammen den Körper oberhalb des Kopfes verlassen, um sich in einer schwimmenden Aufwärtsbewegung unter Ausbildung der menschlichen Wärmewolke fortzusetzen (SETTLES, 2007). Der Körperluftstrom ist in der Lage, Partikel wie Staub, Hautschuppen<sup>67</sup>, Pollen und Sporen (SETTLES, 2005) mitzuziehen, weil die von der Epidermis freigesetzten Hautschuppen nur eine Geschwindigkeit von 1 mm/s bis 1 cm/s haben und deshalb von der Aufwärtsbewegung des Körperstroms erfasst werden können (SETTLES, 2007). Wenn sogar feste Partikel mitgerissen werden, liegt es nahe, dass das auch für flüchtige Verbindungen gilt.

---

<sup>66</sup> Gemeint ist, dass sich weder der menschliche Körper bewegt, noch andere, externe Einflüsse (wie Seitenwind o. ä.) auf den Körper einwirken.

<sup>67</sup> Menschliche Hautschuppen sind dabei die häufigsten Schwebestoffe, die im Körperluftstrom zu finden sind.

Körperluftströmung (menschliche Grenzschicht) und die Wärmewolke bilden sich – unabhängig von Varianten wie Körpergröße, Körpergewicht – in der oben beschriebenen Weise aus (SETTLES, 2007).

Auch Kleidung stellt für das Ausbilden des Körperluftstroms sowie die Wärmewolke und die darin mitgeführten Geruchspartikel kein Hindernis dar. Sie und auch die in ihnen mitgeführten Stoffe sind sowohl bei bekleideten als auch nackten Menschen messbar und visualisierbar (CURRAN et al., 2010 b). Aufgrund der sehr kleinen Größe sind Hautzellen (und VOC's sowieso) meist kleiner als die Zwischengewebsporen der meisten Kleidungsgewebe, sodass sie sich frei durch die Kleidung bewegen können (SETTLES, 2007). Schichtenkleidung reduziert die Signalstärke der Geruchsspuren zwar, aber sie sind dennoch riech- und messbar (SETTLES, 2005).

### **2.3.2.2 Aerodynamische Nachlaufströmung**

Bei einer sich bei Windstille vorwärts bewegendem Person verändert sich die menschliche Wärmewolke. Schon bei einer Fortbewegungsgeschwindigkeit von mehr als 0,2 m/s hört die menschliche Wärmewolke auf zu existieren, da der Körperluftstrom aufgrund der entstehenden Wirbel nach hinten und unten mitgerissen wird; bei einer Geschwindigkeit von 1 m/s dominiert bereits die erzwungene Konvektion und man spricht nicht mehr von einem Körperluftstrom oder der menschlichen Wärmewolke, sondern von der menschlichen aerodynamischen Nachlaufströmung (SETTLES, 2005). Die durch die Nachlaufströmung mitgerissenen Geruchsspuren sind etwas zeitversetzt nach dem Passieren einer Person riechbar.

EDGE et al. (2005) beschreiben hinter dem sich fortbewegenden Körper zwei Regionen mit einer Nachlaufströmung: Zum einen hinter dem Torso; hier handelt es sich um eine unstete Prallkörper-Nachlaufströmung, die von einer mittleren Rezirkulationsströmung charakterisiert ist. Zum anderen entsteht zwischen den sich unabhängig voneinander bewegendem Beinen ein Luftstrom, der unstete, sich unregelmäßig ablösende, Wirbel erzeugt.

Bei der Fortbewegung von dreidimensionalen Körpern – also auch beim Menschen – kommt hinter dem Körper ein signifikanter Fallwind zum Tragen, wodurch die hinter dem Torso bestehende mittlere Rezirkulationsströmung nach unten gedrückt wird und mit der Wirbelströmung der Beine interagiert. Das wiederum führt zu einer Aufspreizung des Luftstroms nach seitlich und unten. Die hinter den Beinen vorhandene Wirbelströmung wird ebenfalls nach unten gedrückt, interagiert mit dem Boden und streut auch seitlich weg. Von der dorsalen Ansicht zeigt die menschliche Nachlaufströmung trotz der komplizierten Aspekte eine unverwechselbare Kármánsche Wirbelablösung (EDGE et al., 2005).

Für die Verteilung der in der Nachlaufströmung enthaltenen Geruchsspuren bedeutet das, dass sie erst aufgewirbelt und dann nach seitlich unten in Richtung Boden gedrückt werden. Es ist zu vermuten, dass dabei einzelne Hautzellen und kleinere Hautzellverbände aufgrund ihres geringen Gewichts länger in der Luft verweilen, während größere und damit schwerere Hautschuppenverbände nach kurzer Zeit zu Boden fallen (SYROTUCK, 1980, ©1972; CURRAN et al., 2010 b).

Insgesamt ist festzuhalten, dass der Mensch eine chemische Geruchsspur hinter sich herzieht, die der Hund erkennen und verfolgen kann.

### **2.3.2.3 *Beeinflussung der Geruchsspuren durch natürliche Bedingungen***

*„And although our bodies are bounded with skin, and we can differentiate between outside and inside, they cannot exist except in a certain kind of natural environment.“*

(WATTS, 1989, © 1966)

Die oben beschriebene Abgabe und Verteilung der Geruchsspuren bezieht sich auf die stehende oder bei Windstille gehende Person. Im Freien und unter natürlichen Bedingungen, ist die Situation viel komplizierter, da Riechen hier unter allen Varianten von Wetterbedingungen stattfinden muss: Ruhiger, beständiger oder böiger

Wind, Sonne oder Wolken, verschiedene Feuchtigkeitslevels, unterschiedliche Luft- und Bodentemperatur (SETTLES, 2005).

Hier spielt das große Feld der Mikrometeorologie eine Rolle, das jedoch im Zusammenhang mit der Verteilung von Geruchsspuren, dem Aufspüren und Verfolgen von Geruchsspuren nur wenig erforscht ist und die hier gemachten Beobachtungen mehr auf Erfahrungen beruhen als auf wissenschaftlichen Erkenntnissen.

Nur wenige Studien haben Hunde unter natürlichen Bedingungen suchen lassen und die Wetterbedingungen dokumentiert sowie ausgewertet. Bei HARVEY et al. (2006) scheint es sich nicht auf die Suchbedingungen beim Hund ausgewirkt zu haben, wobei hier dokumentiert wurde, dass es sich um „faire“ Wetterbedingungen gehandelt habe.

Da in der vorliegenden Arbeit die Hunde ebenfalls unter natürlichen Bedingungen suchen, soll in diesem Abschnitt die mögliche Beeinflussung von Geruchsspuren durch natürliche Bedingungen wie Wind, Temperatur und Feuchtigkeit sowie deren Zusammenspiel mit dem Terrain näher erläutert werden.

### **Einfluss von Wind**

Haben Hautschuppen und VOC's den Körperluftstrom verlassen, bewegen sie sich vor der Ablagerung auf dem Boden oder an Gegenständen über Diffusion und Massenluftbewegung und sind so für die Hundenase verfügbar – Wind (Luftbewegungen allgemein) spielt deshalb eine Schlüsselrolle (PRADA et al., 2015). Bei der Verteilung von Hautschuppen und VOC's in der Umwelt bestimmen sowohl die Windgeschwindigkeit als auch die Geschwindigkeit einer Person und die Windrichtung, wie weit die Geruchsspuren (Hautschuppen und VOC's) eines Individuums verstreut werden und in welche Richtung (PRADA et al., 2015).

Von uns wahrgenommener Wind entsteht in der Planetaren Grenzschicht (PBL)<sup>68</sup>. Während eine Windgeschwindigkeit von 2,2 m/s meteorologisch als ruhig gilt<sup>69</sup>, ist

---

<sup>68</sup> PBL = Planetary Boundary Layer:

## Kapitel 2

---

sie für Bioaerosole (und damit auch für die vom Menschen abgegebenen VOC's und Hautschuppen) eine signifikante Brise, wenn man bedenkt, dass die menschliche Wärmewolke schon bei einer viel geringeren Luftgeschwindigkeit verwirbelt wird (SETTLES, 2005).

Laut DEUTSCHER WETTERDIENST (2015 b) wird die PBL in drei Schichten unterteilt, die Laminare Unterschicht, die Prantl-Schicht und die Ekman-Schicht. Die Laminare Unterschicht ist, je nach Untergrund, wenige mm bis cm dick und befindet sich direkt an der Bodenoberfläche. In ihr ist die Strömung laminar und Vertikaltransporte (Impuls, Feuchte, Wärme) erfolgen durch Molekularbewegungen. Die Windgeschwindigkeit ist hier gleich null und nimmt mit steigender Höhe zu. In der darüber liegenden Prantl-Schicht werden Impuls, Wärme und Wasserdampf durch turbulente Strömungen transportiert. Das Windprofil ist durch die thermische Schichtung die Bodenrauigkeit geprägt. Die Ekman-Schicht ist für die Arbeit mit den Hunden nicht von Belang, weshalb auf eine Beschreibung verzichtet wird.

Hunde arbeiten bei der Suche bis zu 2 m vom Boden entfernt, d. h. auch leichtere Winde stören das Riechen durch die Verteilung der chemischen Spuren (SETTLES, 2005), und starke Winde können Geruchsspuren sehr weit verteilen (SETTLES, 2005; PRADA et al., 2015).

### **Einfluss von Temperatur und Feuchtigkeit**

Beobachtungen während der Sucharbeiten zeigen: Steigende Temperaturen lassen die Geruchsspuren aufsteigen, die Hunde suchen mit höherer Nase. Kalte Temperaturen frieren den Geruch ein und drücken ihn gegen den Boden. Er wird erst wieder leichter wahrnehmbar, wenn es taut und „reanimierte“ Geruchsspuren aufsteigen. Hunde arbeiten dann mit der Nase mehr am Boden, weil schwebende Partikel schneller dazu neigen einzufrieren (SCHETTLER, 2011, zitiert nach PRADA et al., 2015).

---

<sup>69</sup> Laut Beaufort-Skala: Eine leichte Brise – Wind ist im Gesicht spürbar, Blätter und Windfahnen bewegen sich (DEUTSCHER WETTERDIENST (2015a)), eine vollständige Beaufort Skala befindet sich im Anhang.



Durch die Analyse verschiedener Handgeruchsproben im Labor konnte PRADA (2010) zeigen, dass Erwärmung die Dampfphasenkonzentration der flüchtigen Verbindungen und ihre Diffusion erhöht. Auch Laborstudien des International Forensic Research Institute (IFRI) zeigen, dass chemische Geruchsprofile bei Anheben der Raumtemperatur eine bessere Detektierbarkeit zeigen (PRADA et al., 2015). Durch diese Laboruntersuchungen werden obige Feldbeobachtungen gestützt.

Extrem heißes oder kaltes Klima wiederum verringert die Qualität des Geruchs in der Umwelt. Trockenheit und Kälte stoppen das Bakterienwachstum und trocknen die Hautschuppen aus bzw. frieren sie ein. Durch Veränderung der mikroklimatischen Bedingungen, z. B. mäßige Temperaturen oder durch Feuchtigkeit, kann ein Geruch durch Rehydratation und aufsteigende Geruchswolken „wiederbelebt“ und für den Hund wieder besser detektierbar werden (PRADA et al. 2015).

Auch SETTLES (2005) vermerkt, dass eine erhöhte Bodenfeuchtigkeit Tieren i. d. R. bei der Geruchsspurenerkennung hilft.

### **Zusammenspiel zwischen Wind, Temperatur, Feuchtigkeit und Terrain**

SETTLES (2005) beschreibt in Bezug auf chemische Geruchsspuren und ihre Beeinflussung durch natürliche Witterungsbedingungen folgende Phänomene: Je nach Umgebungs- und Bodentemperatur lagern sich Geruchsmoleküle auf der Bodenfläche ab oder werden wieder abgegeben, d. h. an der Oberfläche inaktive, abgelagerte Gerüche können je nach Temperatur aktiviert werden, verdampfen und bilden so eine getragene Duftwolke. Bei hohen Bodentemperaturen kommt es zu einer instabilen, freien Konvektion; die Geruchswolke wird nach oben weggetragen, und das geschieht mit hohen Geschwindigkeiten. Kommt Wind dazu, verkompliziert sich die Situation, weil zu der freien eine erzwungene Konvektion kommt. Es entstehen Turbulenzen. Leichte Brisen 1 m/s reichen aus, um die Thermik kippen zu lassen. Bei höheren Windgeschwindigkeiten dominiert die erzwungene Konvektion, die Geruchswolken werden schnell verdünnt und in die PBL abtransportiert, wo sie den Windverhältnissen noch mehr ausgesetzt sind. Er betont, dass es dann selbst erfahrenen Hunden nicht mehr möglich ist, den Geruch zu lokalisieren und einer bestimmten

## Kapitel 2

---

Quelle zuzuordnen. SETTLES (2005) bezieht sich dabei auf die Landminensuche. Aber auch für die Suche nach menschlichen Geruchsspuren sind diese Phänomene von Belang, da die Geruchswolken der VOC's ebenfalls weggetragen und verdünnt werden. Der Hund kann – wenn überhaupt – nur noch eine geringere Konzentration wahrnehmen, die Suchverhältnisse sind schwieriger und das „Halten“ der Spur ist erschwert.

Bodenuntergrund und Vegetation wird auch ein Einfluss auf die Detektierbarkeit von Gerüchen zugeschrieben. Anekdotischen Informationen zufolge suchen Hunde besser auf einer grasbewachsenen, schattigen Wiese als auf einem gepflasterten, städtischen Parkplatz, was aufgrund der Temperatur, Feuchtigkeit und Menge der pflanzlichen Stoffe auch wahrscheinlich ist (STOCKHAM et al., 2004 a).

PRADA et al. (2015) und SETTLES (2005) beschreiben, dass es zu Wechselwirkungen zwischen den chemischen Spuren und Hindernissen kommen kann, wodurch es dem Hund überhaupt erst möglich wird, einen Geruch wahrzunehmen. Als Beispiele werden das Verfangen und Ablagern in und an Vegetation und auch die abwärts gerichtete Rezirkulationsströmung an Gebäuden angeführt. Die Hindernisse verhindern, dass die Geruchswolken wegtransportiert werden und für die Hundenase nicht mehr erkennbar sind. Als Gegenbeispiel werden in den, einem breiten Publikum zugänglich gemachten, Büchern zum Thema Mantrailing, wie z.B. von KOLBE & LEHARI (2013), die im städtischen Bereich vorkommenden versiegelten Parkplätze oder auch stark befahrene Kreuzungen angeführt, die aufgrund der starken Luftbewegungen das Erkennen und Verfolgen einer Spur erschweren.

Das Zusammenspiel von Witterungsbedingungen, Untergrund und Wahrnehmbarkeit einer menschlichen Geruchsspur haben GERRITSEN & HAAK (2001), angelehnt an eigene Feldversuche mit erfahrenen Bodenfährtern, in einer Tabelle dokumentiert. Sie konnten feststellen, dass die Zeit, in der Hunde die Fährte noch wahrnehmen können, neben einigen anderen Faktoren, sehr stark von dem Zusammenspiel zwischen Untergrund und Witterungseinflüssen abhängt und untermauern somit die oben angestellten Überlegungen.

## 2.3.3 Probenentnahme menschlichen Geruchs – Geruchssammlung

*„Physical evidence cannot be intimidated. It does not forget. It sits there and waits to be detected, preserved, evaluated, and explained.“*

(LEWIS & MACDONELL, 1989, ©1984)

Die Geruchsprobenentnahme spielt für die Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit des Hundes im Rahmen von Sucharbeiten eine entscheidende Rolle (PRADA et al., 2011). Dabei geht es einerseits um die Vermeidung von Kontaminationen mit einem anderen menschlichen Geruch gleichen oder jüngeren Alters und andererseits darum, möglichst hohe Konzentrationen des vollständigen Geruchs auf ein Sammelmedium zu bringen, welches dem Hund dann für die Suche präsentiert werden kann.

In der Regel werden für die Geruchssammlung zwei Hauptwege genannt (CURRAN et al., 2005 b; PRADA et al. 2011; STOCKHAM et al., 2004 a):

1. Zwischen Sammelmedium und Substrat besteht Kontakt:

a. Das Abwischen (Swiping):

- i. Ein Individuum berührt ein Objekt, welches dann als Geruchsprobe verwendet wird.
- ii. Der Körper des Individuums (oder Teile davon) wird mit einem Sammelmedium abgewischt.
- iii. Ein Objekt, welches zuvor von einem Individuum angefasst wurde, wird mit einem Sammelmedium abgewischt.

b. Die Absorption

- i. Ein Sammelmedium wird über einen längeren Zeitraum auf ein Objekt gelegt, dass zuvor in Kontakt mit dem Individuum war.

2. Zwischen Sammelmedium und Substrat besteht kein Kontakt, der Geruch wird mittels eines Luftstroms auf ein Sammelmedium transferiert<sup>70</sup>.

PRADA et al. (2011) fanden heraus, dass die Art der darstellbaren flüchtigen Bestandteile (VOC's) stark vom Material des Sammelmediums abhängt, was durch andere Untersuchungen bestätigt wurde (DEGREEFF et al., 2011; DEGREEFF & FURTON, 2011). Während DEGREEFF et al. (2011) nachwiesen, dass sich besonders einschichtige Baumwollmaterialien für die Übertragung und Aufbewahrung von VOC's eignen, im Gegensatz zu Stoffen aus Polyester, konnten PRADA et al. (2011) feststellen, dass sich die Baumwollmaterialien insbesondere für die Kontaktsammlung eignen. Sie nehmen nicht nur die größte Anzahl an VOC's auf, sondern zeigen auch die bessere Reproduzierbarkeit, weshalb sie sich gerade für die Diskriminierung menschlichen Geruchs durch Hunde besonders eignen.

Zwecks Fehlerminimierung sollte es das Ziel sein, eine so reine Geruchsprobe wie möglich zu erhalten, jedoch ist dies, trotz enormer Vorsichtsmaßnahmen, nicht möglich (STOCKHAM et al., 2004 a). DEGREEFF et al. (2011) konnten sogar auf steriler Gaze noch menschlichen Geruch in Form von VOC's nachweisen. STOCKHAM et al. (2004 a) begründen dies mit der Handhabung bei der Herstellung, dem Transport und dem Verkauf in Verbindung mit der enormen Haltbarkeit menschlichen Geruchs. Hinweise von Hundeführern, dass Hunde trotz Verunreinigungen in der Lage sind, den richtigen Geruch zuzuordnen, weil sie sich vermutlich am frischesten Geruch orientieren, werden durch verschiedene wissenschaftliche Studien gestützt:

Untersuchungen mit Wühlmäusen und Hamstern zeigen, dass sich die Tiere bei gemischten Gerüchen immer am frischesten Geruch orientierten (WILCOX & JOHNSTON, 1995; JOHNSTON et al., 1997, beide zitiert nach SCHOON & HAAK, 2002). Untersuchungen an Hunden zeigen, dass sie in der Lage sind, einen bestimmten Geruch zuzuordnen, selbst dann, wenn der Geruch, der zuzuordnen ist,

---

<sup>70</sup> Es handelt sich dabei um die sogenannte Scent Transfer Unit (STU), ein Gerät, mit dem das angefasste Objekt oder das Individuum selbst quasi abgesaugt wird. Im Inneren des Gerätes befindet sich das Sammelmedium auf welches der Geruch durch den Luftstrom transferiert wird. Das Gerät wird vornehmlich in den USA eingesetzt, während in Europa der Geruch vermehrt durch den direkten Kontakt gewonnen wird.

von frischeren Gerüchen überdeckt wurde (KALMUS, 1955).

SCHOON & HAAK (2002) berichten von weiteren Versuchen (LÖHNER, 1924; ROGOWSKI, 2000)<sup>71</sup> mit Hunden, die zeigen, dass Verunreinigungen keinen Einfluss auf die Zuverlässigkeit bei der Zuordnung des Geruchs hatten. Wie die Tiere diese Leistung erbringen, ist jedoch noch nicht vollständig geklärt.

## 2.3.4 Persistenz und Stabilität menschlichen Geruchs

*"Smell is a potent wizard that transports you across thousands of miles and all the years you have lived."*

(KELLER, 2009)

### 2.3.4.1 Stabilität und Überlebensfähigkeit nach besonderen Einwirkungen

STOCKHAM et al. (2004 b) testeten die Überlebens- und Widerstandsfähigkeit menschlichen Geruchs, indem sie zum einen angefasste Rohrbomben mit unterschiedlicher Explosionsgeschwindigkeit zündeten, zum anderen berührte Metall- und Kunststoffdosen mit Benzin verbrannten. Dabei entstanden Temperaturen zwischen ca. 800 °C bis 4500 °C. Dennoch ist menschlicher Geruch nachweisbar gewesen (als Indikator dienten Hunde, die aus den Überresten gesammelte Geruchsproben den passenden Targets zuordnen konnten).

---

<sup>71</sup> Bei LÖHNER (1924) mussten Hunde ein angefasstes Stück Holz der richtigen Person zuordnen. Eine korrekte Zuordnung war möglich, auch dann, wenn a) das Holz nur für 1-2 Sekunden gehalten wurde, b) das Holz für zwei Minuten nur mit der Fingerkuppe berührt wurde und c) eine weitere Person das Holz angefasst hatte. ROGOWSKI (2000) ließ Person A die getragenen Hosen von Person B anziehen und in dem Fahrzeug von Person C Platz nehmen. Danach wurde eine Geruchsprobe vom Autositz genommen. Die Hunde konnten mit dieser Geruchsprobe alle drei Personen von anderen unterscheiden. Der Inhalt beider Untersuchungen ist zitiert nach SCHOON & HAAK (2002).

CURRAN et al. (2010 a) konnten die Ergebnisse von STOCKHAM et al. (2004 b) bestätigen. Die Grundlagen der Versuche ähneln sich, allerdings wurden andere Sprengstoffe verwendet (Selbstlaborate auf Peroxidbasis und Minenwerfer).

In einer weiteren – vom FBI durchgeführten – Studie (STOCKHAM et al., 2004 a) wurde die Stabilität menschlichen Geruchs gegenüber Bestrahlung und chemischen Einflüssen überprüft. Mit menschlichem Geruch kontaminierte Papiere wurden einmal für eine Stunde mit 40,7 kGy bzw. 39,5 kGy bestrahlt und ein anderes Mal mit 10%iger Natriumhypochloridlösung besprüht. Auch hier konnte anschließend menschlicher Geruch mit Hilfe von Hunden nachgewiesen werden.

Aus diesen Versuchen ist ersichtlich, dass menschlicher Geruch sowohl Bestrahlung als auch massiver mechanischer, thermischer und chemischer Behandlung standhält und somit eine enorme Stabilität und Überlebensfähigkeit besitzt. Die Beseitigung menschlichen Geruchs in Form von Reinigung ist somit nahezu unmöglich. Auskochen von beispielsweise Aufbewahrungsgläsern mit heißem Wasser oder Sterilisation schafft zwar Keimarmut, menschlicher Geruch ist danach aber immer noch vorhanden und durch Hunde detektierbar.

### **2.3.4.2 Haltbarkeit und Stabilität über die Zeit**

*„Every human being carries with him from his cradle to his grave certain physical marks which do not change their character, and by which he can always be identified – and that without shade of doubt or question.“*

(TWIN, 1964)

Es gibt eine Reihe von Laboruntersuchungen, die sich mit der Haltbarkeit menschlicher Geruchsspuren (VOC's) im Zusammenhang mit Lagerung beschäftigen. Dabei geht es i. d. R. darum, welche Sammelmaterien oder welche Aufbewahrungsgefäße sich am besten eignen, um den Geruch langfristig lagern zu können, aber auch

darum, welche biologische Proben sich am besten lagern lassen, um später als Geruchsprobe nutzbar zu sein<sup>72</sup>.

Nach den Erkenntnissen aus den Untersuchungen zur mechanischen, chemischen und thermischen Belastbarkeit ist auch eine gewisse Stabilität über die Zeit zu erwarten. Das haben auch die Ergebnisse der Laboruntersuchungen bestätigt.

CURRAN et al. (2005 b) beobachteten, dass menschlicher Geruch, aufgebracht auf einer Gaze und in einer kontrollierten Umgebung gelagert, eine relativ lange Verweildauer mit noch messbaren Ergebnissen von drei Monaten hatte.

Als Material für die Aufbewahrung eignen sich insbesondere Baumwollmaterialien sehr gut, da sie eine gute Reproduzierbarkeit der VOC's zeigen, Polyestermaterialien dagegen eignen sich anscheinend am wenigsten (DEGREEFF et al., 2011).

Eine sehr umfassende Untersuchung zu Materialien, Aufbewahrungsbehältern und Lagerungsbedingungen wurde von HUDSON und Mitarbeitern (2009) durchgeführt: Über sieben Wochen wurden menschliche Geruchsproben auf verschiedenen Materialien gesammelt und in unterschiedlichen Aufbewahrungsbehältnissen (10 ml Klargläser mit Schraubverschluss, div. Polyethylenbeutel und aluminisierte Beutel) bei vier verschiedenen Lagerungsbedingungen (Raumtemperatur, minus 80 °C, völlige Dunkelheit und UVA/UVB-Licht Bestrahlung) aufbewahrt.

Das Ergebnis von DEGREEFF et al. (2011) wurde hier noch einmal bestätigt: Baumwollmaterialien zeigten die geringste Abweichung für alle Lagerungsbedingungen<sup>73</sup>. Allerdings zeigten sie auch die höchsten Abweichungen bei der eingefrorenen Probe nach einer Zeit von fünf bzw. sieben Wochen, weshalb der Schluss gezogen wurde, dass sich eine Baumwollgeruchsprobe zum Einfrieren nicht eignet.

---

<sup>72</sup> Überprüft werden dabei in der Regel die in einer Probe vorhandenen VOC's. Sie werden in entsprechenden Abständen, auf unterschiedlichen Materialien und in verschiedenen Aufbewahrungsgefäßen chromatographisch getestet.

<sup>73</sup> Den Grund für die besondere Eignung von Baumwollmaterialien vermuten HUDSON et al (2009) in ihrer Polarität. Auch die Mehrzahl der primären Geruchsstoffe menschlichen Geruchs sind polare Verbindungen, was zu einer verbesserten Aufnahme und zu einem besseren „Festhalten“ der Verbindungen über die Lagerungszeit hinweg beigetragen haben könnte.

## Kapitel 2

---

Von den getesteten Aufbewahrungsbehältnissen kristallisierte sich Glas als optimales Behältnis heraus. Es bietet unter leichtem UV-Licht Einfluss die ideale, stabile Umgebung für die Lagerung von menschlichem Geruch, insbesondere in der Kombination mit einem Geruchsträger aus Baumwolle. Der Geruch bleibt hier nicht nur am stabilsten, es kommt auch – im Vergleich zu den anderen Behältnissen – zu den geringsten Verunreinigungen.

Dennoch müssen die Proben vor zu großer UV-Bestrahlung geschützt werden, da die ansonsten entstehenden Methylester und Aldehyde zu einer Veränderung des Geruchsprofils führen können. Ein weiteres interessantes Ergebnis der Studie von HUDSON et al. (2009) ist, dass die größten Veränderungen für alle Sammel- und Speichermedien zwischen den Wochen null und drei zu beobachten war.

KUSANO et al. (2013) testeten verschiedene biologische Proben auf ihre Tauglichkeit, nach längerer Lagerung (sechs Monate) für einen Geruchsvergleich mit frischen Proben verwendet werden zu können<sup>74</sup>. Während sich Hand-, Mundschleimhautabstrich- und Blutproben besonders gut eignen – sie weisen auch nach längerer Zeit noch konsistente VOC-Profile auf – kommen Urin und Atemluft nicht in Frage. Für Atemluft gibt es kein geeignetes Langzeitspeichermedium und Urin liefert kein konsistentes Bild, weil sich zu viele Variationen im VOC-Profil der gelagerten und der frischen Probe zeigen. Das ist zu erwarten, da mit dem Urin Körpernebenprodukte ausgeschieden werden, die kontinuierlich variieren sollten (KUSANO et al., 2013).

Auch einige Feldstudien lassen den Rückschluss zu, dass menschlicher Geruch über einen längeren Zeitraum stabil bleibt, so dass er durch Hunde detektiert werden kann.

Im Jahr 1964 überprüften KING et al. (1964), inwieweit Hunde in der Lage sind, Geruch zuzuordnen, der unter widrigen Bedingungen für einen Zeitraum von bis zu acht Wochen gelagert wurde. Zu diesem Zweck wurden Fingerabdrücke auf Glasobjektträgern einmal im Innenraum, nur geschützt durch die Abdeckung mit einer Baum-

---

<sup>74</sup> Hierbei handelt es sich um die Fragestellung c) aus dem Abschnitt 2.3.1.4 „Menschlicher Geruch von verschiedenen Körperstellen“, auf die in der Fußnote 65 auf Seite 56 bereits hingewiesen wurde.



wollgaze und einmal auf dem Laboratoriumsdach ohne jeglichen Schutz gelagert. Die Außenproben waren somit natürlichen Einflüssen wie Regen, Sonne, Wind, Verschmutzungen, etc. ausgesetzt. Es zeigte sich, dass die Hunde die Innenproben zuverlässig bis zur dritten Woche zuordnen konnten und dann ein Zufallsergebnis erreichten (sechste Woche 40-50 %). Die Außenproben lagen immer unter den Ergebnissen der Innenproben. Der Rückschluss hieraus ist, dass der menschliche Geruch auch nach einer Lagerungszeit von drei Wochen und zum Teil auch darüber hinaus, wahrnehmbar war und deutet auf eine lange Haltbarkeit und damit Detektierbarkeit menschlichen Geruchs hin.

In einer Studie von SCHOON (2005) bestätigten sich die Ergebnisse der oben geschilderten Untersuchung von KING et al. (1964). Der durchschnittliche Zuverlässigkeitslevel sank signifikant von der frischen Probe zu der zwei Wochen alten Probe auf ein niedrigeres Level, danach blieb er bis zur sechs Monate alten Probe relativ stabil.<sup>75</sup>

In zwei polnischen Untersuchungen ging es um den Zeitpunkt, an dem die Geruchsproben von einem Objekt genommen wurden. In der einen Untersuchung (ROGOWSKI, 2001, zitiert nach ENSMINGER, 2012) wurden die Proben nach 15, 30, 45 und 60 Minuten gesammelt und kein Unterschied in der Identifikationszuverlässigkeit festgestellt, in der anderen Untersuchung (ZDANOWICZ & KAMINSKI, 1998, zitiert nach ENSMINGER, 2012) wird angedeutet, dass die Geruchssammlung von einem Objekt nach drei bis fünf Tagen für eine korrekte Zuordnung durch den Hund ausreichend ist.

STOCKHAM et al. (2004 b) sammelten die Geruchsproben vierzehn Tage und zwei Tage vor dem eigentlichen Suchereignis. Diese Proben waren für die Hunde somit nicht nur zwei bzw. 14 Tage alt, sondern wurden einmal frisch von der Geruchsquelle (explodiertes bzw. verbranntes Material) entnommen und einmal 14 Tage später. Weder das Alter des Geruchsträgers selbst noch die verzögerte Geruchsentnahme

---

<sup>75</sup> Dieses Ergebnis deckt sich mit den Laborergebnissen aus der Studie von HUDSON et al. (2009), in der die größten Veränderungen auf den Speichermedien zwischen den Wochen null und drei zu beobachten waren (siehe Absatz 4 auf S. 69 und Absatz 2 auf Seite 70).

spielten für den Sucherfolg eine Rolle (für die genaue Beschreibung der Studie siehe 2.3.4.1 „Stabilität und Überlebensfähigkeit nach besonderen Einwirkungen“, S. 67 und 2.4.2.3 „Diskriminierungsfähigkeit beim Verfolgen einer Spur“, hier Absatz 2 auf Seite 80).

### **2.3.4.3 Zusammenfassung zu Persistenz und Stabilität**

Es lassen sich aus den gesamten Studien zu Persistenz und Stabilität von menschlichem Geruch folgende Schlüsse ziehen:

1. Menschlicher Geruch weist eine hohe Überlebensfähigkeit selbst nach extremen Einwirkungen auf und ist sehr widerstandsfähig.
2. Menschlicher Geruch zeigt – abhängig von Sammelmateriale, Aufbewahrungsbefhältnis, Lagerungsbedingungen und der biologischen Probe – eine relative Stabilität von bis zu sechs Monaten.
3. In der Zeit bis zur dritten Woche treten die größten Veränderungen im VOC-Profil auf.
4. Verzögerte Geruchsprobenentnahmen bis zu vierzehn Tagen sind trotzdem möglich.

## **2.4 Forschung zur Riechleistung des Hundes**

*„A dog's nose is truly a many-splendored thing.“*

*(CARAS, 1993, ©1992)*

Die außerordentliche Riechleistung von Hunden steht nicht zur Diskussion. Nach einer Untersuchung von WALKER et al. (2006) kann der Hund eine Geruchsstoffkonzentration in einer billionenfachen Verdünnung erkennen, wodurch seine Geruchser-

kennungsfähigkeit um ein 10 000 bis 100 000-faches höher ist, als die des Menschen.<sup>76</sup>

Diese Ergebnisse geben eine Vorstellung darüber, dass der Hund in der Lage ist, Geruchsstoffe in sehr verdünnter Form wahrnehmen zu können, wobei man bedenken muss, dass diese Leistung bei unterschiedlichen Geruchsstoffen variieren kann. Man bekommt also eine Aussage darüber, wie sensitiv der Hund auf einen bestimmten Geruchstoff reagiert und es lassen sich – bezogen auf diesen speziellen Duft – Vergleiche zu Menschen und anderen Tieren herstellen.

Rückschlüsse auf die generelle Riechleistung des Hundes können hieraus nicht gezogen werden. Dazu sind das Riechen im Allgemeinen und das Bewältigen verschiedener Riechaufgaben im Besonderen viel zu komplex.

Es ist deshalb erforderlich, zwischen verschiedenen Riechaufgaben zu unterscheiden. Sprengstoff in einem Raum zu erschnüffeln oder zwischen zwei Gerüchen zu unterscheiden (z. B. zwischen zweierlei Teesorten oder zwei verschiedenen menschlichen Gerüchen) oder aus einer Vielzahl von Gerüchen einen bestimmten zu diskriminieren oder einem bestimmten Geruch das Gegenstück zuzuordnen oder eine bestimmte Spur unter vielen anderen Spuren zu verfolgen, stellen für den Hund jeweils andere Riechaufgaben dar, die immer eine andere Art von Riechleistung erfordern. Hinzu kommt, dass der Hund aufgrund seiner neuro-anatomischen, genetischen und physiologischen Ausstattung zwar in der Lage zu sein scheint, schier unendlich viele Suchaufgaben zu bewältigen, jedoch muss er darauf trainiert werden, seine Fähigkeiten für eine besondere Aufgabe mit einer speziellen Zielvorgabe einzusetzen. Das wiederum ist die Aufgabe des Menschen. Die hundliche Riechleistung kann nur so gut sein, wie sie für die spezielle Aufgabe trainiert wurde.

Man unterscheidet hauptsächlich Detektion und Diskriminierung, wobei sich die Diskriminierung je nach Aufgabenstellung nochmals weiter unterteilen lässt. Vergleiche hierzu auch SCHOON & HAAK (2002).

---

<sup>76</sup> Hier bezogen auf n-Amylacetat. Die Angaben aus anderer, älterer Literatur (MOULTON et al., 1960; MARSHALL et al., 1981; KRESTEL et al., 1984; NICKEL et al., 1992 b) variieren, wobei immer bedacht werden muss, auf welchen Geruchsstoff sich bezogen wird.

Bei der Detektion lernt der Hund auf die Anwesenheit eines bestimmten Geruchs zu reagieren, während er bei Abwesenheit des Geruchs nicht reagieren sollte. Es handelt sich also um das Wahrnehmen und (Wieder-) Erkennen eines bestimmten Geruchs oder einer bestimmten Geruchskombination. Dieses Training wird häufig genutzt, um einen Schwellenwert für einen bestimmten Geruch herauszufinden.<sup>77</sup>

Bei der Diskriminierung dagegen geht es um die Unterscheidung verschiedener Gerüche. Die einfachste Form ist dabei sicher die Unterscheidung zwischen zwei Gerüchen, hier wird der eine Geruch immer belohnt, der andere nicht. Hunde lernen so, einen bestimmten Geruch anzuzeigen.<sup>78</sup> Eine Diskriminierung lässt sich im Schwierigkeitsgrad steigern, indem unter mehreren Gerüchen unterschieden werden muss. Eine komplexe Variante der Diskriminierung ist das Muster-Gegenstück-Prinzip. Hier wird dem Hund ein bestimmtes Geruchsmuster vorgegeben und er muss unter einer unterschiedlich großen Anzahl Alternativen das zu diesem Muster passende Gegenstück finden. Auch die in der vorliegenden Arbeit durchgeführte Untersuchung beruht auf diesem Ansatz.

Die Riechleistung von Hunden bezüglich Detektion und Diskriminierung wurde in vielen Studien untersucht, im Folgenden sollen hauptsächlich die dargestellt werden, die in der Kombination mit menschlichem Geruch durchgeführt wurden.

### 2.4.1 Detektion im Zusammenhang mit menschlichem Geruch

Hierunter fällt die bereits weiter vorne beschriebene<sup>79</sup> Untersuchung von KING et al. (1964). Die Studie zeigt, dass Hunde gealterte, verwitterte und verunreinigte menschliche Geruchsspuren trotz widriger Lagerungsbedingungen und je nach Verwitterungsgrad, drei bis sechs Wochen lang mit einer akzeptablen Trefferquote detektieren können. Dabei scheint nur die Gesamtheit der Witterungseinflüsse in Form

---

<sup>77</sup> Oben zitierte Angaben zur Sensitivität auf einen bestimmten Geruch wurden somit im Rahmen einer Detektion ermittelt.

<sup>78</sup> Die Anzeige kann variieren und hängt davon ab, welche Form für den Hund und die entsprechende Situation sinnvoll ist. Anzeigen können z. B. sein: sich setzen, sich hinlegen, bellen, kratzen, „einfrieren“, apportieren, etc.

<sup>79</sup> Für das erneute Nachlesen der Studienbeschreibung siehe den letzten Absatz auf Seite 70.

der Lagerung einen Effekt auf die Riechleistung zu haben, die einzelnen Wetterbedingungen jedoch nicht.

Offen bleibt die Frage, ob die Information, die die Tiere aus diesen Geruchsspuren erhalten haben, für die Identifikation einer Person ausgereicht hätte (SCHOON & HAAK, 2002).

## **2.4.2 Diskriminierung im Zusammenhang mit menschlichem Geruch**

### ***2.4.2.1 Diskriminierungsfähigkeit von Geruch verschiedener Körperstellen***

BRISBIN & AUSTAD (1991) beschäftigten sich mit der Unterscheidungsfähigkeit des Geruchs des Hundeführers vom Geruch anderer Personen. Es wurde untersucht, inwieweit Hunde fähig sind, Gerüche verschiedener Körperstellen (hier Ellenbogen-Hand) zu diskriminieren.

Im Ergebnis waren die Hunde problemlos in der Lage, sowohl den Handgeruch als auch den Ellenbogengeruch des Besitzers aus einer Auswahl Blankoproben zu detektieren, als auch den Handgeruch des Besitzers vom Handgeruch eines Fremden und vom Ellenbogengeruch des Besitzers zu diskriminieren.

Sie konnten jedoch nicht den Ellenbogengeruch des Besitzers vom Handgeruch eines Fremden diskriminieren, hier ergab sich nur eine Zufallsleistung.

Das Ergebnis lässt sich damit erklären, dass die verwendeten Hunde darauf trainiert waren, den Handgeruch ihres Besitzers zu erkennen, in der Aufgabe mit dem Zufallsergebnis aber mit einer Auswahl konfrontiert wurden, die jeweils zur Hälfte richtig und falsch war (Besitzergeruch, aber nicht von der Hand oder Fremdgeruch, aber dafür von der Hand). SCHOON & HAAK (2002) bemerken, dass das Ergebnis nicht anders als Zufall sein konnte, da keine Antwort – auf das Training der Hunde bezo-

## Kapitel 2

---

gen – korrekt war. Ein Training mit einer anderen Aufgabenstellung hätte demnach vermutlich zu einem anderen Ergebnis geführt.

In einem Vorversuch zu seinen Zwillingsexperimenten<sup>80</sup> ließ KALMUS (1955) neun Hunde Diskriminierungen nach dem Muster-Gegenstück-Prinzip aus sieben Alternativen durchführen. Während als Muster die Hände des entsprechenden Probanden dienten, die für eine halbe Minute die Schnauze des Hundes umfassten, bestanden die Gegenprobe sowie die Alternativen aus Taschentüchern, die für einige Zeit in der Achselhöhle getragen wurden. Da es sich um Vorversuche handelte, hat keine Quantifizierung stattgefunden. KALMUS (1955) vermerkt jedoch, dass die Leistungen insgesamt zwar sehr von der Tagesverfassung abhingen, einige Hunde die Entscheidungen aber sehr sicher und auch zuverlässig trafen.

1994 haben sich SCHOON & DEBRUIN (1994) noch einmal der Frage nach der Unterscheidungsfähigkeit des Geruchs von Hand und Ellbogenbeugen angenommen. Nach dem Muster-Gegenstück-Prinzip trainierte Polizeihunde hatten drei Diskriminierungsaufgaben zu lösen:

1. Ellbogen versus Hand: Das Muster war Geruch aus der Ellenbogenbeuge, die sechs Alternativen, inklusive dem Gegenstück, trugen Handgeruch.
2. Hand versus Ellbogen: Das Muster war Handgeruch, das Gegenstück sowie zwei Alternativen trugen den Geruch der Ellenbogenbeuge, drei andere Alternativen trugen Handgeruch.
3. Hosentasche versus Hand: Das Muster entstammte aus der Hosentasche, das Gegenstück und die Alternativen trugen Handgeruch.

Die Ergebnisse lagen zwar über einem Zufallsergebnis, waren aber mit einer hohen Fehlerquote belastet. Dennoch ist das Ergebnis besser als bei BRISBIN & AUSTAD (1991), was die Hypothese, die schlechten Leistungen in der Brisbin-Austad-Studie könnten am fehlenden Training für diese spezielle Aufgabe gelegen haben, bestätigte.

---

<sup>80</sup> Die Zwillingsexperimente werden weiter hinten unter dem Punkt 2.4.2.4 „Diskriminierungsfähigkeit des Geruchs von Zwillingen“ auf S. 83 näher beschrieben.

Auffällig war die Leistung bei der Zuordnung vom Hosentaschenmuster zum Gegenstück mit Handgeruch, die deutlich höher lag als die Leistung bei der Zuordnung von Ellenbogenmuster zu Handgegenstück bzw. umgekehrt. Die Autoren erklären sich dieses Ergebnis damit, dass sich am Hosentaschenmuster vermutlich Spuren von Handgeruch befanden, hervorgerufen durch die Tatsache, dass Hände häufig in Hosentaschen gesteckt werden und damit in der Hosentasche auch Spuren von Handgeruch vorhanden sind<sup>81</sup>.

In einer Untersuchung von SETTLE et al. (1994) hatten die Hunde die Aufgabe, den an einer beliebigen Körperstelle entnommenen Mustergeruch in einer Auswahl von sechs ebenfalls an beliebigen Körperstellen entnommenen Geruchsproben, dem Gegenstück zuzuordnen. Beim Gegenstück handelte es sich zwar auch um den Geruch einer beliebigen Körperstelle, aber nicht um die gleiche wie beim Muster. Die Trefferquote war sehr hoch und lag bei 80 %.

In einem weiteren Experiment derselben Studie ging es ebenfalls um die Zuordnung des Geruchs verschiedener Körperstellen einer Person aus einer Auswahl von sechs. Diesmal diente Handgeruch auf einem kleinen Stahlrohr als Muster. Die Trefferquote war ebenfalls sehr hoch (84 %).

Die Hunde hatten somit in beiden Experimenten keine Schwierigkeiten, Gerüche verschiedener Körperstellen zu unterscheiden und zuzuordnen. Die Autoren bemerken aber Leistungsschwankungen in Abhängigkeit von Arbeitspausen<sup>82</sup>, Krankheit, emotionalem Leistungsdruck durch den Hundeführer und der Anwesenheit von Beobachtern.

Da sich die Studie mit den positiven Ergebnissen deutlich von den Ergebnissen anderer Studien unterscheidet, sollten nach SCHOON & HAAK (2002) zwei Dinge nicht

---

<sup>81</sup> Dieser Erklärungsversuch wird durch eine neuere Studie gestützt, in der nachgewiesen wurde, dass sich Handgeruch auch auf einen Geruchsträger überträgt, wenn er nicht angefasst wird. Es reicht aus, die Hände für drei Minuten in einem Abstand von fünf Zentimetern darüber zu halten. Die Überprüfung in Form von 14 Diskriminierungsversuchen mit Hunden verlief für jeden Hund fehlerfrei (VYPLELOVÁ et al., 2014).

<sup>82</sup> Je länger die Pausen, desto schlechter waren die Leistungen. Zeitangaben zu den Pausen wurden nicht genannt.

unerwähnt bleiben: Die insgesamt vier verschiedenen Körpergerüche einer Person wurden im selben Behältnis gelagert und eine davon wurde als Muster verwendet. Es ist davon auszugehen, dass die Geruchsträger nicht nur den Geruch der Körperstelle trugen, an dem die Probe genommen wurde, sondern einen „Sammelgeruch“ der verschiedenen Körperstellen einer Person.<sup>83</sup> Es ist leichter gleich riechende Gerüche zuzuordnen, als Gerüche zusammenzubringen, die leicht unterschiedlich riechen und nur einen gemeinsamen Faktor aufweisen. Zum anderen wurde bei der Versuchsdurchführung keine klare Trennung zwischen Training und Versuch vorgenommen; es ist deshalb nicht klar, inwieweit die im Versuch verwendeten Gerüche für die Hunde wirklich neu waren oder gegebenenfalls eine Wiederholung des Trainings.

### ***2.4.2.2 Diskriminierungsfähigkeit von Geruch verschiedenen Alters***

SCHOON (2005) beschäftigte sich mit der Frage, inwieweit Hunde in der Lage sind, anhand gealterter Geruchsspuren auf einem Muster, das frische Gegenstück unter einer Auswahl von sieben zu erkennen und anzuzeigen. Dazu wurden Musterproben an Tag 0 gesammelt, die Targetproben und die Alternativen an Tag 0 und in den Wochen 2, 4, 8, 12, 16, 20, 24 (das sind gleichzeitig die Zeiträume, an denen die Versuche durchgeführt wurden, sodass das Gegenstück als auch die Alternativen immer frischen Geruch trugen).

Während an Tag 0 eine 100%ige Trefferquote gegeben war (Muster und Gegenstückprobe sind frisch), sank das Ergebnis in der zweiten Woche und variierte zwischen 33 % und 75 % (durchschnittliches Ergebnis ca. 59 %, die zwei schlechtesten Hunde rausgenommen, ergab eine Steigerung auf ca. 73 %). Im Laufe der weiteren Versuche blieb die durchschnittliche Leistung der Hunde über die Zeit weitgehend stabil, mit einem Tief in der zwölften Woche.

---

<sup>83</sup> Diese Vermutung wird ebenfalls durch die neuere Studie von VYPLELOVÁ et al. (2014) gestützt (siehe Fußnote 81 auf Seite 77).



D. h. trotz zunehmend gealterten Musterproben (bis zu einem halben Jahr) zeigten die Hunde eine insgesamt akzeptable Riechleistung in der Diskriminierung.

### **2.4.2.3 Diskriminierungsfähigkeit beim Verfolgen einer Spur**

*„It [The dog's nose] is perfectly remarkable and reminds us that there is a world out there that we can never know. At least not as human beings.”*

(CARAS, 1993, ©1992)

Die Diskriminierungsfähigkeit beim Verfolgen einer Spur wurde in der Literatur bisher vor allem in Bezug auf drei Schwerpunkte betrachtet: Die Verleitung durch andere Geruchsspuren, das Alter der Spur selbst und die Entscheidung für die Suchrichtung. Im Folgenden sollen Untersuchungen zu allen drei Aspekten etwas genauer beschrieben werden.

#### 1. Untersuchungen in Bezug auf Verleitung durch andere Spuren

Wiederum als Vorversuche zu seinen Zwillingsexperimenten überprüfte KALMUS (1955), inwieweit Hunde, trotz gleichzeitig und zeitversetzt gelegter Verleitungsfährten, in der Lage sind, die richtige Spur bis zum Target zu verfolgen. Er vermerkt, dass die Hunde keine Probleme hatten, diese Aufgabe zu lösen und nur sehr wenige Fehler machten.

In einer Studie von HONHON (1967, zitiert nach ENSMINGER, 2012) konnte gezeigt werden, dass Hunde der Spur einer Zielperson folgen können, die zeitgleich mit einer Verleitungsperson losgelaufen ist. Es stellte sich aber auch heraus, dass die Entfernung, in der sich der Köder von der Zielperson trennt, einen Einfluss auf den Sucherfolg hat. Je länger die Distanz war, bevor eine Spur sich aufteilte, desto wahrscheinlicher war es, dass der Hund der Spur der Zielperson und nicht der des Köders folgte. Teilten sich die Spuren bereits nach 50 m, folgten die Hunde nur zu 45 % der

## Kapitel 2

---

Zielperson, teilten sich die Spuren erst bei ca. 800 m, folgten sie ihr zu 75-85 %. D. h. je länger sich Hunde auf der richtigen Spur befinden, desto wahrscheinlicher ist es, dass sie am Zielpunkt ankommen.

In den weiter oben schon erwähnten Experimenten von STOCKHAM et al. (2004 b) ging es um die Frage, ob Hunde in der Lage sind, eine Spur zu verfolgen, wenn der Geruchsträger von explodiertem oder verbranntem Material stammt. Die Mustergeuchsproben waren zwei und vierzehn Tage alt. Die gelegten Spuren wurden im mit vielen Spuren kontaminierten Stadtpark und mit jeweils einer frischen Verleitung<sup>84</sup> durchgeführt. Die Hunde konnten die Fährten zu 70 % lösen (Verfolgen der Spur inklusive der richtigen Personenidentifikation). Die Autoren vermerken, dass der Erfolg von der Erfahrung der Hundeführer abhing: Je mehr Erfahrung, desto höher die Erfolgsrate des Hundes im Versuch. Das Alter des Geruchsträgers sowie die Gewinnung des Geruchs aus explodiertem Material hatte dagegen keine Einwirkung auf die Suchleistung.

In der Studie von CURRAN et al. (2010 a) wurde, ähnlich wie in den Experimenten von STOCKHAM et al. (2004 b), überprüft, inwieweit Hunde eine Spur verfolgen können, wenn die Mustergeuchsprobe von explodiertem Material stammt. Die Verleitpersonen, die zeitgleich mit der Zielperson losliefen und sich nach ca. 800 m trennten, waren kein Problem. Die Hunde fanden zu 82,2 % den Aufenthaltsort der Zielperson und identifizierten diese zu 73 % richtig. Wie auch schon in der Studie von STOCKHAM et al. (2004 b), stellten die gewonnenen Mustergeuchsproben, trotz hoher mechanischer und thermischer Belastung des menschlichen Geruchs, für die Hunde kein Problem dar.

### 2. Untersuchungen in Bezug auf die Alterung der Spur

HARVEY & HARVEY (2003) überprüften in ihrer Studie die Fähigkeit von Bluthunden, eine 48 Stunden alte und 800 m bis 2,4 km lange Spur unter natürlichen Bedingungen zu verfolgen und der richtigen Person zuzuordnen. Die Fährten wurden so-

---

<sup>84</sup> Personen gingen am gleichen Ort los, splitteten sich nach 15 m im 45°-Winkel auf und gingen außer Sicht.

wohl auf natürlichem Untergrund (Park), als auch auf städtischem Untergrund und in einem Schulcampus durchgeführt, wodurch natürlich auch Verleitungen durch andere Spuren gegeben waren. Darüber hinaus handelte es sich bei den Hunden um Tiere unterschiedlichen Alters.

Alle Hunde der Studie konnten die 48 Stunden gealterte Spur verfolgen (durchschnittliches Ergebnis: 77,5 %), die Erfahrung des Hundes (und des Hundeführers) hatten jedoch einen enormen Einfluss auf das Ergebnis. Die erfahrenen Hunde verfolgten die Spur zu 96 % richtig ohne Fehlidentifikation der Zielperson, während die jungen, unerfahrenen Hunde nur eine ca. 53%ige FINDERATE mit einer falschen Identifikation aufwiesen. Die Wettereinflüsse spielten keine nennenswerte Rolle.

### 3. Untersuchungen zur Entscheidung der Suchrichtung

Bei Untersuchungen, die sich mit der Diskriminierungsfähigkeit von Hunden in Zusammenhang mit der Suchrichtung beschäftigen, werden die Hunde in der Regel mittig und im 90°-Winkel zur Spur angesetzt und überprüft, inwieweit die Hunde die richtige Richtung einschlagen.

Die Versuche von MACKENZIE & SCHULTZ (1987) zeigen im Ergebnis, dass nur 60,6 % der Tiere auf Anhieb die richtige Spurrichtung fanden. Es ist jedoch zu bemerken, dass es sich um Hunde handelte, die mit der gestellten Testaufgabe keine Erfahrung hatten.

STEEN & WILSSON (1990) berichten, dass die Hunde sich signifikant häufiger für die richtige Suchrichtung entschieden haben, unabhängig davon, ob der Fährtenleger vorwärts oder rückwärtsgegangen ist. Sie bemerken, dass sich Hunde vermutlich an der steigenden Geruchskonzentration in den Fußspuren orientieren.

THESEN et al. (1993) beobachteten bei ihren Untersuchungen drei Verhaltensphasen im Zusammenhang mit der Suchrichtung. Die Initialphase wird gezeigt, während der Hund versucht, die Spur zu finden. Die Entscheidungsphase ist die, in der der Hund die Suchrichtung bestimmt. Die Suchphase ist die, in der der Hund die Spur verfolgt. Die Hunde entschieden sich in allen Versuchen (auf Gras und auf Beton) für

## Kapitel 2

---

die richtige Richtung. Während der Entscheidungsphase bewegten sie sich langsamer, die Schnüffelphasen dauerten drei Mal länger als in den anderen Phasen, und die Tiere entschieden sich innerhalb von 3-5 Sekunden und 2-5 Fußstapfen für die richtige Richtung. Der Untergrund spielte keine entscheidende Rolle. Auch THESEN et al. (1993) gehen davon aus, dass die Richtung anhand der Geruchskonzentration in den Fußspuren bestimmt wird.

In einer 2003 durchgeführten Studie (WELLS & HEPPEL, 2003) waren alle Tiere in der Lage, die richtige Richtung zu bestimmen, aber nur acht von 22 Hunden zeigten eine zuverlässig hohe Leistung zwischen 90 % und 100 %. Diese Hunde zeigten auch in einem zweiten Experiment, in dem der Fährtenleger rückwärts lief, eine konsistent hohe Leistung. Die Ergebnisse der restlichen Tiere waren sehr viel variabler, manche zeigten Vorlieben für eine Spurrichtung: Wurde die Spur von links nach rechts gelegt, entschieden sie sich häufiger richtig, als wenn die Spur von rechts nach links gelegt wurde. Grundsätzlich trafen die jüngeren Tiere mehr die richtige Entscheidung als die älteren. Die Autoren vermuten, dass die Präferenz für eine bestimmte Richtung zum einen durch Einflüsse des Hundeführers entstanden sein könnten (tendenzielles Ansetzen in eine bestimmte Richtung), zum anderen, dass es sich um eine Trainingsfrage handelt (je öfter eine bestimmte Richtung trainiert wird, desto häufiger entscheiden sich die Tiere für diese Richtung). Letzteres würde auch erklären, warum die älteren Tiere schlechter abschnitten als die jüngeren. Die Autoren empfehlen deshalb sehr früh zu generalisieren.

Zwei Jahre später konnten HEPPEL & WELLS (2005) erneut belegen, dass Hunde in der Lage sind, die Richtung einer Spur zu bestimmen. Sie stellten darüber hinaus fest, dass sie dafür nur einen kurzen Weg (max. fünf, besser sieben Fußabdrücke) und höchstens 1-2 Sekunden brauchen. Sie kommen außerdem zu dem Ergebnis, dass Hunde keine visuellen, sondern nur olfaktorische Signale für eine Richtungsentscheidung benötigen, wobei sie sich ausschließlich am Individualgeruch innerhalb eines Fußabdruckes orientieren und nicht an der Hochwitterung.

Offen bleibt, wie genau Hunde die Richtungsentscheidung treffen. Vermutet wird (HEPPER & WELLS, 2005), dass Hunde die Geruchssignale anhand der unterschiedlichen Zeit der gesetzten Fußabdrücke entschlüsseln und mit denen anderer Fußabdrücke vergleichen oder, dass sie den Geruchskonzentrationsgradienten nutzen (Individualgeruch im fortführenden Fußabdruck ist stärker als der im zurückliegenden Fußabdruck). Die dritte Theorie lässt vermuten, dass die Fußspitze intensiver riecht als die Ferse, da sie eine dünnere Haut aufweist und mehr Sekrete ausscheidet. Letztlich wäre auch eine Kombination aller oder einiger der aufgeführten Theorien denkbar.

#### **2.4.2.4 Diskriminierungsfähigkeit des Geruchs von Zwillingen**

*„(...) it would be an interesting experiment for twins who are closely alike to try how far dogs could distinguish them by scent“*

(GALTON, 1875)

Die Erforschung der Diskriminierungsfähigkeit menschlichen Geruchs im Zusammenhang mit Zwillingen hat mehrere Ziele. Zum einen dient es der weiteren Erforschung des Individualgeruchs selbst und der Frage, woran genau sich Hunde bei der Diskriminierung menschlichen Geruchs orientieren. Zum anderen können Grenzen der Riechleistung von Hunden ausgelotet werden.

Die Zwillingsexperimente von KALMUS (1955) wurden im Rahmen der Vorversuche schon erwähnt. Einerseits waren die Tiere nicht in der Lage, das dem Muster entsprechende Taschentuch herauszufinden, sondern akzeptierten auch das des anderen Zwillings, andererseits konnten sie im Rahmen der Fährtenaufgabe den richtigen Zwilling finden und identifizieren. Allerdings hat Kalmus die möglichen Umweltein-

flüsse (Wohnverhältnisse, Ernährung, etc.)<sup>85</sup> nicht kontrolliert, die im letzteren Fall zum Erfolg geführt haben könnten.

In der Untersuchung von HEPPER (1988) wurden Einflüsse von Sekundär- und Tertiärgerüchen im Studiendesign berücksichtigt. Im Rahmen von Diskriminierungsaufgaben nach dem Muster-Gegenstück-Prinzip<sup>86</sup> konnte beobachtet werden, dass Hunde fähig sind, Zwillinge zu unterscheiden, wenn entweder ihre genetische Verwandtschaft unterschiedlich (dizygote Zwillinge) oder ihr Umfeld ein anderes war. Die Unterscheidung allein anhand unterschiedlicher Umweltbedingungen (monozygote Zwillinge) erwies sich jedoch als schwieriger<sup>87</sup> und war mit mehr Fehlern behaftet als die genetische Unterscheidung (dizygote Zwillinge). Waren Umweltbedingungen und genetische Bedingungen gleich, konnten die Hunde keine Unterscheidung treffen. Die Ergebnisse zeigen, dass Geruchssignale unter Umweltkontrolle anscheinend geringer sind als Geruchssignale unter genetischer Kontrolle (SCHOON et al., 2009). Sie liefern deshalb Hinweise darauf, dass sich Hunde mehr am genetischen (also primären) Geruch als an der Umwelt orientieren, während sie die sekundären sowie tertiären Gerüche nur im Zweifelsfall hinzuziehen.

HARVEY et al. (2006) beschäftigten sich in ihrer Untersuchung mit dem Hinweis aus der Studie von HEPPER (1988) und stellten die Frage, ob Hunde sich wirklich an der genetischen Komponente orientieren und wenn ja, ob sie zwischen nahen Verwandten und eineiigen Zwillingen unterscheiden können. Gleichzeitig konnten sie anhand des Versuchsaufbaus die Ergebnisse von KALMUS (1955) überprüfen. Sie gingen den Fragestellungen mit Bluthunden anhand in einem Park gelegter Fährten nach. Von den teilnehmenden Personen wurde immer nur ein Partner gesucht. Während im ersten Versuch ein Partner das Geruchsmuster lieferte, aber selber nicht anwesend war, legte der andere die Fährte und blieb an dessen Ende versteckt. Im zweiten Versuch waren beide Partner anwesend und die Fährte wurde im Split ange-

---

<sup>85</sup> Zu Primär-, Sekundär und Tertiärgeruch vgl. auch die Abschnitte 2.3 „Forschung zum menschlichen Geruch“, S. 44 und hier insbesondere die Unterpunkte 2.3.1 „Individualgeruch – Produktion und Zusammensetzung“, S. 45, 2.3.1.3 „Chemische Zusammensetzung menschlichen Geruchs – VOCs“, S. 53 und 2.3.1.4 „Menschlicher Geruch von verschiedenen Körperstellen“, S. 54.

<sup>86</sup> Als Muster und Gegenstück dienten standardisierte T-Shirts.

<sup>87</sup> Die Hunde brauchten länger für die Unterscheidung.

legt<sup>88</sup>. Der Mustergeruch kam nur von einer der Versuchspersonen. Es nahmen nichtverwandte Personen und verwandte Personen (davon neun monozygote Zwillinge) teil, manche lebten zusammen in einem Haushalt, manche lebten in getrennten Haushalten. Auf diese Weise wurden sowohl primäre als auch sekundäre und tertiäre Gerüche kontrolliert. Eine 100%ige Unterscheidung konnten die Hunde bei nicht verwandten Paaren treffen, unabhängig davon, ob sie in getrennten oder demselben Haushalt wohnten. Verwandte, aber getrennt lebende Partner wurden ebenfalls zu 100 % richtig differenziert, verwandte, aber zusammenlebende Personen immer noch zu 76 %. Anders stellte sich das Ergebnis bei den monozygoten Zwillingen dar: Hier bestätigte sich der Versuch mit den Taschentüchern von KALMUS (1955). In Abwesenheit des das Muster liefernden Zwillings suchten die Hunde i. d. R. den Partnerzwilling. Bei den Erfolgen handelte es sich um Zufallsergebnisse. Erfolgsunterschiede zwischen Zwillingen aus gleichem oder getrenntem Haushalt waren nicht signifikant. Allerdings gab es einen Hund, der eineiige Zwillinge aus getrenntem Haushalt zuverlässig unterscheiden konnte.

Im Gegenzug dazu waren die Hunde in Versuch zwei auch bei den monozygoten Zwillingen erfolgreicher (im selben Haushalt lebende Zwillinge wurden zu 23 % richtig differenziert, in getrennten Haushalten lebende zu 55 %), es gab statistisch keinen signifikanten Unterschied. Ähnlich wie bei HEPPEL (1988), brauchten die Hunde aber länger für die Entscheidung, insbesondere bei den Partnern aus demselben Haushalt. Die anderen verwandten und nichtverwandten Partner wurden auch hier mit einer hohen Trefferquote unterschieden (getrennter Haushalt: jeweils 100 %; dagegen gemeinsamer Haushalt: 92 % Erfolg bei den Nichtverwandten und 75 % bei den Verwandten). HARVEY et al. (2006) schließen daraus, dass Hunde zur Ausarbeitung der Fährte viele Geruchsfaktoren nutzen, im Entscheidungsfall aber den genetisch produzierten Geruch verwenden und nur in Fällen, in denen der Primärgeruch zu ähnlich ist, auf den sekundären und tertiären Geruch zurückgreifen. Die Ergebnisse bestätigen außerdem die aus den Studien von KALMUS (1955) und HEPPEL (1988).

---

<sup>88</sup> Beim sog. Split gehen beide Fährtenleger gemeinsam los und trennen sich nach einer gewissen Zeit wieder. Die entstehende Fährte sieht wie ein Y aus.

### 2.4.3 Die Riechleistung beeinflussende Faktoren

Neben dem Alter und der damit einhergehenden Erfahrung des Hundes (HEPPER, 1988; WELLS & HEPPER, 2003; STOCKHAM et al., 2004 b; HARVEY et al., 2006) spielen auch die Aufgabenstellung und das Training (WELLS & HEPPER, 2003; HEPPER & WELLS, 2005; SCHOON & HAAK, 2002) eine sehr große Rolle bei der Riechleistung des Hundes.

Hunde arbeiten am besten, wenn sie getestet werden, wie sie trainiert wurden; Erfolg und Zuverlässigkeit hängen stark davon ab (SCHOON et al., 2009). Je eindeutiger die Aufgabenstellung definiert und das Training dieser Aufgabe angepasst ist, desto besser wird die Riechleistung des Hundes ausfallen und umgekehrt. Insbesondere an den Studien von BRISBIN & AUSTAD (1991), von MACKENZIE & SCHULTZ (1987) sowie von STEEN & WILSSON (1990) wird das deutlich.<sup>89</sup>

Im Rahmen des olfaktorischen Trainings muss auf die Generalisierung großer Wert gelegt werden. Das trifft sowohl auf die Konzentrationen<sup>90</sup> und Verunreinigungen (JOHNSTON, 1999) als auch auf Kontexte (SCHOON & HAAK, 2002) zu. Als Beispiel können hier das Training des Erkennens und Identifizierens der Gerüche verschiedener Körperstellen genannt werden oder das Erlernen einzelner und komplexer Gerüche.

Das häufige Training mit einem bestimmten Geruch oder das häufige Riechen eines bestimmten Geruchs führt zu einer Veränderung auf allen Gebieten, z.B. passen sich die Rezeptoren an und im Riechkolben werden die Glomeruli für diesen Geruch größer, die Sensitivität für diesen Geruch steigt und gegebenenfalls auch die Präferenz des Hundes für einen bestimmten Geruch (SCHOON & HAAK, 2002). Das birgt Feh-

---

<sup>89</sup> Vgl. auch Kapitel 2.4 „Forschung zur Riechleistung des Hundes“, S. 72, sowie die Abschnitte 2.4.2.1 „Diskriminierungsfähigkeit von Geruch verschiedener Körperstellen“, S. 75 und 2.4.2.3 „Diskriminierungsfähigkeit beim Verfolgen einer Spur“ Punkt 3 „Untersuchungen zur Entscheidung der Suchrichtung“, S. 81.

<sup>90</sup> Sehr häufig riechen Gerüche in unterschiedlicher Menge verschieden und stellen ein völlig anderes Geruchsbild dar (MALNIC et al., 1999; SCHOON & HAAK, 2002; HATT & DEE, 2011).



lerquellen und deshalb ist eine Generalisierung im Rahmen aller Diskriminierungsaufgaben unvermeidbar<sup>91</sup>.

Ein nicht zu vernachlässigender Faktor ist jedoch der soziale Einfluss auf die Riechleistung. Die von SETTLE et al. (1994) bemerkten schwächer werdenden Riechleistungen der Hunde aufgrund des emotionalen Leistungsdruckes des Hundeführers sind ein Beispiel dafür.

In diesem Zusammenhang ist auch die emotionale Komponente von Gerüchen zu berücksichtigen. Durch die direkte Weiterleitung ins limbische System erhält Geruch eine emotionale Färbung, die je nach Situation oder Erfahrung negativ oder positiv ausfallen können und bei Wahrnehmung des entsprechenden Geruchs zur Leistungsverschlechterung bzw. Leistungsverbesserung führen können (SCHOON & HAAK, 2002).<sup>92</sup>

Die Fähigkeit von Hunden, die menschliche Körpersprache genau zu lesen und auf sehr feine, subtile Signale zu reagieren, sowie neue Körpersprachesignale dazulernen, wurde in zahlreichen Untersuchungen nachgewiesen (MIKLÓSI et al., 1998; SOPRONI et al., 2001; SZETEI et al., 2003).

Hunde nutzen menschliche Gesten als Hinweise und zwar nicht nur von der ihr vertrauten Person, sie sind auch in der Lage, auf andere Personen zu verallgemeinern (MIKLÓSI et al., 1998).

Hunde lernen sehr schnell auf feine Signale wie z.B. Blicke zu reagieren<sup>93</sup> (SOPRONI et al., 2001), wodurch die Bedeutung der Augen für die soziale Kommunikation deutlich wird.

---

<sup>91</sup> Für reine Detektionsaufgaben kann es unter Umständen gewünscht sein, dass die Sensitivität und die Präferenz für einen bestimmten Geruch steigen.

<sup>92</sup> Vgl. auch die Abschnitte 2.1.3 „Das Empfangsorgan (Großhirn)“, S. 22 und 2.2.3 „Informationsverarbeitung“, S. 39.

<sup>93</sup> Anfangs reagierten sie nur auf ein gemeinsames Signal von Kopf und Augen signifikant häufiger als Zufall, während bei Signalen nur mit dem Kopf bzw. nur mit den Augen die Reaktionen nur zufällig waren. In weniger als acht Versuchen lernten die Hunde auf das reine Blicksignal zu reagieren (SOPRONI et al., 2001, zitiert nach SCHOON & HAAK, 2002).

## Kapitel 2

---

TOPAL et al. (1997) fanden heraus, dass eine starke, abhängige Beziehung zum Besitzer die Problemlösefähigkeit von Hunden verringert. Sie konnten u.a. auch feststellen, dass Arbeitshunde weniger stark davon betroffen sind als Begleithunde, jedoch ist der entscheidende Faktor, in welcher Beziehung der Hund zu seinem Menschen steht und nicht, ob es sich um einen Arbeitshund handelt oder nicht.

SZETEI et al. (2003) konnten nachweisen, dass Hunde in Abwesenheit menschlicher Signale sowohl olfaktorische als auch visuelle Signale für das Aufspüren von Nahrung nutzen. In Anwesenheit menschlicher Signale (Zeigegeste), orientieren sie sich stattdessen stark an diesen und vernachlässigen die anderen Signale, auch dann, wenn sie für den Hund nicht zielführend sind. Das gilt insbesondere für die olfaktorischen Signale<sup>94</sup>.

Insbesondere die Erkenntnis von SZETEI et al. (2003) ist für die Arbeit mit Suchhunden von großer Bedeutung, macht sie doch deutlich, dass bei Sucharbeiten ausschließlich das olfaktorische Signal Bedeutung haben sollte.

Dass die Wirksamkeit einer Diskriminierung nicht nur von der Ausbildung des Hundes, dem aufrechterhaltenden Training, den Umweltbedingungen und dem Temperament abhängt, sondern auch von den Fähigkeiten des Hundeführers (LEITCH et al., 2013), wurde bereits an diversen Stellen<sup>95</sup> erwähnt. Das kann sowohl im positiven Sinne sein, z.B. in Form von Einsatz- oder Ausbildungserfahrung, als auch von Nachteil, z. B. durch die Beeinflussung des Hundes.

KOMAR (1999) und LASSETER et al. (2003) berichten von ca. 10 % Anzeigen, die im Rahmen von Diskriminierungsaufgaben verloren gehen, weil der Hundeführer die Zeichen des Hundes nicht richtig deutete.

---

<sup>94</sup> In den Versuchen von SZETEI et al. (2003) konnten die Tiere zwischen zwei Schüsseln wählen, eine enthielt Futter, die andere war leer. Ca. 50 % der Hunde gingen auf das menschliche Zeigen zur leeren Schüssel, obwohl sie in der anderen Schüssel das Futter riechen und/oder sehen konnten.

<sup>95</sup> Vgl. in Abschnitt 2.4.2.3 „Diskriminierungsfähigkeit beim Verfolgen einer Spur“ unter Punkt 1 „Untersuchungen in Bezug auf Verleitung durch andere Spuren“ die Untersuchung von STOCKHAM et al. (2004 b), Absatz 2 auf S. 80 sowie unter Punkt 2 „Untersuchungen in Bezug auf die Alterung der Spur“ die Untersuchung von HARVEY & HARVEY (2003) auf S. 80 und unter Punkt 3 „Untersuchungen zur Entscheidung der Suchrichtung“ die Untersuchung von WELLS & HEPPEL (2003), Absatz 2 auf S. 82.

Umgekehrt scheint es 5 % positive Anzeigen zu geben, in denen der Hundeführer die Zielsubstanz vor dem Hund „gefunden“ hat (LASSETER et al., 2003).

KURZ et al. (1996) wiederum berichten, dass es Beeinflussungen bewusster und/oder unbewusster Art gab, weil der Hundeführer davon ausging, dass eine Zielsubstanz vorhanden war und so eine Anzeige förderte, obwohl der Hund die Zielsubstanz eigentlich nicht erkannt hat. Das deckt sich mit Untersuchungen von LIT et al. (2011), die feststellten, dass sich die Überzeugungen des Hundeführers auf die Leistung des Hundes auswirken.

Sie haben vor allem zwei Arten der Beeinflussung beobachten können:

1. Der Hundeführer glaubt, dass der Zielgeruch an einer bestimmten Stelle ist und fördert dort eine Anzeige des Hundes (unabhängig davon, ob der Zielduft auch tatsächlich dort ist).
2. Der Hundeführer ist der Überzeugung, dass ein Zielgeruch vorhanden ist (unabhängig davon, ob das tatsächlich der Fall ist) und fördert so eine Anzeige des Hundes.

## **2.4.4 Zusammenfassung zur Riechleistung des Hundes**

Hunde sind in der Lage, alte und verwitterte Geruchsspuren bis zu sieben Wochen lang zu detektieren (KING et al., 1964), inwieweit das für eine Diskriminierungsaufgabe ausreicht, ist jedoch unklar.

Sie können sechs Monate alte Mustergerüche einem frischen Geruch zuordnen, die Leistung unterliegt dabei Schwankungen. Insbesondere in den ersten zwei Wochen kommt es zu einem Leistungsabfall (SCHOON, 2005).

Hunde vermögen Gerüche verschiedener Körperstellen wahrzunehmen und zuzuordnen (SCHOON & DEBRUIN, 1994).

## Kapitel 2

---

Sie sind fähig, einer Fährte unter natürlichen Bedingungen über eine längere Strecke und trotz diverser Verleitungen bis zum Ziel zu folgen (KALMUS, 1955; HARVEY & HARVEY, 2003; STOCKHAM et al., 2004 b; HARVEY et al., 2006; CURRAN et al., 2010 a).

Hunde können innerhalb von 1-5 Sekunden und 2-7 Fußstapfen die Richtung einer Fährte erkennen. Dabei orientieren sie sich vermutlich am Geruchskonzentrationsgradienten des Fußabdrucks (THESEN et al., 1993; HEPPEL & WELLS, 2005).

Je länger sie sich dabei auf der richtigen Spur befinden, desto wahrscheinlicher ist es, dass sie am Ziel ankommen und die richtige Zielperson anzeigen.

Eine 48 Stunden alte Fährte stellt für Hunde, auch unter natürlichen Bedingungen, kein Problem dar (HARVEY & HARVEY, 2003).

Hunde sind in der Lage, einem Mustergeruch zu folgen und ihn richtig zuzuordnen, auch, wenn dieser starken mechanischen, thermischen und chemischen Einflüssen ausgesetzt war (STOCKHAM et al., 2004 b; CURRAN et al., 2010 a).

Es macht dabei keinen Unterschied, ob eine Geruchsprobe sofort entnommen wird oder zeitverzögert (STOCKHAM et al., 2004 b).

Die Erfolgsrate liegt bei unerfahrenen Hunden niedriger als bei erfahrenen Hunden (HARVEY & HARVEY, 2003).

Hunde orientieren sich am Individualgeruch. Es ist jedoch schwer bis unmöglich genau zu definieren, an welchen Komponenten sie sich orientieren, wenn sie eine Geruchszuordnung vornehmen (PRADA & FURTON, 2008; PRADA et al., 2015).

Hunde haben keine Probleme, nicht verwandte Personen zu erkennen und zu identifizieren. Auch bei verwandten Personen funktioniert eine Diskriminierung, unabhängig davon, ob sie zusammenleben oder nicht. Die Diskriminierung monozygoter Zwillinge ist jedoch schwierig und hängt von zusätzlichen Faktoren ab (HARVEY et al., 2006).

Die Riechleistung wird beeinflusst durch die Erfahrung von Hund und Hundeführer, dem Training, der Aufgabenstellung und dem Lernverhalten von Hunden (SETTLE et al., 1994; SCHOON & HAAK, 2002; SZETEI et al., 2003; SCHOON et al., 2009; JOHNEN et al., 2013; LEITCH et al., 2013). Hierzu zählen u.a. Generalisierung in Bezug auf den Geruch, die Umwelt und die Aufgabenstellung, sowie die Fähigkeit menschliche Signale lesen zu lernen.

Einen großen Beeinflussungsfaktor für die Riechleistung stellt der Hundeführer dar, aber auch andere Personen können den Hund beeinflussen (KURZ et al., 1996; KOMAR, 1999; LASSETER et al., 2003; LIT et al., 2011; LEITCH et al., 2013).



---

## 3 Tiere, Material und Methode

„Because every experiment involves several kinds of compromises, there is no single ideal experiment.“

(WILEY, 2003)

### 3.1 Die Hunde

Geplant war die Studie mit 30 Hunden verschiedener Rassen, die in drei Gruppen eingeteilt werden sollten:

1. 10 Bluthunde
2. 10 andere Jagdhunde (unterschiedlicher Rassen)
3. 10 Gebrauchshunde (typische Diensthunderassen)

Die Hunde sollten aus dem Polizei- und/oder Rettungsdienst stammen, eine Ausbildung zum Personenspürhund (Trailer) durchlaufen haben und Einsatzerfahrung besitzen. Außerdem sollte jeder Hund eine aktuelle Einsatzüberprüfung nachweisen können (entsprechend der Vorgaben der Einsatzgruppe bzw. des Bundeslandes, in dem sie tätig sind).

# 3.2 Die Personen

## 3.2.1 Hundeführer

Die Hundeführer sollten nach Möglichkeit Diensthundeführer der Polizei sein. Wegen eventuell möglicher Schwierigkeiten genügend Suchteams rekrutieren zu können, ist die Studie jedoch auch für andere professionell arbeitende Hundeführer geöffnet, die dann allerdings in enger Zusammenarbeit mit der Polizei tätig sein sollten.

Alle Hundeführer müssen mehrfache Einsatzerfahrung mit einem Suchhund nachweisen können und zum Versuchszeitpunkt in diesem Bereich aktiv dieser Hundearbeit nachgehen.

## 3.2.2 Läufer

Als Läufer<sup>96</sup> sind sowohl männliche als auch weibliche Personen geplant, die aus versicherungstechnischen Gründen volljährig sein müssen.

Sie legen die Spuren, indem sie nach Karte eine vorbestimmte Strecke ablaufen und sind währenddessen mit einem GPS-Gerät ausgestattet, über das der Weg aufgezeichnet und gespeichert wird.

Zu diesem Zweck werden sie am Tag des Spurlegens mit einem Fahrzeug zum Startpunkt gebracht und am Ziel wieder abgeholt. Am Tag des Absuchens werden sie unmittelbar vor der Suche erneut am Zielpunkt abgesetzt und verweilen dort, bis der Hund sie findet.

Während des Transports ist das Fahrzeug geschlossen und die Lüftung ausgeschaltet. Auch das Kreuzen der Fährte wird vermieden.

---

<sup>96</sup> Die Läufer werden auch Helfer, Fährtenleger, Targets oder Zielpersonen genannt.



In dem Zeitraum zwischen dem Legen und Absuchen der Fährte dürfen sich die Läufer nicht in der Gegend der gelegten Fährten aufhalten.

Vor der Suche haben die Targets keinen Kontakt zu den Hunden und sind diesen auch nicht näher bekannt.

Den Witterungsbedingungen und Jahreszeiten entsprechend sind die Fährtenleger unterschiedlich gekleidet. Das gilt sowohl für den Tag des Legens als auch für den Tag der Suche.

## **3.3 Sammlung, Lagerung und Präsentation des Geruchs**

### **3.3.1 Geruchsträger und Sammlung der Geruchsprobe**

Als Geruchsträger wird eine 7,5 x 7,5 cm große, sterile Mullkomresse aus 100 % Baumwolle von der Firma Hartmann verwendet.

Unmittelbar bevor der Helfer die Fährte legt, wird die Geruchsprobe genommen. Der Läufer entnimmt die Gaze selbst der Verpackung und reibt sich damit verschiedene Körperstellen ab (Hände, Gesicht, Hals, Dekolletee, Unterarme).

Anschließend verpackt er die Komresse in ein neu gekauftes ca. 125 ml, klares Einmachglas mit Schraubverschluss, welches vor Verwendung in der Spülmaschine bei 70 °C gespült und mit puderfreien Handschuhen gehandhabt wurde.

### 3.3.2 Lagerung der Geruchsprobe

Die Gläser werden von der Experimentatorin mit der Kodierung für die Fährte, Datum und dem Namen des Läufers versehen und bis zum Tag der Suche bei Raumtemperatur in einem verschlossenen, aber nicht 100 % lichtdichten, Karton gelagert.

### 3.3.3 Präsentation der Geruchsprobe

Am Tag der Suche wird die Geruchsprobe dem Hundeführer überreicht, der das Glas öffnet und dem Hund präsentiert. Das passiert nach dem individuellen Ritual des Mensch-Hund-Teams. Manche Hundeführer füllen die Komresse – ohne sie zu berühren – in einen Gefrierbeutel aus Polyethylen und der Hund muss die Nase in den Beutel stecken, um am Geruchsträger zu schnüffeln. Andere lassen den Hund direkt im Glas am Geruchsträger riechen. Nachdem der Hund am Geruchsträger gerochen hat, beginnt die eigentliche Suche.

## 3.4 Die Fährten

### 3.4.1 Örtlichkeit, Fährtenumgebung und Fährtenuntergrund

Die Fährten sollen jeweils in dem Bundesland gelegt werden, aus dem die Diensthundeführer kommen, um zum einen die Anreise für sie möglichst kurz zu halten und zum anderen zusätzlichen Verwaltungs- und Genehmigungsaufwand gering zu halten. Aus diesem Grund werden die Fährten auf verschiedene Orte des Bundesgebietes und der Schweiz verteilt. Das führt dazu, dass sowohl die Experimentatorin als auch die Fährtenleger immer und die Hundeführer mit ihren Hunden oft zum Ort des Geschehens anreisen müssen.

Neben dem geringeren Verwaltungs- und Genehmigungsaufwand für die Diensthundeführer hat diese Vorgehensweise den Vorteil, dass das Suchgebiet i. d. R. für alle Beteiligten unbekannt ist. Das wirkt sich einerseits günstig auf die Verblindung (siehe unten) aus, ist aber auch in Hinblick auf die Vermeidung der Geruchskontamination durch die Läufer im Zeitzwischenraum zwischen Legen und Suchen von Vorteil.

Die Fährten selbst sollen in natürlicher Umgebung und nicht unter Laborbedingungen gelegt werden. Um verschiedene Untergründe einzubeziehen, ist die Suche sowohl auf natürlichem Untergrund in Naherholungsgebieten (Wald bzw. Feld am Waldrand, Stadtpark) als auch auf städtischem Untergrund in Klein- und Großstädten (Wohn- oder/und Industriegebiete) mit jeweils mittlerer bis starker Frequentierung geplant.

### 3.4.2 Fährtenalter, Fährtenlänge und Fährtenverlauf

Jeder der insgesamt 30 Hunde soll drei unterschiedliche Fährtenalter (einen Tag, eine Woche, einen Monat) suchen. Davon jeweils drei auf natürlichem und auf städtischem Untergrund, also insgesamt sechs Fährten für jedes Fährtenalter, je neun Fährten für die unterschiedlichen Untergründe und 18 Fährten insgesamt (siehe unten Tabelle 1). Bei 30 Hunden hätten sich 540 Fährten ergeben.

**Tabelle 1: Ursprünglich geplante Suchen pro Hund.**

	natürlicher Untergrund	städtischer Untergrund	Total
Tagesfährte	3	3	6
Wochenfährte	3	3	6
Monatsfährte	3	3	6
Total	9	9	18

Für alle Spuren ist eine Mindestlänge von 500 m geplant (je nach Geländestruktur können sie auch geringfügig länger sein) und sie sollen sowohl am Start als auch im Fährtenverlauf mindestens eine Entscheidung enthalten. D. h.: Der Start befindet sich in einem Kreuzungsbereich mit zwei oder mehr Seitenarmen und im Verlauf kommt mindestens eine Kreuzung mit wiederum zwei oder mehr Abzweigungen.

Aufgrund der natürlichen Umgebungen sowie der Distanz von 500 m sind i. d. R. mehr als eine Kreuzung im Fährtenverlauf zu erwarten.

Keine Spur soll doppelt gesucht werden, es muss genügend Distanz zwischen den einzelnen Fährten liegen und es sollen keine routinierten „Legemuster“ entstehen. Auf diese Weise ist gewährleistet, dass

1. kein Hund den richtigen Weg aus der Erinnerung findet.
2. kein Hund durch die zuvor von ihm gesuchte Fährte abgelenkt wird.
3. Hunde aus der gleichen Dienststelle nicht die Spur des „Kollegen“ verfolgen statt die Spur des Läufers.
4. keine Absprachen zwischen den Hundeführern stattfinden können.

Aus diesem Grund wird für jeden Hund für jede Fährte eine neue Strecke mit einer Distanz von mind. 500 m zur vorherigen Fährte gewählt.

Spuren, die für unterschiedliche Hunde und mit unterschiedlichen Läufern gelegt werden, können mit einer Distanz von ca. 50 m - 200 m auch im selben Wohngebiet gelegt werden, sollen sich aber nicht überkreuzen.

### 3.4.3 Suchvorbereitungen, Verblindung und Pausen

Der Streckenverlauf wird von der Versuchsleiterin mit Kartenmaterial im Vorfeld bestimmt und den Läufern erst unmittelbar vor dem Legen der Fährte mitgeteilt.

Weder Hundeführer noch Hunde wissen, wo die Strecke verläuft. Das Target wird vor Eintreffen des Mensch-Hund-Teams für die Suche platziert.

Die Experimentatorin weist das Team ein. Hierzu gehören die Übergabe des eingeschalteten GPS-Hundehalsbandes sowie der Geruchsprobe und das Zeigen des Startpunktes („Die Suche startet in diesem Kreuzungsbereich.“). Danach ist das Suchteam auf sich alleine gestellt. Der Hundeführer bereitet sich und seinen Hund nach individuellem Ritus vor und startet.

In der Regel sollen sich Hundeführer und Hund alleine auf der Fährte befinden, auf Wunsch kann aber Begleitung mitgenommen werden. Entscheidend ist jedoch, dass keiner aus dem Suchteam (weder Hundeführer noch Hund noch Begleitung) den Verlauf der Fährte kennt<sup>97</sup>. Die Experimentatorin selbst bleibt am Startpunkt zurück und verfolgt die Suche auf dem GPS-Handgerät.

Für den Fall, dass die Suche abgebrochen werden soll, besteht die Möglichkeit, sowohl für den Hundeführer als auch für die Versuchsleitung, Kontakt über Mobiltelefon aufzunehmen.

Pro Hund und Tag sollen maximal drei Fährten gesucht werden, wobei zwischen den einzelnen Fährten mindestens eine Stunde Pause als Erholungszeit für das Tier liegen muss. Damit soll zum einen das Wohl des Tieres gewährleistet sein, zum anderen wird mit dieser Vorgehensweise vermieden, dass Misserfolge aufgrund von Ermüdung zustande kommen.

---

<sup>97</sup> Diese Unkenntnis des Suchteams und aller Begleiter über den Streckenverlauf ist als Verblindung zu verstehen.

# 3.5 Datenerhebung und Dokumentation

## 3.5.1 Fährtdokumentation

Die Fährten werden beim Legen der Spur mit dem Garmin Astro 220 Handgerät aufgezeichnet und kodiert gespeichert.

Unmittelbar vor der Suche wird der Hund mit dem Garmin Astro 220 Halsband ausgestattet. Das Handgerät verbleibt bei der Experimentatorin, die darüber die Suche des Hundes fast meteregenau verfolgen und mit der beim Legen gespeicherten Fährte vergleichen kann.

Folgende Daten werden automatisch über das Gerät gespeichert:

- Fährtenverlauf
- Distanz
- Zeit
- Geschwindigkeit
- Steigungen
- Position

Darüber hinaus sind über das Kartenmaterial die Umgebung und Kreuzungen aufgezeichnet und nachvollziehbar.

Die Abzweigungen auf der Fährte werden jedoch gesondert gezählt, um ggf. nicht auf der Karte verzeichnete Entscheidungspunkte in die Auswertung einbeziehen zu können.

Alle Daten liefern während des Versuchsablaufs vor Ort wichtige, für die Durchführung zum Teil auch unverzichtbare Informationen, aber lediglich der Fährtenverlauf wird im Rahmen dieser Arbeit explizit ausgewertet.

## 3.5.2 Dokumentation von Randbedingungen

Als Randbedingungen werden hier Gegebenheiten verstanden, die ebenfalls Einfluss auf die Fährte, den Individualgeruch und letztlich auch auf den Erfolg bzw. Misserfolg haben können. Hierzu gehören:

- Besonderheiten der Geländestruktur, z. B. Steigungen, offene Plätze, Gewässer, etc..
- Besondere Vorkommnisse und Ablenkungen, z. B. ungewöhnliche Begegnungen mit anderen Hunden oder Menschen, Wildkonfrontationen, überraschend starker Auto- oder Publikumsverkehr, etc..
- Aufzeichnung der Wetterdaten (Lufttemperatur, Windgeschwindigkeit, Windrichtung, Luftfeuchte, Niederschlag in Art und Menge sowie Luftdruck und Bewölkung)

Die Wetterdaten werden auf zwei Arten gewonnen. Zum einen werden die stündlichen Daten vom Beginn des Legens der Fährte bis zum Ende der Suche über die Datensammlung des Deutschen Wetterdienstes erhoben. Dies geschieht über die der Fährte am nächsten gelegene regionale Wetterstation. Auf diese Weise werden auch die Daten des Zwischenraumes zwischen Legen und Suchen der Fährte erfasst. Ergänzend diente die Onlineplattform [www.wetteronline.de](http://www.wetteronline.de) als Informationsquelle.

Zum anderen werden von der Experimentatorin mit der mobilen Wetterstation Skymate Pro die Wetterdaten (Windrichtung, Windgeschwindigkeit sowie Lufttemperatur) am Tag des Legens und am Tag der Suche gemessen. Dies geschieht direkt vor Ort am Start. Zusätzlich werden optisch wahrnehmbare Wetterbedingungen notiert.

Diese Dokumentationen dienen der Unterstützung und sollen gegebenenfalls im Rahmen der Diskussion bei Erläuterungen oder Interpretationen behilflich sein. Sie sind aber nicht direkter Gegenstand der Ergebnisauswertung dieser Dissertation.

### 3.6 Fragestellungen

Mit der vorliegenden Studie sollen anhand des Erfolgs bzw. Misserfolgs folgende Fragen beantwortet werden:

- Können Hunde alle drei Fährtenalter erfolgreich suchen?
- Gibt es Unterschiede in der Leistung bei den verschiedenen Fährtenalter?
- Gibt es Unterschiede in der Leistung im Zusammenhang mit der natürlichen Umgebung (Natur/Stadt) mit Bezug auf das Fährtenalter?
- Gibt es Unterschiede in der Leistung bei den verschiedenen Rassen?

In diesem Zusammenhang gilt es, die folgenden Hypothesen zu überprüfen:

1. „Hunde bewältigen Tagesfährten signifikant erfolgreicher als Wochenfährten und diese wiederum erfolgreicher als Monatsfährten.“
2. „Je mehr richtige Entscheidungen der Hund im Verlauf der Fährte trifft, desto zuverlässiger sucht er und desto exakter orientiert er sich an der Spur.“
3. „Hunde suchen erfolgreicher auf natürlichem als auf künstlichem (städtischem) Untergrund.“
4. „Suchteams mit vielen richtig getroffenen Entscheidungen kommen auch ans Ziel und umgekehrt, Suchteams mit wenigen richtigen Entscheidungen kommen nicht ans Ziel“.
5. „Je mehr richtige Entscheidungen getroffen werden, desto enger arbeitet der Hund an der Spur und umgekehrt, je weniger richtige Entscheidungen getroffen werden, desto weiter entfernt sich das Team von der Spur“.
6. „Tagesfährten weisen mehr richtig getroffene Entscheidungen auf als Wochenfährten und diese mehr als Monatsfährten“.



## 3.7 Bewertungssystematik

### 3.7.1 Erfolg

Als Erfolg wird das Ankommen des Suchteams am Ziel inklusive der Identifikation des Targets durch den Hund gewertet. Da sich der Personenspürhund dabei nicht an Bodenverletzungen orientiert, sondern am Individualgeruch und sich an diesem bis zur Geruchsquelle vorarbeitet (CURRAN et al., 2005 b; STOCKHAM et al., 2004 a), bewegt er sich nicht zwangsläufig exakt über der vom Target gelegten Laufspur. Je nach Gelände-, Kreuzungs- und Witterungsbedingungen verteilen sich Geruchspartikel und ziehen in Kreuzungsarme, auch wenn die Person nicht dort lang gelaufen ist. Das erfordert teilweise das Verlassen der Fährte und die Überprüfung von Kreuzungsarmen. Um eine Auswertung über prozentual richtig getroffene Entscheidungen vornehmen zu können, ist allein der Erfolg in Form des Ankommens nicht ausreichend. Deshalb wurde eine Bewertungsskalierung vorgenommen, anhand derer überprüft werden kann, wann an Kreuzungspunkten die Entscheidung des Hundes als richtig und wann als falsch einzustufen ist.

Kreuzungsarme, in die der Läufer nicht gegangen ist und vom Hund als falsche Richtung aussortiert wurden, werden im Rahmen dieser Arbeit genauso als richtige Entscheidung gewertet wie der Kreuzungsarm, in dem die Spur verläuft.

#### 3.7.1.1 Spurlaufen

Der Hund läuft exakt auf der Spur. Das ist im Rahmen dieser Arbeit unter zwei Bedingungen der Fall.

1. Der Hund zeigt keine Abweichung von der Spur, d.h. sucht exakt entlang der Fährte.

2. Der Hund weicht an einem Entscheidungspunkt  $\leq 50$  m von der Spur ab, orientiert sich dann aber selbständig wieder in Richtung Fährte und geht den gleichen Weg bis zur Spur zurück, um sie anschließend weiter zu verfolgen.

Kreuzungsarme, an denen der Hund dieses Suchverhalten zeigt, werden in dieser Arbeit als 100 % richtige Entscheidungen und als „Spurlaufen“ gewertet.

### **3.7.1.2 Spurlaufen trotz Abweichung**

Der Hund folgt der Spur ebenfalls sehr genau, braucht aber beim Prüfen des falschen Arms mehr als 50 m oder geht nicht den gleichen Weg zur Spur zurück. Geringe Abweichungen werden wie folgt definiert:

1. Der Hund weicht  $\leq 50$  m von der Spur ab, wendet dann aber nicht, sondern läuft parallel zur Spur über eine Distanz von ebenfalls  $\leq 50$  m und kehrt dann zur Spur zurück. Hunde laufen nicht zwangsläufig den gleichen Weg zur Spur zurück, wenn sie festgestellt haben, dass es sich um einen falschen Abzweig handelt. Viele wenden und nehmen den direkten Weg auf die Spur in Richtung des frischesten Geruchs.
2. Die Abweichung von der Spur beträgt  $> 50$  m und  $\leq 150$  m, aber folgende Kriterien sind zusätzlich erfüllt:
  - a. Die Abweichungen finden nur am Start statt.
  - b. Pro Fährte gibt es nur bis zu zwei Abweichungen.
  - c. Der Hund orientiert sich nach spätestens 150 m selbständig wieder zur Fährte um und geht auf gleichem Weg bis zur Spur zurück, um sie dann zu verfolgen.

Entscheidungen (Kreuzungsarme) an denen „geringe Abweichungen“ stattfinden werden im Rahmen dieser Arbeit ebenfalls als 100 % richtige Entscheidungen und damit auch als „Spurlaufen“ gewertet.

### **3.7.1.3 Hochwitterung**

In diesem Fall weicht der Hund deutlich von der Spur ab. Hierunter fallen folgende Abweichungen:

1. Der Hund weicht  $> 50$  m, aber  $\leq 150$  m ab und
  - a. geht nicht den gleichen Weg zur Spur zurück
  - b. läuft  $> 50$  m parallel, unabhängig von der Distanz zur Spur
  - c. entfernt sich öfter als zwei Mal  $> 50$  m  $\leq 150$  m von der Spur
2. Der Hund weicht  $> 150$  m von der Spur ab (inklusive Parallellaufen)

Der Entscheidungsarm, an dem der Hund sich entsprechend der obigen Erläuterung von der Fährte entfernt, wird als falsch gewertet. Ebenso alle Entscheidungspunkte, an denen der Hund aufgrund der vorherigen Fehlentscheidung nicht mehr vorbeikommt.

### **3.7.2 Misserfolg**

Als Misserfolg gilt, wenn der Hund nicht am Zielpunkt ankommt. Der Status „Misserfolg“ wird durch Abbruch der Fährtenarbeit erlangt. Dies kann zum einen durch die Versuchsleiterin geschehen oder durch den Hundeführer.

Ein Abbruch durch die Versuchsleiterin findet unter folgenden Bedingungen statt:

1. Aufgrund zu großer Abweichungen besteht keine Aussicht auf Erfolg.
2. Aufgrund der Geländestruktur besteht durch die Abweichung keine Möglichkeit mehr, zum Target zu gelangen.
3. Der Hund läuft nicht los.
4. Der Hund läuft zum Ausgangspunkt zurück („backtracking“).

Ein Abbruch durch den Hundeführer kann folgende Gründe haben:

1. Besondere Vorkommnisse, die zur Verwirrung des Suchhundes führen.
2. Der Hund ist stark ermüdet.
3. Der Hundeführer ist mit der Leistung des Hundes unzufrieden.

### 3.8 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung der Ergebnisse erfolgte mit Graphpad Prism 5.

Für die Überprüfung der Signifikanz im Vergleich Erfolg/Misserfolg in Abhängigkeit der Umgebung wurde der Fisher Exact Test verwendet, während für den Vergleich Erfolg/Misserfolg in Abhängigkeit der drei Fährtenalter bzw. den Vergleich Erfolgsfährten in Abhängigkeit von Spur und Hochwitterung die Signifikanz mit dem Chi Square Test geprüft wurde. Für beide Tests gilt: Werte von  $p \leq 0,05$  sind statistisch signifikant, Werte von  $p \leq 0,01$  sind hochsignifikant und Werte von  $p \leq 0,001$  sind höchstsignifikant.

Für die Erstellung der Tabellen und Graphen diente Office 2010. Die Darstellung der prozentual richtig getroffenen Entscheidungen erfolgte mit Exel 2010, die Erstellung anderer Tabellen mit Word 2010.

---

## 4 Ergebnisse

*„Auch der beste Hund verliert zuweilen die Spur.“*

*(DEUTSCHES SPRICHWORT, o.J.)*

### 4.1 Die Hunde

Insgesamt haben nur 18 Hunde an der Studie teilgenommen. Darunter sieben Bluthunde, acht andere Jagdhunde und drei Gebrauchshunde.

In der Gruppe der anderen Jagdhunde verteilen sich die Rassen wie folgt:

- drei Bayrische Gebirgsschweißhunde
- ein Deutsch Drahthaar
- ein Schwarzwälder Schweißhund
- drei Magyar Vizsla (davon 2 rauhaarig).

In der Gruppe der Gebrauchshunde befinden sich

- ein Belgischer Schäferhund (Malinois)
- zwei Deutsche Schäferhunde.

Es handelt sich insgesamt um neun Hündinnen und neun Rüden.

Dreizehn Hunde sind Diensthunde der Polizei, ein Hund wird in einer Fachgruppe der Feuerwehr mit dem Schwerpunkt auf Personenrettung geführt und vier Hunde gehören privaten Rettungshundeführern. Alle erfüllten im Versuchszeitraum die Voraussetzungen der ursprünglichen Planung.

Aus Anonymisierungszwecken werden die Hunde im Folgenden mit den römischen Ziffern I - XVIII versehen. Eine spezielle Reihenfolge oder Gruppenzuteilung erfolgt nicht.

## 4.2 Die Personen

### 4.2.1 Hundeführer

Zwölf Hundeführer sind Diensthundeführer bei der Polizei, wovon einer zwei Hunde führt. Sie stammen aus verschiedenen Bundesländern und der Schweiz. Ein Hundeführer ist Mitglied der Fachgruppe der Feuerwehr. Vier Hundeführer sind private Rettungshundeführer, die eng mit der Polizei zusammenarbeiten. Drei davon bilden eine gemeinsame Übungsgruppe. Alle Beteiligten sind mehrfach einsatzerfahren und zum Zeitpunkt der Versuchsreihe aktiv tätig.

### 4.2.2 Läufer

Als Läufer waren vier männliche und achtzehn weibliche Personen über 18 Jahre tätig. Keiner von ihnen kommt aus den Gegenden, in denen sie Fährten legten. Sie reisten i. d. R. zusammen mit der Experimentatorin an. Es konnte jedoch nicht eingehalten werden, für jedes Suchteam und jede Fährte ein unbekanntes Target einzusetzen. Dafür war die Anzahl der Läufer im Verhältnis der gesuchten Fährten zu gering.

## 4.3 Die Fährten

### 4.3.1 Fährtenanzahl und Fährtenalter

Insgesamt wurden 145 Fährten von insgesamt 18 Hunden gesucht. Davon waren 63 Tages-, 54 Wochen- und 28 Monatsfährten.

Daraus wird deutlich, dass nicht jeder Hund jedes Fährtenalter gesucht hat und auch nicht jedes Alter sechs Mal gesucht wurde. Die genaue Verteilung kann untenstehenden Tabellen entnommen werden. Tabelle 2 zeigt jeweils die Anzahl der gesuchten Fährten pro Fährtenalter und pro Hund. Tabelle 3 zeigt, wie viele Hunde wie viele Fährten insgesamt gesucht haben. Von diesen Veränderungen abgesehen, bleibt die ursprüngliche Planung der Suche unberührt.

**Tabelle 2: Tatsächlich durchgeführte Suchen pro Hund**

(Tf = Tagesfährte, Wf = Wochenfährte, Mf = Monatsfährte, I-XVIII = anonymisierte Hunde)

Hunde / Fährtenalter	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV	XVI	XVII	XVIII	total
<b>Tf</b>	6	1	1	8	7	1	6	4	1	2	4	0	0	2	6	4	4	6	63
<b>Wf</b>	6	6	6	6	3	6	6	2	0	0	0	2	3	0	6	0	0	2	54
<b>Mf</b>	6	3	3	5	0	3	0	0	4	0	2	0	0	0	0	0	2	0	28
<b>gesamt</b>	18	10	10	19	10	10	12	06	05	02	06	02	03	02	12	04	06	08	145

**Tabelle 3: Verteilung der Anzahl gesuchter Fährten auf die Anzahl der Hunde**

Anzahl Fährten	2	3	4	5	6	8	10	12	18	19
Anzahl Hunde	3	1	1	1	3	1	4	2	1	1

### 4.3.2 Fährtenbeispiele entsprechend der Bewertungssystematik

In den nachfolgenden Abbildungen 1 bis 4 (S. 111 - 114) werden tatsächlich gesuchte Fährtenbeispiele für die unter Material und Methode vorgestellte Bewertungssystematik (S. 103) dargestellt und sind an hiesiger Stelle selbsterklärend. Unter dem Diskussionspunkt 5.2.7 „Bewertungssystematik“ Seite 152-158 werden sie zusammen mit den Vor- und Nachteilen sowie der Entscheidung für diese Bewertungssystematik ausführlich diskutiert. Aus Gründen der Anonymisierung werden nur sehr knappe Ausschnitte des Kartenmaterials abgebildet. Beschriftungen, die einen direkten Rückschluss auf den Ort zulassen, wurden geschwärzt. Es wurden zwar alle Kartenausschnitte mit dem gleichen Maßstab erstellt, jedoch kann dieser bei den hier vorliegenden Abbildungen nicht mehr angelegt werden. Dies ist der besseren Ansicht und Blattgestaltung geschuldet, wofür die einzelnen Ausschnitte verkleinert oder vergrößert wurden. Es kommt aber bei den Darstellungen auch mehr auf den Gesamtverlauf und dessen Abbild an, die in den Abbildungsbeschreibungen mit ungefähren Entfernungsangaben beschrieben werden. Außerdem sollen die Abbildungen in der Hauptsache die Diskussion der Bewertungssystematik ab Seite 152 veranschaulichen. Aus den hier genannten Gründen wird deshalb zugunsten der Blattgestaltung auf eine maßstabstgetreue Abbildung verzichtet.

Die rote Linie stellt jeweils die Spur des Targets dar, während die gelbe Linie jeweils den Laufweg des Hundes während der Suche zeigt. Der Startpunkt ist grün beschriftet.





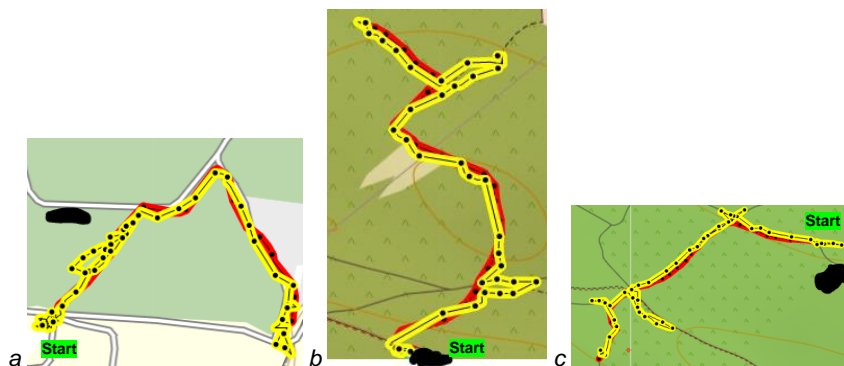
**Abbildung 1: Beispiele für die Bewertungssystematik „Spurlaufen“.**

Bewertung als 100 % Spur.

(a) Keine Abweichungen von der Spur, der Hund hat sich jeweils sofort für die Targetspur entschieden.

(b) An der vorletzten Kreuzung prüft der Hund den „falschen“ Arm und schließt ihn als falsch aus, die dabei zurückgelegte Strecke liegt deutlich unter 50 m. Der Abstand zwischen den beiden Parallelstraßen am Ende (Straße, in der sich der Läufer befindet und Straße, die der Hund prüft) liegt ebenfalls unter 50 m.

● = Läuferspur ● = Laufstrecke Hund



**Abbildung 2: Beispiele für die Bewertungssystematik „Spurlaufen trotz Abweichungen“.**

*Bewertung als 100 % Spur.*

*(a) Abweichung  $\leq 50$  m und Parallellaufen  $\leq 50$  m außerhalb eines Kreuzungsbereiches.*

*(b) Erste Abweichung  $\leq 50$  m, zweite Abweichung ca.  $< 70$  m.*

*(c) Abweichungen an erster Kreuzung nach dem Start jeweils  $\leq 50$  m, an den Folgekreuzungen einmal ca. 100 m (vorletzte Kreuzung) und einmal  $\leq 50$  m (letzte Kreuzung).*

**● = Läuferspur ● = Laufstrecke Hund**

---



**Abbildung 3: Beispiele für die Bewertungssystematik „Hochwitterung“.**

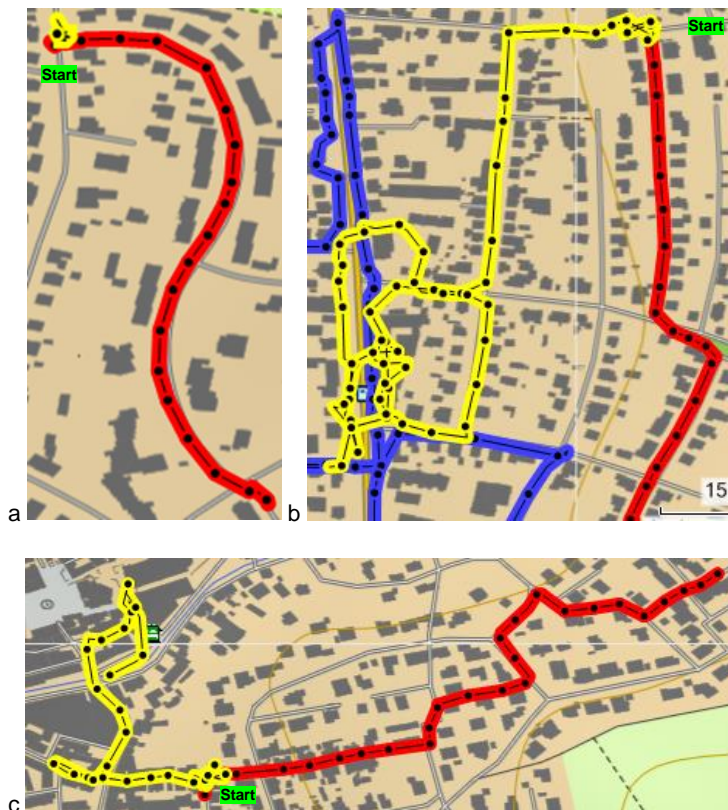
(a) Die Abweichung des Hundes beträgt zwar weniger als 50 m zum eigentlichen Spurverlauf, aber die Distanz des Parallellaufens ist > 50 m.

(b) Der Hund verfolgt den falschen Kreuzungsarm über eine Distanz > 150 m, kommt aber dennoch zum Erfolg.

(c) Dieser Hund weicht 2x > 50 m von der Spur ab, am Start ca. 60 m, an erster Folgekreuzung ebenfalls wieder ca. 60 m an letzter Kreuzung ca. 50 m und läuft für > 50 m parallel, bis er wieder auf die Spur trifft. Der Hundeführer beschreibt außerdem, dass der Hund in der Nähe des Sees Hochwitterung aufgenommen hat.

(d) Bereits am Start gibt es eine Abweichung von ca. 120 m bis zu einer Kreuzung, bis der Hund wieder auf die Spur zurückgeht, etwas später eine weitere Abweichung < 50 m aber Parallellaufen von ca. 50 m.

● = Läuferspur ● = Laufstrecke Hund.



**Abbildung 4: Beispiele für die Bewertungssystematik „Misserfolg“.**

(a) Der Hund läuft nicht los.

(b) Der Hund startet  $> 150$  m in die falsche Richtung, läuft  $> 250$  m im Abstand von  $> 100$  m parallel und entscheidet dann wieder falsch. Abbruch durch die Versuchsleitung (blaue Linie ist die Korrekturspur, der Hundeführer wollte gerne testen, ob der Hund noch ankommt).

(c) Bereits am Start wird  $> 150$  m die falsche Richtung eingeschlagen und schließlich durch die Experimentatorin abgebrochen.

● = Läuferspur   ● = Laufstrecke Hund   ● = Korrekturspur

---

## 4.4 Erfolg und Misserfolg in Abhängigkeit vom Fährtenalter

Die Frage, ob Hunde in der Lage sind, Fährten im Alter von einem Tag, einer Woche und einem Monat zu suchen, muss eindeutig mit „Ja“ beantwortet werden. In allen Fährtenaltern gab es Fährten, bei denen die Hunde am Ziel angekommen sind und das Target angezeigt haben. Von insgesamt 145 gesuchten Fährten wurden 82 (56,55 %) gefunden und 63 (43,45 %) nicht gefunden.

Tabelle 4 auf Seite 116 zeigt die Verteilung der insgesamt 145 gesuchten Fährten auf die verschiedenen Fährtenalter. Auf die erfolgreich absolvierten Spuren entfallen jeweils 33 auf die Tages- und Wochenfährten und 16 auf die Monatsfährten. Der Misserfolg verteilt sich auf 30 Tagesfährten, 21 Wochenfährten und zwölf Monatsfährten. Es wurden allerdings nicht alle Fährtenalter von allen 18 Hunden gesucht. Fast alle Hunde absolvierten Tagesfährten, nur 2 Hunde können keine nachweisen. Insgesamt 12 Hunde haben Wochenfährten gesucht, während bei den 28 Monatsfährten nur 8 Hunde gestartet sind. Dabei ist es nicht so, dass die Suchteams, die Monatsfährten gesucht haben, zwangsläufig auch Tagesfährten und Wochenfährten bewältigen mussten. Es gibt Tiere, die haben z.B. nur Wochenfährten absolviert. Die genaue Verteilung der Hunde auf die einzelnen Fährtenalter ist in Tabelle 2: „Tatsächlich durchgeführte Suchen pro Hund“, S. 109) aufgeschlüsselt und kann dort nachgelesen werden.

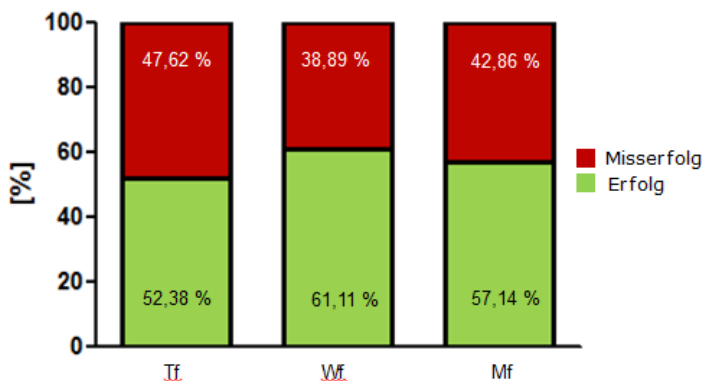
## Kapitel 4

**Tabelle 4: Verteilung der insgesamt 145 Fährten auf Tages- Wochen- und Monatsfährten, aufgeschlüsselt nach Erfolg (+) und Misserfolg (-).**

$n$  (Hunde gesamt) = 18,  $n$  (Hunde Tf) = 16,  $n$  (Hunde Wf) = 12,  $n$  (Hunde Mf) = 8

Erfolg/ Fährtenalter	+	-	Total
Tf	33	30	63
Wf	33	21	54
Mf	16	12	28
Total	82	63	145

Die Berechnung der Abhängigkeit des Erfolgs bzw. Misserfolgs vom Fährtenalter in Abbildung 5 (unten) mit dem Chi Square Test ergab  $p = 0,437$  und somit keinen signifikanten Unterschied. Berechnet wurden alle 145 Fährten. Alle Fährtenalter wurden in etwa gleich häufig gefunden. Die Wochenfährten scheinen mit dem Verhältnis 60 % Erfolg zu 40 % Misserfolg tendenziell etwas besser gefunden zu werden.



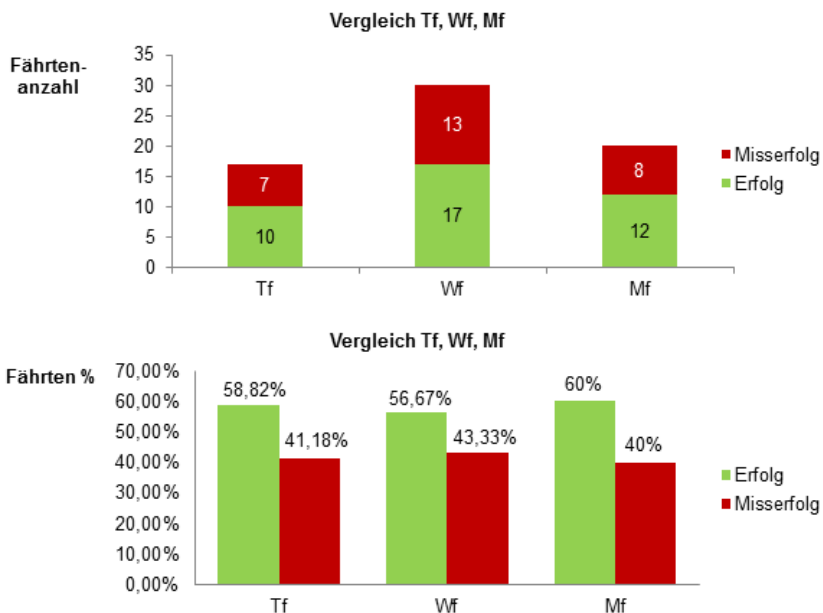
**Abbildung 5: Erfolg und Misserfolg aller Fährten in Abhängigkeit vom Fährtenalter.**

Chi Square Test:  $p = 0,437$ . Kein signifikanter Unterschied.  
(Tf = Tagesfährten, Wf = Wochenfährten, Mf = Monatsfährten)

Wie jedoch in Abbildung 6 (S. 118) zu sehen ist, ergibt ein Vergleich der Fährtenalter – durchgeführt nur mit den Hunden, die auch in allen Fährtenaltern gesucht haben – ein Verhältnis von Erfolg zu Misserfolg von ungefähr 60 % zu 40 %. Das etwas abweichende Ergebnis aus obiger Berechnung mit allen Fährten ergibt sich daher, dass bei insgesamt 145 gesuchten Fährten nicht jeder Hund jedes Fährtenalter absolvierte. Mit zunehmender Fährtenanzahl würde sich das Ergebnis für alle Fährtenalter dem 60:40 Verhältnis anpassen.

Man kann also folgende Aussagen treffen:

- Hunde können Fährtenalter bis zu einem Monat suchen.
- Es gibt keinen signifikanten Unterschied zwischen den verschiedenen Fährtenaltern.
- Das Verhältnis von Erfolg und Misserfolg liegt bei 60:40 bei allen Fährtenaltern
- Die Hypothese, dass Tagesfährten > Wochenfährten > Monatsfährten gefunden werden, hat sich überraschenderweise nicht bestätigt.



**Abbildung 6: Erfolg und Misserfolg ausgewählter Fährten in Abhängigkeit vom Fährtenalter.**

*Es wurden nur die Hunde einbezogen, die in allen Fährtenaltern gesucht haben, wenn auch nicht jeder Hund die gleiche Anzahl Fährten pro Alter nachweisen kann. Das Verhältnis von Erfolg und Misserfolg beträgt dann für alle Fährtenalter ca. 60:40.*

*$n$  (Hunde) = 5,  $n$  (Fährten) = 67*

---



## 4.5 Prozentuale Häufigkeit richtig getroffener Entscheidungen

Die bisherigen Ergebnisse bezogen sich auf das Ankommen der Hunde am Ziel. Der folgende Abschnitt beschäftigt sich mit dem Verlauf auf der Fährte.

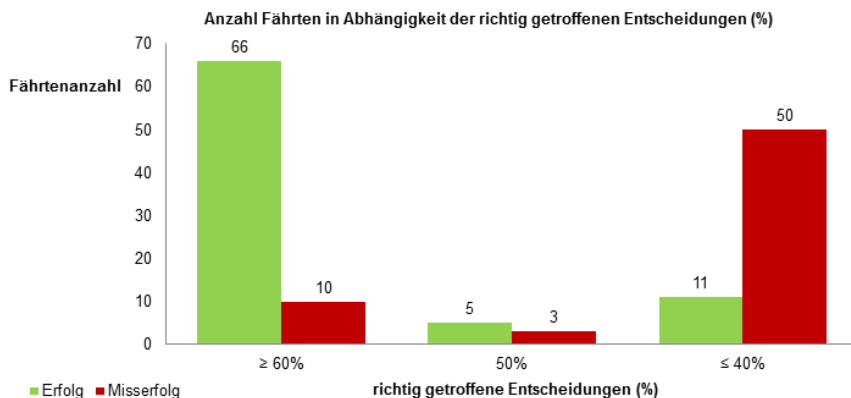
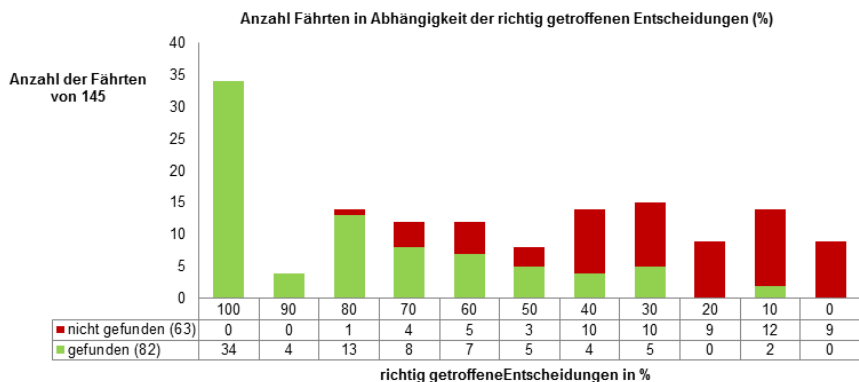
Abbildung 7 und Abbildung 8 auf den Seiten 120 und 121 zeigen die Anzahl der Fährten in Abhängigkeit prozentual richtig getroffener Entscheidungen während des Fährtenverlaufs.

Je mehr richtige Entscheidungen der Hund auf der Fährte trifft, desto eher kommt er zum Erfolg. Das ist nicht überraschend und war zu erwarten.

Es gab aber auch elf Fährten, bei denen die Hunde  $< 50\%$  richtige Entscheidungen trafen und trotzdem ans Ziel kamen, darunter sieben mit  $< 40\%$  Treffern. Umgekehrt wurden bei zehn Fährten  $> 50\%$  richtige Entscheidungen getroffen und die Hunde hatten trotzdem Misserfolg. Darunter fünf Fährten, bei denen sich die Hunde  $> 70\%$  richtig entschieden.

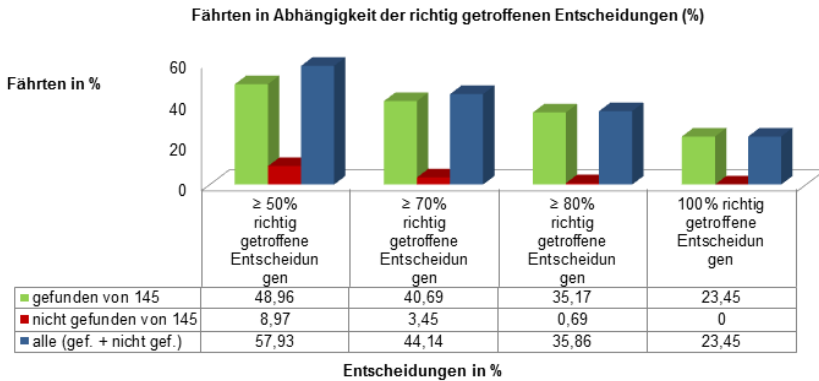
In Prozent ausgedrückt und auf richtige Entscheidungen  $\geq 50\%$  begrenzt, kann man zusammenfassend sagen, dass bei einem Viertel der insgesamt 145 Fährten – entsprechend der hier verwendeten Definition – Entscheidungen zu  $100\%$  richtig getroffen wurden und der Hund entlang der Spur zum Ziel gelaufen ist. Bei ca. einem Drittel der gesamten Fährten wurden richtige Entscheidungen  $\geq 80\%$  getroffen und führten auch, außer bei einer Fährte, zum Erfolg. Richtige Entscheidungen  $\geq 70\%$  konnten bei rund  $45\%$  der 145 Fährten nachgewiesen werden, wovon aber nur rund  $41\%$  zum Erfolg führten. Bei den Hunden, die ans Ziel kamen, weil sie mehr als  $70\%$  richtige Entscheidungen getroffen haben, ist davon auszugehen, dass sie das Fährtenende nicht zufällig erreichten, sondern weil sie gezielt dem Geruch gefolgt sind.

## Kapitel 4



**Abbildung 7: Erfolg und Misserfolg aller Fahrten in Abhängigkeit der richtig getroffenen Entscheidungen (%) während des Fahrtenverlaufs.**

$n$  (Fahrten) = 145,  $n$  (Hunde) = 18.



**Abbildung 8: Erfolg und Misserfolg (%) aller Fährten in Abhängigkeit der richtig getroffenen Entscheidungen (%)**

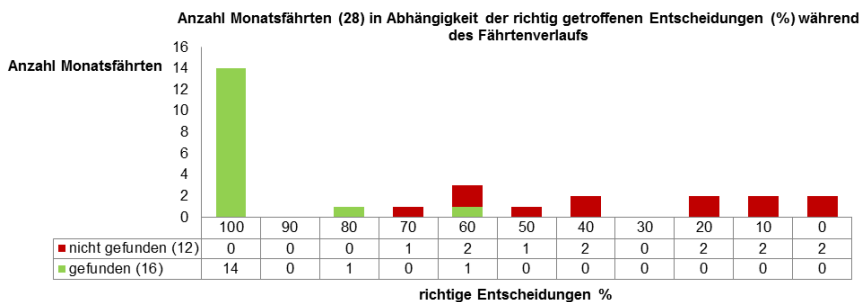
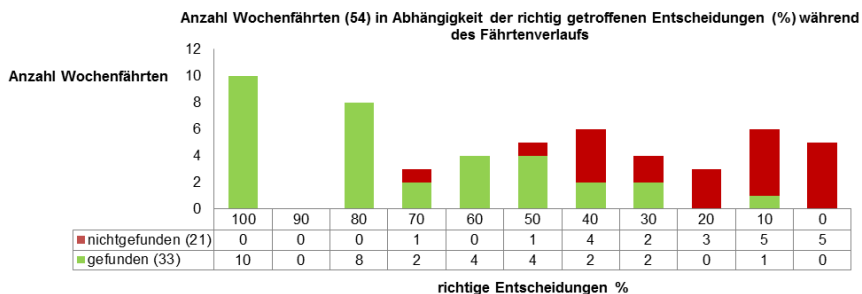
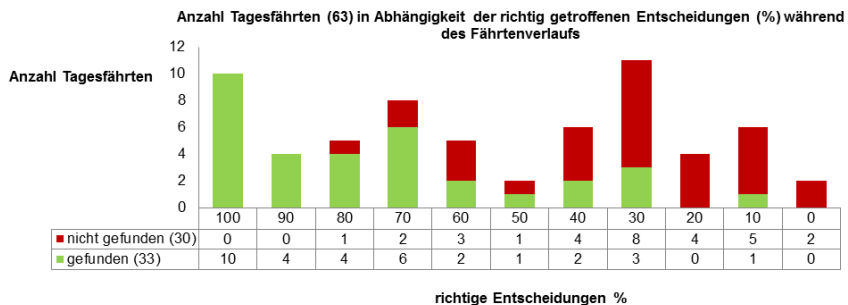
$n$  (Fährten) = 145.

Aufgeschlüsselt nach Fährtenalter und den absoluten Zahlen der Fährten betrachtet, erkennt man in Abbildung 9 auf Seite 122, dass bei den Tages- bzw. Wochenfährten die Hunde bei sechs bzw. fünf Fährten zum Erfolg kommen, obwohl weniger als 50 % richtige Entscheidungen getroffen wurden. Das deutet darauf hin, dass die Tiere über Hochwitterung zum Erfolg kamen.

Bei den Monatsfährten dagegen gibt es keine Erfolgswährte, die weniger als 60 % richtig getroffene Entscheidungen aufweist. Es hat den Anschein, als ob die erfolgreich gesuchten Monatsfährten im Vergleich zu den erfolgreichen Tages- und Wochenfährten mit mehr Exaktheit gesucht wurden.

Bei allen Fährtenaltern fallen aber auch die Fährten auf, die trotz  $\geq 50$  % richtiger Entscheidungen zum Misserfolg führten. Am wenigsten bei den Wochenfährten (zwei) und am meisten bei den Tagesfährten (sieben). Bei den Monatsfährten sind es vier.

# Kapitel 4

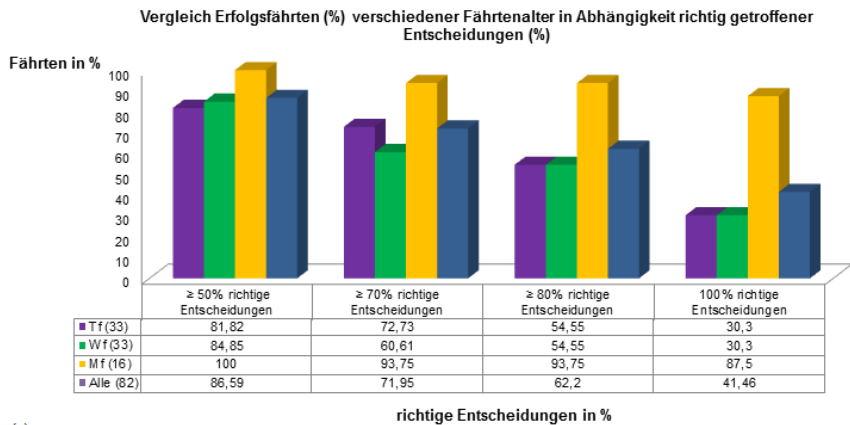


**Abbildung 9: Erfolg und Misserfolg der Fahrten verschiedener Fahrtenalter in Abhängigkeit der richtig getroffenen Entscheidungen (%).**

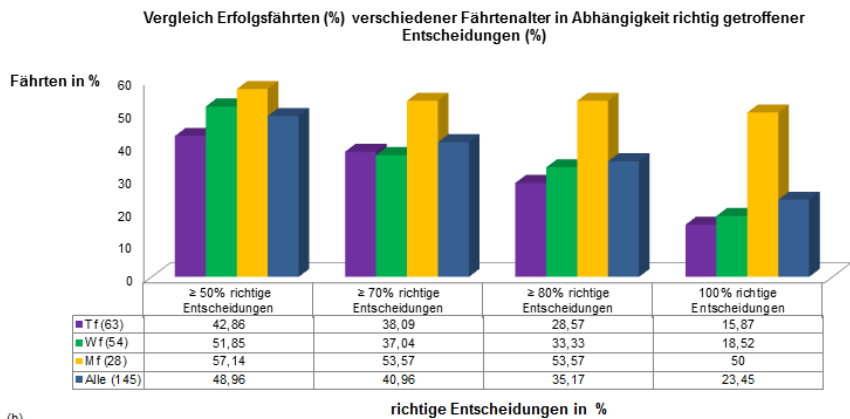
Die Daten, noch einmal auf andere Weise dargestellt, lassen den Unterschied noch deutlicher werden. Abbildung 10 a und b auf Seite 124 präsentieren die Erfolgsfährten der verschiedenen Fährtenalter in Prozent in Abhängigkeit der prozentual richtig getroffenen Entscheidungen. Einmal bezogen auf die Anzahl der Erfolgsfährten der jeweiligen Fährtenalter und auf alle gefundenen Fährten (82) und einmal bezogen auf die Anzahl aller Fährten (gefunden und nicht gefunden) der jeweiligen Fährtenalter und auf alle gesuchten Fährten (145). Wie auch schon in Abbildung 9 (S. 122) erkennt man sehr gut, dass eine erfolgreiche Suche bis zum Ziel abhängig ist von der Anzahl richtig getroffener Entscheidungen, da bei allen Fährtenaltern bei ca. 80 % der Erfolgsfährten mehr als 50 % richtige Entscheidungen getroffen wurden und bei mindestens der Hälfte der Erfolgsfährten  $\geq 80$  % richtig entschieden wurde. D. h.: Unabhängig vom Alter wurden ca. die Hälfte der Erfolgsfährten relativ exakt gesucht. Bei den Monatsfährten sind es sogar ca. 90 % der Fährten (Abbildung 9, S. 122).

Bezieht man die Erfolgsfährten in Prozent in Abhängigkeit der prozentual getroffenen Entscheidungen auf die Gesamtzahl der gesuchten Fährten (Abbildung 10 b, S. 124) sind es bei den Tages- und Wochenfährten jeweils ca. ein Drittel aller Fährten und bei den Monatsfährten mehr als die Hälfte.

Da man davon ausgehen kann, dass je mehr richtige Entscheidungen im Fährtenverlauf getroffen werden, die Hunde exakter an der Spur suchen, kann man aus den Ergebnissen schließen, dass die Monatsfährten – vorausgesetzt, sie werden gefunden – weniger über Hochwitterung, sondern mehr über exaktes Suchen an der Spur gefunden werden.



(a)



(b)

**Abbildung 10: Vergleich gefundener Fahrten (%) verschiedener Fährtenalter in Abhängigkeit richtig getroffener Entscheidungen (%)**

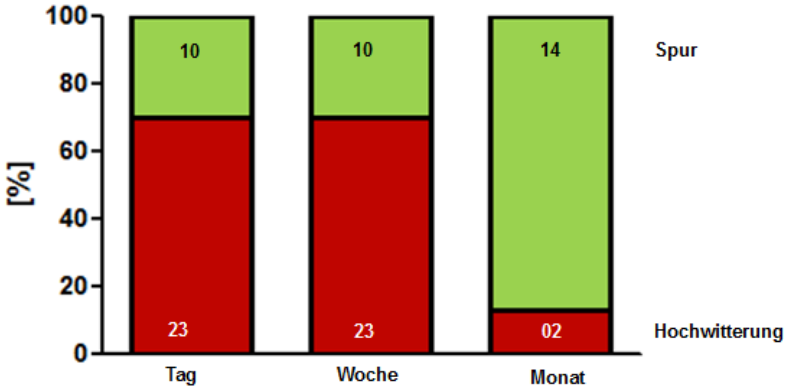
(a) in Bezug auf die jeweilige Gesamtanzahl der Erfolgsfahrten und

(b) in Bezug auf die jeweilige Gesamtzahl der Fahrten(gefunden + nicht gefunden).

## 4.6 Erfolgsfährten in Abhängigkeit von Spurlaufen und Hochwitterung

Die Erfolgsfährten wurden anhand der richtig getroffenen Entscheidungen, der vorgegebenen Bewertungsskalierung sowie den GPS-Aufzeichnungen auf das Verhältnis Spurlaufen zu Hochwitterung überprüft. Wie in Abbildung 11 auf Seite 126 dargestellt, ergab die Berechnung mit dem Chi Square Test zugunsten dem Spurlaufen für den Vergleich Monatsfährten gegen Tages- bzw. Wochenfährten einen höchstsignifikanten Unterschied von  $p = 0,0002$ . Tages- gegen Wochenfährten dagegen weisen keinen signifikanten Unterschied auf, sie sind sogar identisch.

Von jeweils 33 erfolgreichen Fährten wurden 10 über das Arbeiten an der Spur gefunden und 23 durch Hochwitterung gelöst. Von 16 erfolgreich gesuchten Monatsfährten dagegen fanden die Hunde 14 über das exakte Arbeiten an der Spur, während nur bei zwei Fährten Hochwitterung eine Rolle spielte.



---

**Abbildung 11: Erfolgsfährten in Abhängigkeit von Spurlaufen und Hochwitterung.**

Chi Square Test:  $p = 0,0002$ .

Höchstsignifikanter Unterschied im Vergleich Monatsfährten gegen Tages- bzw. Wochenfährten, zwischen denen wiederum kein Unterschied besteht.

---

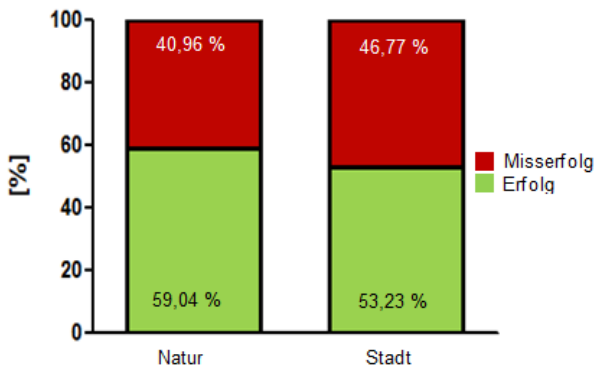
## 4.7 Erfolg und Misserfolg in Abhängigkeit von der Umgebung

Wie nach dem Ergebnis unter Punkt 4.4 „Erfolg und Misserfolg in Abhängigkeit vom Fährtenalter“, auf Seite 115 zu erwarten, ist auch in Abhängigkeit vom Untergrund kein signifikanter Unterschied zwischen Erfolg und Misserfolg festzustellen. Die Berechnung mit dem Fisher Exact Test ergab  $p = 0,503$  (siehe Abbildung 12, S. 127 und Tabelle 5, S. 128), wenngleich mit einem Verhältnis von ca. 60:40 (Erfolg/Misserfolg) Naturfährten gegenüber den Stadtfährten tendenziell besser abzuschneiden scheinen.

Während alle 18 an der Studie teilnehmenden Hunde auf natürlichem Untergrund suchten, trifft das auf die städtische Umgebung nicht zu. Drei Hunde haben nur auf



natürlichem Untergrund gesucht. Darüber hinaus wurden sowohl im städtischen als auch natürlichen Bereich nicht alle Fährtenalter von jedem Hund absolviert. Es gibt zwei Hunde, die alle Fährtenalter sowohl auf natürlichem als auch städtischem Untergrund nachweisen können, während andere nur Tagesfährten oder nur Wochenfährten absolvierten und diese auch nicht zwangsläufig auf beiden Untergründen. Daraus ergibt sich, dass die einzelnen Fährtenalter in Bezug auf Natur- und Stadtumfeld von unterschiedlichen Hunden gesucht wurden.



**Abbildung 12: Erfolg und Misserfolg aller gesuchten Fährten in Abhängigkeit vom Untergrund.**

*Fisher Exact Test:  $p = 0,503$ .*

*Kein signifikanter Unterschied.*

Natur:  $n$  (Hunde) = 18,  $n$  (Fährten) = 83

Stadt:  $n$  (Hunde) = 15,  $n$  (Fährten) = 62

**Tabelle 5: Absolute Zahlen der gefundenen und nicht gefundenen Fährten in Natur und Stadt.**

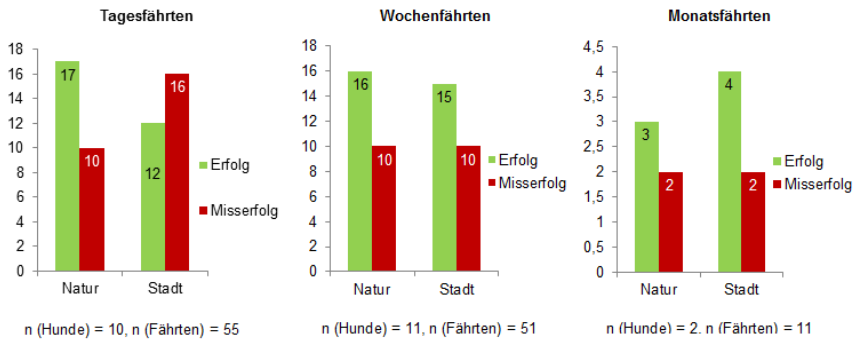
Natur:  $n(\text{Hunde}) = 18$ ,  $n(\text{Fährten}) = 83$ ; Stadt:  $n(\text{Hunde}) = 15$ ,  $n(\text{Fährten}) = 62$

Erfolg/ Umgebung	+	-	Total
Natur	49	34	83
Stadt	33	29	62
Total	82	63	145

Abbildung 13 (S. 129) und Abbildung 14 (S. 130) zeigen eine Aufschlüsselung der Daten nach Fährtenalter und nur mit den Hunden, die in dem jeweiligen Alter sowohl Natur als auch Stadtfährten gesucht haben. Bei den Tagesfährten auf natürlichem Untergrund entsteht ein Verhältnis von Erfolg zu Misserfolg von ca. 60:40, während es sich auf städtischem Boden umkehrt. Die Wochenfährten weisen in beiden Umgebungen ein Verhältnis von 60:40 zugunsten der gefundenen Spuren auf. Bei den Monatsfährten zeigte sich ein Verhältnis von 60:40 bei den Naturfährten und von ca. 70:30 bei den Stadtfährten.

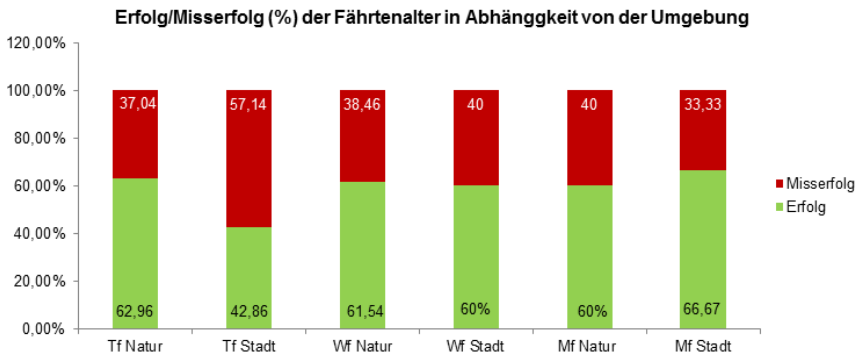
Die statistische Berechnung mit dem Fisher Exact Test ergibt für die Aufschlüsselung des Vergleichs der Tagesfährten einen p-Wert von 0,18 und für die Monatsfährten von 1,0. Somit gibt es – wie im Gesamtbild mit allen Fährten – keinen signifikanten Unterschied.

Die Hypothese, nach der ein natürlicher Untergrund besser gesucht wird als ein städtischer, kann deshalb so nicht bestätigt werden



**Abbildung 13: Erfolg/Misserfolg in Abhängigkeit von der Umgebung, aufgeschlüsselt nach Fährtenalter.**

*Es wurden jeweils nur die Hunde einbezogen, die in dem jeweiligen Fährtenalter sowohl Natur- als auch Stadtfährten gesucht haben. Zwischen den verschiedenen Fährtenaltern sind zum Teil unterschiedliche Hunde beteiligt.*

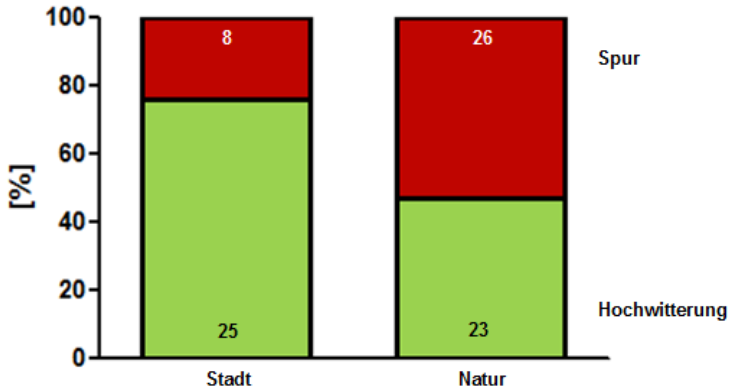


**Abbildung 14: Erfolg/Misserfolg (%) in Abhängigkeit von der Umgebung, aufgeschlüsselt nach Fährtenalter.**

*Es wurden jeweils nur die Hunde einbezogen, die in dem jeweiligen Fährtenalter sowohl Natur- als auch Stadtfährten gesucht haben. Zwischen den verschiedenen Fährtenaltern sind zum Teil unterschiedliche Hunde beteiligt.*

Tf:  $n$  (Hunde) = 10,  $n$  (Fährten) = 55  
Wf:  $n$  (Hunde) = 11,  $n$  (Fährten) = 51  
Mf:  $n$  (Hunde) = 02,  $n$  (Fährten) = 11

Interessant ist jedoch die Betrachtung der erfolgreichen Natur- und Stadtfährten in Abhängigkeit des Suchverhaltens. Abbildung 15 und Tabelle 6 (S. 131) zeigen, dass auf städtischem Untergrund mehr über Hochwitterung als über Spur gefunden wird, während sich innerhalb der erfolgreichen Naturfährten Hochwitterung und Spur in etwa gleich verteilen und keinen Unterschied ergeben. Im Vergleich Natur/Stadt ist in der Stadt der Anteil gefundener Fährten über Hochwitterung signifikant höher als in der Natur, was umgekehrt bedeutet, dass in der Natur mehr über Spur gefunden wird als in der Stadt ( $p = 0,012$ ).



**Abbildung 15: Vergleich erfolgreicher Natur- und Stadtfahrten in Abhängigkeit von Hochwitterung und Spur.**

Fischer Exact Test:  $p = 0,012$ .

In der Stadt wird häufiger über Hochwitterung gefunden als über Spur. In der Natur wird gleich häufig über Spur bzw. Hochwitterung gefunden. Im Vergleich Stadt/Natur wird in der Stadt signifikant häufiger über Hochwitterung gefunden.

**Tabelle 6: Vergleich erfolgreicher Natur- und Stadtfahrten in Abhängigkeit von Hochwitterung und Spur in absoluten Zahlen.**

	Hochwitterung	Spur	Total
Natur	23	26	49
Stadt	25	8	33
Total	48	34	82



---

## 5 Diskussion

*„Alles Wissen und alles Vermehren von Wissen endet nicht mit einem Schlusspunkt, sondern mit einem Fragezeichen.“*

(HESSE, o.J.)

### 5.1 Ursprüngliche Planung und tatsächlicher Verlauf

Dreißig Hunde, aufgeteilt in 3 Gruppen á 10 Hunde unterschiedlicher Rasse, sollten je drei unterschiedliche Fährtenalter (ein Tag, eine Woche, einen Monat alt) auf zwei unterschiedlichen Untergründen (Natur und Stadt) suchen. Ziel war es zu überprüfen, inwieweit speziell dafür ausgebildete Hunde in der Lage sind, unter natürlichen Bedingungen bis zu einem Monat alte Spuren zu verfolgen und ob es Leistungsunterschiede zwischen den verschiedenen Fährtenaltern gibt. Darüber hinaus wäre der Vergleich unter den Rassen interessant gewesen, um den Mythos, Bluthunde seien für diese Art Hundearbeit am meisten geeignet, zu überprüfen.

Zwölf Hunde kamen jedoch gar nicht mehr zum Sucheinsatz, weil nach der Auswertung der Zwischenergebnisse (jetziger Endstand) beschlossen wurde, keine weiteren

Fährten suchen zu lassen. Es war davon auszugehen, dass die Durchführung des ursprünglichen Plans zu keinen weiteren oder grundlegend anderen Erkenntnissen führen würden.

Als Grund werden Designfehler gesehen, z. B. die Person am Ende der Fährte, die durch ihre Anwesenheit vor Ort für frische Witterung sorgt und zu Hochwitterung verleitet. Eine gründliche Auseinandersetzung damit wird unter den Diskussionspunkten 5.2.3 („Läufer“, S. 137), 5.3.1 („Erfolg und Misserfolg in Abhängigkeit vom Fährtenalter“, S. 158), 5.3.2 („Prozentuale Häufigkeit richtig getroffener Entscheidungen“, S. 166) und 5.3.3 („Erfolgsfährten in Abhängigkeit von Spurlaufen und Hochwitterung“, S. 170) stattfinden.

Die ursprüngliche Planung mit 30 Hunden wurde deshalb verworfen und damit auch der Vergleich der verschiedenen Rassen.

Auf die Vervollständigung der noch fehlenden Fährten der bereits teilnehmenden 18 Hunde wurde ebenfalls verzichtet. Der Grund hierfür lag in dem immens hohen logistischen Aufwand auf der einen und der Annahme, keine grundlegend anderen oder weiteren Erkenntnisse zu gewinnen, auf der anderen Seite.

So wurden innerhalb dieser Studie insgesamt 145 Fährten durchgeführt, die sich auf 18 Hunde verteilen. Ein Hund hat alle ursprünglich vorgesehenen Fährten absolviert. Ein weiterer, mit Ausnahme einer Monatsfährte, ebenfalls. Einige Hunde haben zwar jedes Fährtenalter, aber nicht zwangsläufig alle dafür vorgesehenen Spuren gesucht. Und wieder andere haben nur ein oder zwei Fährtenalter, manche sogar nur zwei Spuren insgesamt gesucht. Dafür war es noch möglich, mit zwei Hunden zwei bzw. drei zusätzliche Tagesfährten und mit einem Hund eine zusätzliche Monatsfährte zu suchen.

Obwohl nicht jeder Hund alle vorgesehenen Spuren gesucht hat, ist es, aufgrund der Menge der bereits gesuchten Fährten sowie auch der ergänzenden Fragestellung nach den prozentual richtig getroffenen Entscheidungen möglich, Vergleiche zwischen den verschiedenen Fährtenaltern vorzunehmen. Es lassen sich Rückschlüsse über die Leistungsfähigkeit der Hunde in Bezug auf die verschiedenen alten Spuren



ziehen, die es sich in weiteren Studien – ohne den hier vorliegenden Designfehler – zu überprüfen lohnt.

## 5.2 Material und Methode

### 5.2.1 Hunde

Für diese Studie wurden nur Tiere mit einer entsprechenden Ausbildung als Personenspürhund, überprüfter Qualifizierung (Prüfung) und entsprechender Einsatzerfahrung ausgewählt, da in vorherigen Untersuchungen schon deutlich wurde, dass die Erfahrung des Hundes für den Erfolg der Suche eine Rolle spielen kann (HARVEY & HARVEY, 2003; STOCKHAM et al., 2004 b).<sup>98</sup>

Bei der Verwendung von Hunden in Studien hängt die Zuverlässigkeit und der Erfolg stark davon ab, wie sie ausgewählt und wie sie trainiert wurden (SCHOON et al., 2009). Trainings- sowie Ausbildungsmethoden und -philosophien sind auf dem Gebiet der Personenspürhunde sehr unterschiedlich. Eine ausreichende Menge Hunde mit gleichen oder zumindest sehr ähnlichem Ausbildungs- und Trainingshintergrund zu finden, gestaltet sich nicht nur schwierig, sondern ist nahezu unmöglich. Die Alternative, Hunde eigens für diese Studie auszubilden, wäre nicht umzusetzen gewesen. Personenspürhunde auszubilden ist sehr zeit- und arbeitsaufwendig.

Durch die Verwendung von Suchhunden mit einer vorhandenen und überprüften Grundqualifikation sowie einem in Einsätzen bereits nachgewiesenen Leistungsstandard wurde versucht, den in der Regel sehr unterschiedlichen Ausbildungs- und Leistungsstandards entgegenzuwirken.

Nichtsdestotrotz wäre ein noch einheitlicheres Bild in punkto Training, Ausbildung und Leistungsfähigkeit der Hunde wünschenswert gewesen. Gerade in Bezug auf die

---

<sup>98</sup> Siehe auch unter 2.4.2.3 „Diskriminierungsfähigkeit beim Verfolgen einer Spur“, Punkt 2 „Untersuchungen in Bezug auf die Alterung der Spur“, ab S. 80 sowie unter 2.4.3 „Die Riechleistung beeinflussende Faktoren“, S. 86.

Suchschnelligkeit sowie das Suchen durch Spurlaufen oder über Hochwitterung waren die Leistungen der Tiere sehr unterschiedlich, was die Ergebnisse dieser Studie durchaus beeinflusst haben könnte.

### 5.2.2 Hundeführer

Es wird von verschiedenen Autoren berichtet, dass die Wirksamkeit einer Diskriminierung nicht nur von den Umweltbedingungen, der Ausbildung, dem Aufrechterhalten des Trainings und dem Temperament des Hundes abhängt, sondern auch von der Fähigkeit des Hundeführers (LEITCH et al., 2013). Siehe dazu auch: TOPAL et al. (1997), LIT et al. (2011) sowie HARVEY & HARVEY (2003).

Wie bei den Hunden, kann auch die Erfahrung des Hundeführers entscheidend für den Erfolg beim Absolvieren einer Fährte sein (HARVEY & HARVEY, 2003).

STOCKHAM et al. (2004 b) konnten eine Korrelation zwischen der Erfahrung des Hundeführers und der Erfolgsquote nachweisen. Je erfahrener die Hundeführer, desto erfolgreicher waren die Suchen.

Um die Qualifikation der Hundeführer zu gewährleisten, wurden für die vorliegende Arbeit Hundeführer mit viel Einsatzerfahrung ausgewählt. Auf diese Weise konnte noch am ehesten von einem ähnlichen Erfahrungs- und Wissensstand ausgegangen werden.

Durch die Auswahl professioneller Hundeführer sollte auch die Beeinflussung der Hundeleistung durch die Hundeführer minimiert werden. Nach TOPAL et al. (1997) werden die Leistungen von Arbeitshunden bei Problemlösungsaufgaben weniger durch die Mensch-Hund-Beziehung beeinträchtigt als bei Begleithunden. Im Rahmen der Sucharbeit stehen die Hunde ständig vor der Aufgabe, Probleme lösen und Entscheidungen treffen zu müssen.

Allerdings ist es angesichts der kognitiven Fähigkeiten des Hundes möglich, dass selbst gut ausgebildete Hunde auf subtile, unbeabsichtigte Signale des Hundeführers reagieren (LIT et al., 2011)<sup>99</sup> und auch einsatzerfahrene Hundeführer oder auch Diensthundeführer sind vor einer emotionalen Betrachtung nicht gefeit. Natürlich wünscht sich jeder Hundeführer, dass sein Hund findet und ein gutes Bild abgibt. Das ist nur menschlich und nachvollziehbar. Dies traf auch auf die teilnehmenden Hundeführer zu und war daran zu erkennen, dass alle vor ihrer Zusage einer Teilnahme genau darüber informiert sein wollten, was im Rahmen der Studie auf sie zukommt. Hier einen Weg zwischen ausreichender „Verblindung“ einerseits und der Lieferung ausreichender Information andererseits zu finden, um überhaupt genügend teilnehmende Suchteams zu erhalten, war bisweilen nicht ganz einfach. Je mehr Informationen die Hundeführer mitgeteilt bekommen, desto größer ist das Risiko einer unbewussten Beeinflussung des Hundes. Deshalb wurde versucht, nach dem Grundsatz „So viel Information wie nötig und so wenig wie möglich“ zu handeln.

Im Rahmen dieser Studie kann von zwei Fällen berichtet werden, in denen die Leistungsfähigkeit des Hundes durch den Hundeführer beeinflusst wurde. In einem Fall führte die Beeinflussung zum Misserfolg, im anderen Fall führte sie zumindest zu einer kurzfristigen Verwirrung des Hundes. Eine nähere Betrachtung des Phänomens der unbewussten Beeinflussung sowie eine Beschreibung der beiden Beispiele findet unter Diskussionspunkt 5.3.2 ab Seite 166 statt.

### 5.2.3 Läufer

Obwohl mehr Fährtenleger als Hundeteams an der Studie teilnahmen, war es dennoch nicht möglich, den Suchteams bei jeder Suche einen unbekanntem Läufer zuzuordnen. Da jedes Mensch-Hund-Team mehrere Fährten absolvierte, kam es zwangsläufig zu Überschneidungen, sodass die Helfer nach einigen absolvierten Fährten den Hundeführern und den Hunden bekannt waren. Das Ziel dieser Arbeit ist

---

<sup>99</sup> Siehe zu der Möglichkeit der Beeinflussung durch den Hundeführer auch die Ausführungen im Abschnitt 2.4.3 „Die Riechleistung beeinflussende Faktoren“, hier insbesondere S. 87-89.

jedoch festzustellen, ob Hunde in der Lage sind, verschiedene Fährtenalter zu suchen. Das Wiedererkennen des Geruchs einer bestimmten Person, und damit das Wissen des Hundes um die Person, die zu suchen ist, konnte deshalb vernachlässigt werden.

Schichtenbekleidung reduziert zwar die Signalstärke der Geruchsspuren, aber der Körperluftstrom ist auch außerhalb der Kleidung visualisierbar und der Geruch ist immer noch mess- bzw. riechbar (SETTLES, 2007; CURRAN et al., 2010 b). Das heißt, Kleidung stört den Prozess (Abgabe und Verteilung des Körpergeruchs in die Umwelt) nicht (SETTLES, 2007), da die meiste Bekleidung für den (Haut-) Partikelstrom durchlässig ist (SETTLES, 2005). Die unterschiedliche Bekleidung der Helfer, von leicht sommerlich bis regen- bzw. winterfest, spielt somit für die Beurteilung der Fähigkeit von Hunden, Fährten verschiedenen Alters zu suchen, keine oder nur eine zu vernachlässigende Rolle.

Aus denselben Gründen war es aber auch wichtig, dafür zu sorgen, dass außer auf der gelegten Fährte selbst, möglichst keine weiteren Geruchsspuren des Targets zu finden sind. Dem Transport zum bzw. vom Start-/Zielpunkt in einem geschlossenen Fahrzeug mit ausgeschalteter Lüftung kommt deshalb hohe Bedeutung zu. Die Wahrscheinlichkeit, dass Geruchsspuren trotzdem aus dem Auto entweichen, ist vermutlich sehr gering, es kann aber nicht ausgeschlossen werden. Wissenschaftliche Erkenntnisse zu diesem Thema sind nicht bekannt, sodass die gelegte Spur vorsichtshalber großräumig umfahren und ein Kreuzen vermieden wurde.

Trotz aller Bemühungen, keinen frischeren Geruch als den der gelegten Fährte in der Gegend zu haben, wurde ein wichtiger Punkt bei der Planung dieser Studie übersehen: Der über den Körperluftstrom abgegebene Geruch breitet sich in Form einer Wolke aus und ist dann den natürlichen Bedingungen wie Wind und Luftströmungen ausgesetzt. Je länger sich die Person an einer Stelle befindet, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit, dass Geruchsstoffe in die Umgebung getragen werden. Dabei entwickelt sich im Idealfall ein Geruchskegel, der sich vom Ursprungspunkt des Geruchs nach außen ausbreitet (PRADA et al., 2015). Hunde sind in der Lage, Gerüche

auch aus großen Entfernungen wahrzunehmen. CABLK et al. (2008) konnten nachweisen, dass Hunde auf eine Entfernung bis zu 62,8 m den Geruch von Landschildkröten wahrnehmen und ihn bis zur Quelle verfolgen können. Die Autorin weiß aus eigenen Erfahrungen durch die Arbeit mit Flächensuchhunden, dass diese, je nach Geländebedingungen, menschlichen Geruch aus noch sehr viel größeren Distanzen (geschätzt bis 200 m-300 m) wahrnehmen und bis zu seiner Quelle verfolgen können.

Es ist deshalb nicht auszuschließen, dass die Hunde der vorliegenden Studie sich über Hochwitterung am frischen Geruch der am Ziel wartenden Person orientiert haben. Der Aufenthalt des Targets am Ende der Spur, kann deshalb im Hinblick auf die Untersuchung des Einflusses des Fährtenalters als Designfehler gewertet werden.

Als Alternativen zu der Person wären folgende Optionen möglich gewesen:

1. Der Helfer wartet in einem Fahrzeug, sodass kein frischer Geruch nach außen dringen kann. Die Nachteile liegen auf der Hand. Zum einen erhöht sich der logistische Aufwand (das Target braucht ein zusätzliches Auto und muss im Besitz einer Fahrerlaubnis sein), zum anderen wird sowohl dem Hundeführer als auch dem Hund durch das Fahrzeug schon auf größere Entfernung ein visueller Hinweis gegeben.
2. Ein vom Target am Tag des Fährtenlegens angefasster oder getragener und anschließend konservierter Gegenstand könnte von einer anderen Person (z.B. der Experimentatorin) am Tag der Suche am Ende der Spur ausgebracht werden. Der Vorteil wäre, dass es für den Hundeführer ein sichtbares Ende gibt, an dem er den Hund belohnen kann, der Gegenstand aber so klein ist, dass er nicht schon auf größere Entfernung sichtbar ist. Außerdem könnte der Hund selbst einen Fund verbuchen, quasi als Ersatz für die zu suchende Person. Gerade für Hunde, die immer mit einer Person am Ende ausgebildet wurden, ist das ein elementarer Belohnungsbestandteil. Nachteile könnten jedoch sein, dass es zu Verunreinigungen des Gegenstandes durch die auslegende Person kommt, und dass Gegenstände – ebenso wie Personen – Duft verströmen, der vom Hund auf größere Entfernung wahrgenommen werden kann, wenn vielleicht auch nicht so intensiv. Außerdem kann das Entwenden

oder örtliche „Verschieben“ des ausgelegten Gegenstandes durch Passanten nicht ausgeschlossen bzw. verhindert werden.

3. Das Ende der Fährte wird vom Läufer selbst auf dem Boden mit einem Farbspray markiert. Der Vorteil hierbei ist, dass es kein Risiko von Verunreinigung durch eine weitere Person gibt, es aber trotzdem für den Hundeführer ein sichtbares Ende darstellt. Einer der Vorteile ist hier aber auch zugleich ein Nachteil. Es gibt zwar keine vorzeitigen olfaktorischen Hinweise (frischer Geruchskegel) für das Ende der Spur, sehr wohl aber den visuellen, der je nach Geländebedingungen vom Hundeführer und ggf. auch vom Hund auf größere Entfernung wahrgenommen werden könnte.

4. Es gibt gar nichts am Ende und der Hundeführer wird per Mobiltelefon darüber informiert, wann er seinen Hund belohnen darf. Der Vorteil bei dieser Variante ist, dass es weder einen visuellen noch einen olfaktorischen Hinweis am Ende der Fährte gibt, die den Hundeführer oder den Hund vorzeitig aus größerer Entfernung das Ende der Spur wahrnehmen lassen könnten.

5. Es gibt gar keine Hinweise für die Suchteams. Die Spur hört einfach auf und der Hundeführer erkennt am Verhalten des Hundes, dass die Spur endet. Das wiederum gibt er per Mobiltelefon an die Experimentatoren weiter. Diese Variante kommt einer Einsatzsituation am nächsten.

Ein Vorteil aller oben genannten Alternativen (mit Ausnahme der ersten) ist, dass sich der logistische Aufwand erheblich reduziert, da die Fährtenleger am Tag der Suche nicht mehr anwesend sein müssten.

Die Varianten, die am sichersten die reine Untersuchung des Fährtenalters erlauben, sind Variante vier und fünf. Für die Suchteams wären Varianten eins und zwei angenehmer, da sie direkt vor Ort, auch für sich persönlich einen Erfolg verbuchen könnten. Das Rekrutieren von Suchteams wird dadurch erleichtert, da das Belohnen des Hundes für viele Hundeführer (und Hunde) enorm wichtig ist. Im Rahmen der Studie war das daran zu erkennen, dass die Mehrzahl im Falle eines Abbruchs die Fortsetzung der Suche bis zum Ende wünschten, damit der Hund belohnt werden konnte.

Variante drei stellt einen gut vertretbaren Kompromiss dar und wird deshalb als ähnlich sinnvoll erachtet wie die Varianten vier und fünf.

## 5.2.4 Sammlung, Lagerung und Präsentation der Geruchsproben

Bei der Verwendung von Hunden zur Differenzierung menschlichen Geruchs spielt die Geruchsprobenentnahme eine Schlüsselrolle bei der Aufrechterhaltung der Zuverlässigkeit (PRADA et al., 2011), weshalb im Rahmen dieser Untersuchung sehr auf die Auswahl des Materials des Geruchsträgers sowie die Entnahme und Lagerung der Geruchsprobe geachtet wurde.

Für die Kontaktprobenahme eignen sich besonders Baumwollmaterialien sehr gut. Es wurde nachgewiesen, dass sie die größte Anzahl flüchtiger Bestandteile (VOCs) sowie die größte Masse an Geruchsstoffen aufnehmen und die beste Reproduzierbarkeit für die Diskriminierung menschlichen Geruchs zeigen (PRADA et al., 2011). Auch das Webmuster der Gaze hat Einfluss auf die Konservierungs- und Freigabeigenschaften (DEGREEFF & FURTON, 2011), so hat sich gezeigt, dass sich insbesondere einschichtige Baumwollmaterialien für das Übertragen und Aufbewahren von VOCs eignen (DEGREEFF et al., 2011).

Hunde sind in der Lage, Geruch aus unterschiedlichen Körperregionen wahrzunehmen (SCHOON & DEBRUIN, 1994), um jedoch für jeden Hund gleiche Bedingungen für eine Geruchsprobe zu schaffen, wurde immer von mehreren Körperstellen Geruch entnommen. Handgeruch wird von Hunden auch nach längerer Lagerungszeit unterschieden und richtig zugeordnet (SCHOON, 2005), da er auch nach längerer Lagerungszeit ein konsistentes Geruchsprofil zeigt und sich deshalb besonders gut für eine langfristige Lagerung und anschließender Verwendung zur Geruchsdifferenzierung eignet (KUSANO et al., 2013). Bei Geruchsentnahmen im Rahmen dieser Untersuchung ist der Handgeruch des Targets zwangsläufig in der Geruchsprobe

enthalten, da sich die Helfer selber mit der Gaze über die verschiedenen Körperstellen wischten.

Bezüglich des Aufbewahrungsbehältnisses konnte nachgewiesen werden, dass Glasbehälter mit Schraubverschluss das optimale Behältnis für die Lagerung von Geruchsträgern aus Baumwollmaterialien sind und unter leichtem UV-Licht-Einfluss die ideale, stabile Umgebung für die Lagerung menschlichen Geruchs darstellen (HUDSON et al., 2009). Um sie jedoch vor starker UV-Einstrahlung schützen zu können, wurden die Behälter im Rahmen dieser Studie zusätzlich in einem unverschlossenen Karton aufbewahrt.

Aufgebracht auf eine sterile Gaze und bei entsprechender Lagerung, lässt sich menschlicher Geruch nach drei Monaten noch nachweisen (CURRAN et al., 2005 b), sodass durch die Wahl des Materials und der Lagerungsmethode davon auszugehen ist, dass die Hunde für alle hier vorkommenden Fährtenalter noch genügend Geruch von den Geruchsproben wahrnehmen können, um die Fährte aufzuspüren und zu verfolgen.

Um Kontaminationen mit anderen Gerüchen zu vermeiden, wurden die Glasbehälter vor Gebrauch bei 70 °C in der Spülmaschine gereinigt und anschließend mit puderfreien Latexhandschuhen angefasst, bis das Target seine Geruchsprobe in dem verschlossenen Behältnis verstaut hatte. Eine komplette Kontaminationsfreiheit kann es jedoch nicht geben. Die Gläschen und selbst die sterile Gaze weisen noch menschlichen Geruch in Form von VOCs auf (DEGREEFF et al., 2011), da sie von Menschen hergestellt, verpackt, transportiert, gelagert, verkauft werden. Mit mehreren menschlichen Gerüchen verunreinigte Geruchsproben sind also trotz aller Vorsichtsmaßnahmen nicht vermeidbar (STOCKHAM et al., 2004 a). Die von SCHOON & HAAK (2002) genannten und weiter vorne besprochenen Untersuchungen (LÖHNER, 1924; WILCOX & JOHNSTON, 1995; JOHNSTON et al., 1997; ROGOWSKI, 2000) weisen jedoch nach, dass trotzdem eine zuverlässige Duftdiskriminierung durch ausgebilde-



te Hunde stattfindet, die sich vermutlich am frischesten Geruch der Geruchsprobe orientieren<sup>100</sup>.

Für die Präsentation des Geruchs wurde das Glas nur vom Hundeführer geöffnet und die Geruchsprobe entnommen, so dass davon auszugehen ist, dass die hier getroffenen Maßnahmen im Rahmen der Geruchssammlung und Lagerung ausreichend sind.

## 5.2.5 Die Fährten

Es gibt eine Menge substantieller Hinweise, die zeigen, dass Hunde Menschen anhand ihres individuellen Geruchs erkennen können (KALMUS, 1955; KING et al., 1964; HEPPER, 1988; SOMMERVILLE & GREEN, 1989; SCHOON & DEBRUIJN, 1994; SETTLE et al., 1994; SCHOON, 1996; HARVEY & HARVEY, 2003; STOCKHAM et al., 2004 a; 2004 b; SCHOON, 2005; HARVEY et al., 2006; PINC et al., 2011; JEZIERSKI et al., 2012).

Aus den Untersuchungen von HARVEY & HARVEY (2003) sowie HARVEY et al. (2006) lässt sich schlussfolgern, dass Hunde in der Lage sind, unter realen, nicht kontrollierbaren, natürlichen Bedingungen Spuren von Personen aufzunehmen, zu verfolgen und richtig zuzuordnen.

Ziel der vorliegenden Arbeit war u. a. zu überprüfen, inwieweit sich diese Ergebnisse auch auf die Suche von Fährten verschiedenen Alters unter natürlichen Bedingungen übertragen lassen. Dieses Ziel wurde erreicht. Alle hier untersuchten Fährtenalter wurden aufgespürt, verfolgt und richtig zugeordnet. Dennoch ist das Ergebnis nicht ausgefallen wie erwartet, was hier in Bezug auf die Planung diskutiert werden soll.

---

<sup>100</sup> Siehe auch Abschnitt 2.3.3 "Probenentnahme menschlichen Geruchs – Geruchssammlung", S. 65 und hier insbesondere Fußnote 71 auf Seite 67.

### **5.2.5.1 Örtlichkeit**

Um einen erhöhten Verwaltungs- und Genehmigungsaufwand für die beteiligten Hundeführer zu vermeiden, wurden als Fährtenengelände Gegenden gewählt, die sich in deren Umkreis befanden. Mindestens aber wurden die Fährten in dem Bundesland gelegt, in dem die Hundeführer auch ihren Dienst verrichten. Dies führte zu einem enorm hohen logistischen Aufwand, da nicht nur die Experimentatorin, sondern auch die Fährtenläufer und oft auch die Suchteams anreisen mussten. Die Terminplanung war dadurch erschwert und führte zu zeitlichen Verzögerungen. Ein bis zwei feste Orte in der Nähe der Fährtenläufer (nicht die Wohnorte!) sowie festgelegte Suchtermine im Vorfeld wären für alle Beteiligten von Vorteil gewesen, hätten den logistischen Aufwand minimiert, zu einem zügigeren Verlauf der gesamten Versuchsphase beigetragen und dadurch auch zur Abwicklung einer höheren Fährtenzahl geführt. Ob dann eine ausreichend hohe Beteiligung von Suchteams und Läufern möglich gewesen wäre, bleibt offen.

### **5.2.5.2 Fährtenalter, Fährtenuntergrund, Fährtenlänge und Fährtenverlauf**

Die Entscheidung für die drei Fährtenalter ein Tag, eine Woche und ein Monat wurde durch folgende Überlegungen bedingt:

1. Aus Trainingserfahrungen ist bekannt, dass Hunde ein Fährtenalter von 24 Stunden noch sicher verfolgen können. Auch ist bekannt, dass eine Woche alte Fährten schon im Rahmen von Trainingseinheiten gefunden wurden.
2. HARVEY & HARVEY (2003) konnten nachweisen, dass Bluthunde 48 Stunden alte Fährten sicher verfolgen können.
3. Aus Gesprächen mit Hundeführern war zu entnehmen, dass sie Anfragen für Fährten älter als 48 Stunden, vereinzelt auch älter als eine Woche, nicht anneh-

men, da die Wahrscheinlichkeit eines Erfolges zu gering sei und ältere Fährten deshalb nicht trainiert würden.

4. In Versuchen von STOCKHAM et al. (2004 b) konnten Hunde menschlichen Geruch noch 14 Tage nach starker thermischer, chemischer und mechanischer Manipulation unter natürlichen Bedingungen verfolgen.
5. Hunde konnten in einer Untersuchung (SCHOON, 2005) bis zu 24 Wochen alte Geruchsproben diskriminieren. Der Erfolg lag mit 60 % aber niedriger als bei jüngeren Proben mit einem Alter von 12 Wochen. Die Proben wurden in einem mit Schraubverschluss verschlossenen Glasbehälter gelagert.
6. In der Untersuchung von KING et al. (1964) konnte erstmals nachgewiesen werden, dass Hunde auch verwitterte Geruchsproben nach einer Lagerungszeit von mehreren Wochen zuordnen konnten. Während bei im Raum verwitterten Proben nach drei Wochen eine Diskriminierung noch leicht möglich war, verschlechterten sich die Leistungen mit zunehmendem Alter der Probe. Im Alter von sechs Wochen lag die Erfolgsquote nur noch bei 40-50 %, bei acht Wochen unter 20 %. Für im Außenbereich verwitterte Proben lagen die Leistungen der Hunde immer unter denen der Raumproben.
7. Mit dem Gaschromatographen konnte nachgewiesen werden, dass sich das Verhältnis der Komponenten menschlichen Geruchs auf Geruchsträgern nach drei Monaten (CURRAN et al., 2005 b) und beim primären Geruch nach sieben Wochen (HUDSON et al., 2009) nicht verändert hatte.

Die Fährtenalter in vorliegender Studie wurden innerhalb dieser Zeitrahmen frei gewählt. Tagesfährten gehören zum üblichen Trainings- und Einsatzalltag. Wochenfährten bieten zeitlich eine deutliche Abgrenzung zur Tagesfährte und stellen einen Zeitraum dar, der zwar im Trainings- und Einsatzalltag nicht üblich, aber auch nicht ganz ungewöhnlich ist. Um zum einen den Abstand zu einer Woche deutlich abzugrenzen, gleichzeitig aber über dem von STOCKHAM et al. (2004 b) bereits nachgewiesenen Alter von 14 Tagen und unter dem von KING et al. (1964) beobachteten Zufallsalter von sechs Wochen zu bleiben, wurde als drittes Fährtenalter der Monat

gewählt. Auf diese Weise kann sich auch an der bisherigen Ausbildung der Hunde orientiert werden. Die Trainingsgrenze befindet sich vielfach bei einer Woche; das dritte Fährtenalter sollte nicht zu weit außerhalb des für die Hunde bisher trainierten Bereichs liegen, da die Zuverlässigkeit und der Erfolg beim Bewältigen von Aufgaben stark davon abhängt, wie die Tiere trainiert wurden (SCHOON et al., 2009).

Das Suchen unter natürlichen Bedingungen beinhaltet eine hohe Variabilität (PRADA et al., 2015) von Einflüssen. Ablenkungen auf der Fährte, verschiedene Formen der Kreuzkontaminationen, verschiedene mikroklimatische Bedingungen sowie eine unterschiedliche Bakterienflora in verschiedenen Umgebungen und ihr jeweiliger spezifischer Einfluss auf die Leistung des Hundes sind weder quantitativ, noch qualitativ messbar. Lediglich der Gesamteinflussfaktor Umwelt und Untergrund kann wiedergegeben werden, weshalb die Fährten in natürlicher und städtischer Umgebung durchgeführt und die Fährten ähnlich konstruiert wurden, um damit – soweit möglich – eine „Standardisierung“ der Umwelt zu gewährleisten.

Wie auch schon bei der Auswahl des Fährtenalters wurde sich bei den Themen Fährtenlänge und Fährtenverlauf an Erfahrungen aus dem Training orientiert, wo Hunde eine Distanz von 500 m gut bewältigen. Diese Strecke wird im Zusammenhang mit dem Design der hier vorliegenden Studie für zu kurz gehalten. Wie schon unter dem Punkt 5.2.3 auf Seite 137 angesprochen, können Hunde Geruchsspuren auf große Entfernungen wahrnehmen (CABLK et al., 2008). Steht das Target am Ende der Spur ist die Wahrscheinlichkeit hoch, dass je nach Witterungsbedingungen, Geländebeschaffenheit und Dauer des Aufenthaltes der Person am Ziel, die Hunde früher oder später Hochwitterung des frischen Geruchs bekommen und diesem folgen (SCHALKE, 2013).

Alternativen wären die schon auf Seite 139 besprochenen Möglichkeiten ohne Person am Ende oder/und die Verlängerung der Fährtendistanz. Die Annahme, dass unter natürlichen Bedingungen mit steigender Fährtenlänge die Spur durch verschiedene Umwelteinflüsse auch zunehmenden Kontaminationen ausgesetzt sind und damit das Risiko einer Verschlechterung der Hundeleistung steigt, wurde in der Stu-

die von HONHON (1967) zumindest in Frage gestellt. ENSMINGER (2012) berichtet, dass in Honhon's Untersuchung mit steigender Fährtenlänge auch die Exaktheit des Hundes stieg. Je eher sich die Fährten in dieser Untersuchung teilten (50 m) und Köder bzw. Target getrennte Wege gingen, desto schlechter waren die Sucherfolge der Hunde, die dem Target nur zu 45 % folgten, im Gegensatz zu Fährten von 800 m, wo dem Target zu 75-85 % gefolgt wurde.

Es stellt sich daher die Frage, ob es in der vorliegenden Arbeit notwendig war, bereits am Start Entscheidungspunkte einzubauen, oder ob es sinnvoll gewesen wäre, die ersten Abzweigungen erst viel später in den Fährtenverlauf zu integrieren.

Um es vorwegzunehmen: Das wird nicht so gesehen. Erstens sollten die Suchen unter möglichst natürlichen Bedingungen und zweitens einsatznah gestaltet werden. Zum Dritten wäre ein unglaublich viel höherer logistischer Aufwand entstanden. Die Startsituation unter natürlichen Bedingungen so zu gestalten, dass es keine Abzweigung gibt, ist sicherlich noch gut möglich, die ersten Abzweigungen erst nach ca. 800 m einzubauen, wäre für die Masse der Fährten nahezu unmöglich – auch bei Distanzen < 800 m. Außerdem entspräche diese Maßnahme nicht mehr einer Einsatzsituation.

Es sollte ja überprüft werden, inwieweit Hunde fähig sind, verschiedene Fährtenalter aufzuspüren und zu verfolgen, was ohne Entscheidungspunkte am Start nicht zu überprüfen gewesen wäre. Insofern bestand die Notwendigkeit, sowohl am Start als auch unterwegs Entscheidungspunkte zu integrieren. Darüber hinaus zeigen die Ergebnisse auch, dass Hunde grundsätzlich in der Lage sind, diese Aufgabe zu lösen. Nichtsdestotrotz wäre eine Vergleichsarbeit mit einem anderen Fährtenaufbau, gerade auch in Hinblick auf den Punkt „Hochwitterung oder Spur“, sicher sehr spannend.

Ein Vorteil des hier vorliegenden Versuchsaufbaus ist außerdem, dass weniger schnell ein Legemuster entstehen kann. Unter natürlichen Bedingungen findet sich auf einer 500 m langen Strecke in der Regel mindestens eine Kreuzung, so dass sich schon allein aus diesem Grund während des Fährtenverlaufs ein oder mehrere Ent-

scheidungspunkte ergeben, die es nicht nur dem Hund, sondern auch dem Hundeführer erschweren, den Fährtenverlauf vorherzusehen.

Trotz aller Bemühungen, bei der Fährtenplanung einem bestimmten Verlaufsmuster entgegenzuwirken, kann aber nicht ausgeschlossen werden, dass die in der Mehrzahl von einer Person geplanten Fährten manchmal ähnliche Verlaufsmuster aufweisen. Dies ist der Bedingung geschuldet, dass gewährleistet sein musste, die Läufer zum Startpunkt bringen bzw. vom Zielpunkt abholen zu können. Theoretisch könnten so Muster entstehen, die für den Hundeführer und den Hund mit zunehmender Fährtenzahl erkennbar wären, vorausgesetzt, sie kämen im Rahmen ihrer Fährten öfter vor und das Gelände wäre im Vorfeld bekannt. Im Zusammenhang mit der vorliegenden Arbeit hält die Autorin das jedoch aufgrund folgender Begründungen für unwahrscheinlich: Die Geländestruktur war sehr unterschiedlich, es gab in der Regel mehrere Kreuzungen während des Fährtenverlaufs und außerdem handelte es sich oft um Gelände, die den Hundeführern völlig unbekannt waren.

Der räumliche Abstand zwischen den Spuren betrug bei allen am selben Tag gelegten Fährten für denselben Hund meistens mehr als den geplanten Abstand von 500 m. Weil oft mehrere Hundeteams zur Suche geladen waren und ein Gelände nach einer Menge von bis zu drei Fährten ausgenutzt ist, wurde danach zu einem anderen Gelände gefahren. Auf diese Weise war garantiert, dass es zu keinen Kontaminationen und daraus entstehenden Verwechslungen kommen konnte. Die Distanzen zwischen den Fährten unterschiedlicher Hunde, gelegt mit unterschiedlichen Läufern, entsprachen mindestens den geplanten 100 m bis 200 m. Dies wird als ausreichend erachtet, weil die Hunde dem Zielgeruch folgen sollen. Ein Hund, der die Fährte des „Nachbarläufers“ absucht, hätte die Aufgabe nicht erfüllt. Diese Variante kam im Rahmen dieser Arbeit aber auch nicht vor.

### 5.2.5.3 Verblindung

Es wird von verschiedenen Varianten der Beeinflussung der Hunde durch den Hundeführer berichtet: Situationen, in denen es bei Diskriminierungsaufgaben zur Anzeige kam, weil der Hundeführer die Zielsubstanz vor dem Hund ausfindig machte (LASSETER et al., 2003). Es kamen aber auch Anzeigen vor, die zustande kamen, weil der Hundeführer davon ausging, eine Zielsubstanz sei vorhanden und deshalb eine Anzeige des Hundes förderte, obwohl dieser die Zielsubstanz nicht erkannte (KURZ et al., 1996, zitiert nach LEITCH et al., 2013).

Ebenso konnten LIT et al. (2011) beobachten, dass sich bei der überwiegenden Anzahl der Fehlanzeigen Überzeugungen der Hundeführer auf die Leistung der Hunde auswirkten. Sie nennen zwei Varianten: Zum einen wurden durch den Hundeführer Anzeigen an falscher Stelle gefördert, weil er dachte, dass sich der Zielgeruch genau dort befindet, und zum anderen kam es – wie auch bei KURZ et al. (1996) – trotz fehlenden Zielgeruchs zu Anzeigeverhalten, weil der Hundeführer glaubte, es wäre ein solcher vorhanden.

Die Ursachen für diese Phänomene werden in der Fähigkeit von Hunden gesehen, menschliche Signale sehr genau beobachten und interpretieren zu können, sodass von den Hundeführern subtile, z. T. unbewusst gegebene, Signale vom Hund erkannt und genutzt werden. Solche Signale können Blicke, Gesten, Haltungen sein (LIT et al., 2011).

Hunde sind jedoch nicht nur in der Lage, die Signale ihrer Hundeführer zu lesen und zu interpretieren, sondern menschliche Signale ganz allgemein, wie ausführlich bei SZETEI et al. (2003) und MIKLÓSI et al. (2005; 2007) nachgelesen werden kann.

Dem oben beschriebenen Phänomen, auch unter dem Clever-Hans-Effekt bekannt, sollte in dieser Arbeit durch die Verblindung der Suchteams und aller Begleitpersonen vorgebeugt werden.

## Kapitel 5

---

Bei einigen Hunden konnte am Start der ersten Fährten beobachtet werden, dass sie sich vermehrt umdrehen (SCHALKE, 2012). Die Autorin interpretiert dieses Verhalten als Verwunderung darüber, dass außer dem Hundeführer keiner folgte und wertet es als Hinweis dafür, dass die Hunde während der Fährte auf alle mitlaufenden Personen achten und sich auch an menschlichen Signalen orientieren. Dass das Verhalten bei den Folgefährten nicht mehr gezeigt wurde, wird als eine Form der Generalisierung gewertet.

Fast alle Suchteams absolvierten die Fährten ohne Begleitung. Fünf Hundeführer baten darum, in Begleitung ihrer Trainings- bzw. Einsatzpartner starten zu dürfen. Ein offensichtlicher Unterschied zwischen den Fährten mit bzw. ohne Begleitung konnte nicht festgestellt werden. Eine Beeinflussung des Hundes durch eine oder mehrere Begleitpersonen aufgrund deren Überzeugung die richtige Entscheidung zu kennen, wäre dennoch im Bereich des Möglichen. Das Suchen ganz ohne Begleitung hätte deshalb für alle gelten müssen und wird im Nachhinein als ein weiterer Designfehler gesehen.

Obwohl keines der Suchteams wusste, wo die Fährte verläuft und endet, könnte dennoch folgendes Wissen der Hundeführer (und damit auch der Begleitpersonen) die Ergebnisse beeinflusst haben: Die Hundeführer wussten,

1. dass die Fährten ca. 500 m lang sind.
2. dass der Fährtenleger sich am Ende der Fährte befindet.
3. welches Fährtenalter aktuell gesucht wird.

In dieser Kombination könnte ein erfahrener Hundeführer im Verlauf der Fährte gegebenenfalls abschätzen, ob sein Hund an den Kreuzungen die richtige Entscheidung getroffen hat. Wurden z. B. schon 350 m gesucht und innerhalb der nächsten 150-200 m ist keine Person zu finden, ist die Wahrscheinlichkeit groß, dass der Hund eine falsche Entscheidung getroffen hat. Das Wenden des Tieres könnte, allein durch die Überzeugung des Hundeführers bezüglich der Fehlentscheidung seines Hundes, durch subtile, unbewusste Signale gefördert werden, unabhängig davon, ob



die Einschätzung des Hundeführers richtig oder falsch war. Auf diese Weise ist die Beeinflussung sowohl der Erfolgs- als auch der Misserfolgsfährten im Bereich des Möglichen (siehe auch unter den Diskussionspunkten 5.3.1 „Erfolg und Misserfolg in Abhängigkeit vom Fährtenalter“, S. 158 und 5.3.2 „Prozentuale Häufigkeit richtig getroffener Entscheidungen“, S. 166).

Das Wissen darüber, dass das Target immer am Ende steht, könnte wiederum das Loslaufen der Hunde fördern, auch dann, wenn der Hund vielleicht gar keinen Geruch wahrgenommen hat (siehe auch Diskussionspunkte 5.3.1 „Erfolg und Misserfolg in Abhängigkeit vom Fährtenalter“, S. 158 und 5.3.3 „Erfolgssfährt in Abhängigkeit von Spurlaufen und Hochwitterung“, S. 170).

Die Beeinflussung der Tiere durch den Hundeführer oder andere mitlaufende Personen ist sicherlich nie völlig auszuschließen, jedoch hätte sie noch mehr minimiert werden können, wenn nicht nur über den Fährtenverlauf, sondern auch über die Fährtenlänge und das Alter Unkenntnis bestanden hätte (siehe hierzu auch Abschnitt 5.4 „Schlussfolgerung“, S. 186).

## **5.2.6 Fragestellungen**

Die 18 teilnehmenden Hunde waren so auf die Gruppen verteilt, dass ein Vergleich zwischen den drei Gruppen aufgrund von nur drei Gebrauchshunden nicht möglich gewesen wäre. Ein Vergleich der Gruppen Bluthunde und andere Jagdhunde, die eine ähnlich hohe Anzahl Hunde aufwiesen (sieben und acht), ergab keinen signifikanten Unterschied, sodass im Rahmen dieser Studie ganz auf eine nähere Betrachtung verzichtet wurde.

Über die Auswertung der prozentual richtig getroffenen Entscheidungen wurde die Bewältigung der Fährten durch den einzelnen Hund geprüft und der Verlauf der Fährten dargestellt, so dass bewertet werden kann, ob die Hunde über Hochwitterung oder über Spurlaufen zum Ziel kamen.

### 5.2.7 Bewertungssystematik

Im Gegensatz zum Bodenfährter, der durch das Verfolgen einer Kombination aus Bodenverletzung und menschlichem Geruch eine Spur Fußstapfen für Fußstapfen exakt verfolgt, um ggf. verlorene oder weggeworfene Gegenstände aufzuspüren, orientiert sich der Personenspürhund ausschließlich am Individualgeruch und arbeitet sich an diesem bis zur Geruchsquelle vor (STOCKHAM et al., 2004 b; CURRAN et al., 2005 b).

Aktuell wird die MHC-Diversität als Quell eines einzigartigen persönlichen Geruchs gesehen (YAMAZAKI et al., 1990; 1999; 2000; SCHAEFER et al., 2001; 2002; HURST et al., 2005; SANTOS et al., 2005; HAVLICEK & ROBERTS, 2009; KWAK et al., 2010; PRADA et al., 2015).

An welchen Komponenten des Individualgeruchs sich der Hund orientiert, ist jedoch schwer bis unmöglich zu definieren, weil man nicht mit Sicherheit sagen kann, welchen Prozess, welches Molekül, Protein oder Gemisch die Hundenase bei der Diskriminierung berücksichtigt (PRADA et al., 2015).

Auch die Verteilung des Individualgeruchs in der Umwelt ist nicht vollständig geklärt. Aus Untersuchungen von EDGE et al. (2005), SETTLES (2005; 2007), CRAVEN & SETTLES (2006) und CRAVEN et al. (2014) ist bekannt, dass die Bestandteile des Individualgeruchs (Geruchsmoleküle, Hautschuppen, etc.) im Bereich der Schultern und zwischen den Beinen freigesetzt und durch Verwirbelungen und Fallwinde nach unten seitlich ausgebreitet werden.

Hinzu kommt, dass in freier Natur Riechen unter allen Varianten von Wetterbedingungen sowie den Individualgeruch beeinflussenden Abbauprozessen stattfinden muss (SETTLES, 2005).

Das heißt: Durch biologische Abbauprozesse ist die – z. T. auch zeitverzögerte – Freisetzung weiterer flüchtiger Bestandteile (VOCs) gegeben, welche durch Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Wind und andere Strömungseinflüssen beeinflusst wird.

Insbesondere durch Wind und andere Strömungseinflüsse kommt es zu Wechselwirkungen der chemischen Geruchsspuren mit Hindernissen (SETTLES, 2005). Es können also Teile des Individualgeruchs in Kreuzungsarme gedrückt, gezogen, verwirbelt oder durch die abwärts gerichtete Rezirkulationsströmung an Gebäude gedrückt werden.

Hunde arbeiten z. T. bis zu zwei Meter vom Boden entfernt, sodass auch leichtere Winde das Riechen durch das Zerstreuen der chemischen Geruchssignale stören können (SETTLES, 2005). So kann es z. B. vorkommen, dass bei warmen Temperaturen der Geruch der am Fuß des Hanges verweilenden Person den Hang hinauf und dort auf einen am Kamm verlaufenden Weg zieht, den der Hund dann erst einmal verfolgt, weil es sich um frischen Geruch handelt (so vermutlich stattgefunden auf der in Abbildung 2 c dargestellten Fährte, S. 112).

Das ist insofern alles von Bedeutung, weil allein anhand der per GPS aufgezeichneten Fährtenverläufe nicht einfach gesagt werden kann, dass ein Hund, der sich etwas von der Spur entfernt, nicht die Fährte verfolgt, sondern nur über Hochwitterung sucht. Insbesondere dann nicht, wenn wir gar nicht genau wissen, welche Bestandteile des Individualgeruchs die Hunde gelernt haben zu nutzen, wie und wohin sich diese Bestandteile in freier Natur verteilen und die bisherige Ausbildung des Hundes darauf abzielte, eine Person statt eine Spur zu suchen. Videoaufnahmen könnten hier Abhilfe schaffen, fanden im Rahmen dieser Dissertation aber nicht statt.

Aus diesem Grund musste eine Bewertungssystematik gefunden werden, die zum einen die Unterteilung in „Spurlaufen“ und „Hochwitterung“ möglich machte, zum anderen aber auch den oben geschilderten Einflüssen – inklusive der Ausbildung – und dem damit verbundenen Verhalten des Hundes gerecht wird.

Der Hund muss also die Möglichkeit haben, an Entscheidungspunkten die verschiedenen Kreuzungsarme zu überprüfen bzw. sich etwas neben dem eigentlichen Spurverlauf fortzubewegen, weil der Geruch z.B. an eine Hauswand oder an eine Hecke gedrückt wird oder ähnliches. Bezogen auf die oben erwähnte Situation aus Abbildung 2 c auf Seite 112 bedeutet dies, dass der Hund die Möglichkeit haben muss,

## Kapitel 5

---

den Weg, in den die frische Witterung zieht, zu überprüfen, um sich bei abnehmender Konzentration des Geruchs wieder auf die Spur zurückzubegeben.

Über die in dieser Arbeit verwendete Bewertungssystematik lässt sich deshalb diskutieren. Ohne Zweifel hätte es weitere Möglichkeiten einer Einteilung gegeben, jedoch kommt die hier verwendete Systematik dem tatsächlichen Ablauf am nächsten, was im Folgenden noch deutlicher veranschaulicht werden soll.

Schon Erfolg und Misserfolg lassen sich auf verschiedene Art definieren. Das Ankommen oder Nichtankommen am Ziel ist eine Möglichkeit. Eine andere ist, jede richtig getroffene Entscheidung an Kreuzungen als Erfolg und jede falsch getroffene Entscheidung als Misserfolg zu definieren.

In der vorliegenden Arbeit wird im Prinzip nach beidem geschaut. Das Ankommen bzw. Nichtankommen am Ziel wird als Erfolg bzw. Misserfolg gewertet. Dennoch werden auch die einzelnen Entscheidungspunkte betrachtet, um zu überprüfen, wie erfolgreich der Hund im Fährtenverlauf war.

Letzteres wiederum kann nach der Anzahl der Kreuzungen angeschaut werden. D. h.: Jede Kreuzungseinheit ist eine Entscheidung oder jeder einzelne Kreuzungsarm stellt eine Entscheidung dar. In der vorliegenden Arbeit wurde sich für die zweite Variante entschieden, weil dies, nach Ansicht der Autorin, der tatsächlichen Situation und auch dem Verhalten der Hunde sowie ihrer Art der Ausbildung am nächsten kommt und deshalb ein differenzierteres Bild abgibt.

Das bedeutet: Kreuzungsarme, in die der Fährtenleger nicht gelaufen ist, wurden als richtig bewertet, wenn der Hund sie als falsch ausschloss, während sie als falsch gewertet wurden, wenn das Tier sie statt des richtigen Arms weiter verfolgte. Der Kreuzungsarm, in dem das Target tatsächlich gelaufen ist, wurde als richtig bewertet, wenn der Hund sich letztlich für ihn entscheidet und ihn verfolgt und als falsch, wenn er endgültig einen anderen Kreuzungsarm wählt. Dabei kommt es nicht darauf an, dass die Entscheidung sofort für den Weg des Targets fallen muss, sondern der Hund hat die Gelegenheit, in die anderen Kreuzungsarme zu gehen, um sie zu prüfen und muss sich letztlich für den richtigen Weg entscheiden.

Die Bewertungssystematik, mit deren Hilfe entschieden wird, ab wann ein Kreuzungsarm als falsch und wann noch als richtig entschieden zu beurteilen ist, kann ebenfalls unterschiedlich vorgenommen werden. Das Schwierige daran ist, die Grenze festzusetzen innerhalb derer der Hund die Entscheidung getroffen haben muss, dass es sich um den falschen Kreuzungsarm handelt. Das einfachste wäre gewesen, eine maximale Strecke von  $\leq 50$  Metern festzusetzen. Untersuchungen zufolge sind Hunde in der Lage, innerhalb von 3-7 Fußstapfen und 1-5 Sekunden eine Richtung zu erkennen und dafür vermutlich Informationen über den Geruchskonzentrationsgradienten des Individualgeruchs in den Fußstapfen zu nutzen (THESEN et al., 1993; WELLS & HEPPEL, 2003; HEPPEL & WELLS, 2005). Danach wäre man mit einer frei gewählten Distanz von  $\leq 50$  Metern als Überprüfungsstrecke auf der sicheren Seite.

Schaut man sich jedoch die Aufzeichnungen an (siehe als Beispiele Abbildung 1 bis Abbildung 4 auf den Seiten 111 - 114), erkennt man, dass eine solche Grenze dem aufgezeichneten Bild und damit dem Suchverhalten der Hunde nicht gerecht werden würde. Die Hunde hätten in Fährten, in denen sie z.B. 60 m oder 70 m statt der vorgegebenen 50 m für die Entscheidung brauchten, den überprüften Arm als falsch angerechnet bekommen, auch wenn sie umkehrten, um zielstrebig den Kreuzungsarm des Targets zu verfolgen. Und das, obwohl es weder davor noch danach eine weitere Überprüfung von Kreuzungsarmen gab und das Tier direkt zum Ziel lief. Die Ergebnisse der prozentual richtig getroffenen Entscheidungen wären dadurch verfälscht worden und hätten nicht mit den Ergebnissen aus Erfolg bzw. Misserfolg bezüglich des Ankommens am Ziel zusammengepasst.

Als Ursache für eventuell längere Entscheidungsphasen werden die Faktoren aufgrund der natürlichen Bedingungen und die Ausbildung der Hunde gesehen. Die Strecke, die ein Hund zur Überprüfung nutzt, ist bei jedem Hund individuell und kann von verschiedenen Faktoren abhängen. Zum einen spielen die oben angesprochenen Witterungsbedingungen sowie Geländegegebenheiten eine Rolle, die zurückgelegte Strecke ist also situationsbedingt (vgl. hierzu wiederum Abbildung 2 c, S. 112, aber auch Abbildung 1 b, S. 111). Zum anderen kommt es auch auf die individuelle

Ausbildung, das aufrechterhaltende Training und die Erfahrungen in Einsätzen an, die als Faktoren beeinflussen, was der Hund tatsächlich gelernt hat (z.B. welche Bestandteile des Individualgeruchs zu suchen gewünscht sind, ab welcher Konzentration einem Geruch gefolgt werden soll, wie weit eine abnehmende Konzentration verfolgt werden darf, inwieweit einem über Hochwitterung frisch zugetragenen Geruch gefolgt werden darf, etc.). Deshalb wurde in der vorliegenden Arbeit die unter Material und Methode beschriebene Bewertungssystematik (S. 103) gewählt. Die Abbildungen 1-4 (S. 111 - 114) zeigen jeweils ein Beispiel für die hier vorgenommene Bewertungssystematik und es wird offensichtlich, was oben beschrieben ist.

Dennoch bleiben strittige Diskussionspunkte, z. B.:

Ab welcher Entfernung und auch bei welcher Art sollten Abweichungen nicht mehr als Spurlaufen bezeichnet werden? Und damit auch: Ab welcher Entfernung gilt ein Überprüfen des Kreuzungsarms ohne gelegte Spur des Targets als falsch?

Sind bis zu 150 m zum Überprüfen eines Kreuzungsarmes, auch unter bestimmten Voraussetzungen (z. B. starker Wind, bestimmte Geländestrukturen, etc.), zu viel? Manche der Hunde gingen grundsätzlich bis zur nächsten Abzweigung, wenn sie einen Kreuzungsarm überprüften. Dort prüften sie sehr kurz die vorhandenen Möglichkeiten. Danach konnten zwei Varianten des weiteren Vorgehens beobachtet werden: Erstens, der Hund ging den gleichen Weg bis zur eigentlichen Entscheidungskreuzung zurück, um dort entlang der Spur dem Targetweg zu folgen. Zweitens, der Hund ging nicht zur eigentlichen Entscheidungskreuzung zurück und wählte stattdessen einen Weg, der ihn in fortlaufender Richtung zur Spur zurückführte, um dort wiederum dem Weg des Läufers zu folgen (siehe Abbildung 3 d, S. 113). Bei dem Verhalten, einen Kreuzungsarm grundsätzlich bis zur darauffolgenden Kreuzung zu überprüfen, könnte es sich um ein (bewusst oder unbewusst) auftrainiertes Verhalten handeln. Es könnte aber auch sein, dass der Hund an der eigentlichen Entscheidungskreuzung die Spur verloren hatte und deshalb so lange weiter läuft, bis ihm Hochwitterung zugetragen wird.

Wann genau ist von Spurlaufen und wann von Arbeiten über Hochwitterung zu sprechen? Ist es nur als Hochwitterung zu bewerten, wenn der Hund – wie innerhalb dieser Arbeit vermutlich des Öfteren geschehen – den Helfer auf Entfernung riecht und dieser Witterung folgt? Oder gilt auch als Hochwitterung, wenn der Hund zum Prüfen kurz abweicht und nicht mehr denselben Weg zur Spur zurückläuft, sondern auf direktem Weg? Oder, wenn er auf der Spur an einen Kreuzungspunkt kommt und hier über eine Abkürzung zum weiteren Verlauf der Spur geht, die er auf Entfernung wahrgenommen hat, ohne dass der Helfer in der Nähe steht?

Die Liste kann noch beliebig fortgesetzt werden und wenn die Definition für Hochwitterung so festgelegt wird, dass jede Form von Geruchsinformation darunter fällt, die auf Entfernung zugetragen wird, dann trifft das auf alle eben genannten Varianten zu. Wird diese Definition jedoch konsequent umgesetzt, müssten auch Fährten wie in Abbildung 1 b (S. 111) bzw. Abbildung 2 a und c (S. 112) als Hochwitterung eingestuft werden, was dem Bild des aufgezeichneten Spurverlaufs, der Ausbildung dieser Tiere als Trailer mit der Aufgabenstellung „Suche die Person“, und vermutlich auch den Realbedingungen entgegenstünde. Deshalb wurde sich hier für eine differenziertere Bewertungssystematik entschieden, die aber in der Summe dennoch eine realistische Auswertung zulässt. Die Problematik in Bezug auf Hochwitterung und Spurlaufen wird anhand der Ergebnisse in den Diskussionspunkten 5.3.1 „Erfolg und Misserfolg in Abhängigkeit vom Fährtenalter“ (S. 158), 5.3.2 „Prozentuale Häufigkeit richtig getroffener Entscheidungen“ (S. 166) und besonders 5.3.3 „Erfolgsfährten in Abhängigkeit von Spurlaufen und Hochwitterung“ (S. 170) noch eingehend diskutiert.

Eine andere Schwierigkeit ist, Misserfolg richtig zuzuordnen. Unstrittig ist, dass ein Nichtankommen am Ziel als Misserfolg zu werten ist. Aber ab wann ist das der Fall? Die Schwierigkeit besteht eher darin, zu bestimmen, zu welchem Zeitpunkt abgebrochen wird. Eindeutig ist es, wenn der Hund am Start nicht losläuft (vgl. Abbildung 4 a, S. 114) oder der Hundeführer abbricht, weil es besondere Vorkommnisse gibt bzw. der Hund erschöpft oder verletzt ist. Über alle anderen Fälle lässt sich diskutieren. Die Regelung des Abbruchs war in der vorliegenden Arbeit nicht eindeutig genug. Um den individuellen Eigenschaften der Hunde gerecht zu werden, wurden die Hun-

deführer im Vorfeld darüber befragt, wie weit ihr Hund gewöhnlich zwecks Überprüfung in einen vom Target nicht benutzten Kreuzungsarm läuft. Die Angaben waren jedoch sehr unterschiedlich und da das Verhalten sehr stark von der Ausbildung und letztlich auch von den Bedingungen vor Ort (Gelände, Witterungsbedingungen, etc.) abhängig ist, wurde eine eher großzügige Auslegung gewählt. Ein einheitlicheres Bild und damit eindeutigeres Auswertungskriterien würde sich mit Hunden ergeben, die eine ähnlichere Ausbildung, in Hinblick auf das Verfolgen einer dünner werdenden Geruchskonzentration durchlaufen haben.

Letztendlich bedarf es aber aufgrund der sehr komplexen Thematik weiterer Forschung, um wissenschaftlich fundierte Kriterien ansetzen und eine untermauerte Bewertung vornehmen zu können. Eine Möglichkeit hierzu wäre die Auswertung des Verhaltens der Hunde in den Kreuzungsbereichen mittels Videoaufzeichnungen und deren Auswertung mithilfe eines zuvor erstellten Ethogramms (ggf. unter Einbeziehung von Witterungsbedingungen und besonderen Vorkommnissen), da so anhand des Ausdrucksverhaltens des Hundes während der Suche die Situation besser beurteilt werden kann.

## 5.3 Ergebnisse

### 5.3.1 Erfolg und Misserfolg in Abhängigkeit vom Fährtenalter

Die Ergebnisse dieser Studie haben ergeben, dass Hunde grundsätzlich fähig sind, Fährten im Alter von einem Tag, einer Woche und einem Monat zu suchen. Für alle gesuchten Fährten – unabhängig vom Alter – liegt dabei das Verhältnis Erfolg zu Misserfolg bei ungefähr 60 zu 40. Dieses Ergebnis war in mehrfacher Hinsicht sehr überraschend. Zum einen wurde ein deutlicheres Ergebnis zugunsten des Erfolgs und zum anderen eine deutliche Unterscheidung des Erfolgs bzw. Misserfolgs in den verschiedenen Fährtenaltern erwartet. Beide Abweichungen sollen im Folgenden diskutiert werden.



Zwar haben einige Untersuchungen gezeigt, dass menschlicher Geruch sowohl unter Laborbedingungen als auch unter natürlichen Bedingungen sehr stabil ist (STOCKHAM et al., 2004 a, 2004 b; SCHOON, 2005; HUDSON et al., 2009; CURRAN et al., 2005 b; 2010 a), dennoch war aufgrund dieser Untersuchungen auch zu vermuten, dass durch bakterielle Abbauprozesse und der Beeinflussung von Wind, Temperatur, Feuchtigkeit, UV-Strahlung etc. der Geruch mit zunehmendem Alter in der Konzentration geringer wird und deshalb für die Hunde schwieriger zu detektieren und zu verfolgen sei. Zumindest war zu erwarten, dass die Tagesfährten entsprechend den Ergebnissen von SCHOON (2005) signifikant besser gesucht werden als die Wochen- bzw. Monatsfährten. Dass sich dieses Ergebnis in der vorliegenden Studie nicht bestätigt hat, könnte verschiedene Ursachen haben:

1. Die Fährtenalter waren noch nicht weit genug auseinander gewählt. Die Grenze an der Hunde unter natürlichen Bedingungen gealterten Geruch nicht mehr oder weniger gut wahrnehmen können, ist mit einem Monat noch nicht erreicht.
2. Durch die Person am Ende der Spur konnten die Hunde in allen Fährtenaltern frischen Geruch über Hochwitterung wahrnehmen und kamen deswegen in allen drei Alterskategorien gleich häufig zum Erfolg.
3. Die den Geruch beeinflussenden natürlichen Bedingungen wie z. B. Wind, Temperatur, Niederschlag, Luftfeuchtigkeit waren sehr unterschiedlich: Beim Legen der Spur, in der Zeit zwischen Legen und Suchen oder/und dem Suchen selbst. Durch Zufall könnten die Bedingungen bei einem Fährtenalter günstiger gewesen sein als bei einem anderen, was dazu beigetragen haben könnte, dass Tagesfährten schlechter und Monatsfährten besser als erwartet gesucht wurden und in der Summe eine Gleichverteilung ergaben.
4. Die Geländestruktur (natürlicher oder städtischer Untergrund, Bewuchs- und Bebauungsdichte, mehr oder weniger starker Straßenverkehr, Steigungen und Gefälle, stehende und fließende Gewässer in der Nähe, etc.) hat einen Einfluss auf die Verteilung und vermutlich auch auf die Alterung des Geruchs. Keine Fährte wurde doppelt gesucht. Eine zufällige Häufung schwieriger oder leichter zu suchender Gelände bei einem Fährtenalter wäre ebenfalls als Ursache denkbar.

5. Es liegen noch zu wenige Daten vor. Manche Hunde haben nicht alle Fährtenalter gesucht. Es könnte deshalb, aufgrund fehlender Möglichkeiten eines direkten Vergleichs der Fährtenalter bei jedem einzelnen Hund und auch zwischen den Hunden, ein falsches Bild entstanden sein.

Zu 1 (S. 159): Es ist zu erwarten, dass sich die Komponenten menschlichen Geruchs mit zunehmendem Alter durch Witterungseinflüsse, Untergrund, Kreuzkontaminationen und biologische Abbauprozesse verändern. Wie im Einzelnen das jedoch geschieht, ist unklar. Neben der Art der bakteriellen Flora vor Ort spielt das weite Feld mikroklimatischer Bedingungen für den Abbau organischer Moleküle eine große Rolle (SETTLES, 2005). Das gilt auch für deren Flüchtigkeit, die sich durch die Abbauprozesse verändern kann. D. h.: Zuvor nichtflüchtige Bestandteile können sich, je nach Fortschreiten des Abbauprozesses und je nach mikroklimatischen Bedingungen, in flüchtige Komponenten verwandeln. Die Theorien des MHC-Komplexes (FERSTL et al., 1992; EGGERT et al., 1998; 1999; WEDEKIND, 2000; SCHAEFER et al., 2001; 2002; CURRAN et al., 2005 a; HAVLICEK & ROBERTS, 2009; MILINSKI et al., 2013) bezüglich der Beeinflussung des menschlichen Geruchs zugrunde gelegt, könnten die an die MHC-Moleküle gebundenen und an der Hautoberfläche noch nicht zersetzten Geruchsmoleküle, auch nach ihrer Abgabe an die Umwelt, in einem gebundenen, nichtflüchtigen Zustand vorliegen. Ihre Freisetzung könnte einem Alterungsprozess unterliegen, was hieße, dass sie erst nach einer gewissen Zeit durch die Zersetzung der bakteriellen Umgebungsflora flüchtig würden. Diese flüchtigen Moleküle könnten dann auch nach einem Monat noch gut zu riechen sein, weshalb die Monatsfährte für den Hund geruchlich noch keinen signifikanten Unterschied zu den Tages- und Wochenfährten darstellt.

Da jedoch über die Abbauprozesse menschlichen Geruchs in freier Natur nicht genügend Erkenntnisse vorliegen und auch Erfahrungswerte hier sehr unterschiedlich sind, muss man sich an die jeweiligen Grenzen herantasten. Dazu könnte die hier vorliegende Arbeit einen Beitrag geleistet haben, indem festgestellt wurde, dass es zwischen den hier gewählten Altern keinen signifikanten Unterschied gibt.

Andererseits wurde an anderer Stelle schon gezeigt, dass sich mit zunehmendem Alter des Geruchs die Leistung verschlechtert (KING et al., 1964) bzw. Schwankungen unterliegt (SCHOON, 2005), sodass als Begründung für das hier vorliegende Ergebnis andere Ursachen vermutet werden.

Zu 2. (S. 159): Wie auch an anderer Stelle (5.3.2 „Prozentuale Häufigkeit richtig getroffener Entscheidungen“, S. 166 und 5.3.3 „Erfolgsfährten in Abhängigkeit von Spurlaufen und Hochwitterung“, S. 170) eingehend diskutiert werden wird, könnte ein Grund für die Gleichverteilung der Hundeleistung in den verschiedenen Fährtenaltern die am Ende der Fährte stehende Person sein. Hier soll dieser Aspekt deshalb nur im Zusammenhang mit der Beeinflussung durch natürliche Faktoren (Temperatur, Feuchtigkeit, Gelände, Wind) erläutert werden. Insbesondere der Wind nimmt dabei eine Schlüsselrolle ein (PRADA et al., 2015).

Windgeschwindigkeit und Windrichtung tragen zu unterschiedlichen Verteilungsmustern des menschlichen Geruchs bei (PRADA et al. 2015). Die Form und die Weite des Geruchskegels, der von der am Ende stehenden Person ausgeht, werden u.a. davon beeinflusst. Der Kegel breitet sich von der Quelle des Geruchs nach außen hin aus, die Geruchsintensität ist dabei umso stärker, je dichter die Geruchsquelle ist und wird mit zunehmender Entfernung immer schwächer (PRADA et al., 2015). Feuchtigkeit, höhere Windgeschwindigkeiten und Windrichtung können zum einen zu Strömungsverhältnissen führen, die die Geruchspartikel innerhalb des Kegels weiter weg tragen, sodass, auch auf größere Entfernungen, intensiver frischer Geruch der Person zu riechen ist, zum anderen kann der Kegel durch stärkere Winde „aufgebrochen“ und die einzelnen Geruchspartikel frei verstreut werden. In beiden Fällen käme der Hund ggf. durch Wahrnehmen des frischen Geruchs zum Erfolg und nicht über die ursprünglich gelegte Fährte. Das heißt, Monatsfährten könnten aus diesem Grund genauso gut oder schlecht gefunden werden wie Tages- bzw. Wochenfährten.

Aber nicht nur der Erfolg einer Fährte ließe sich damit erklären, sondern auch der Misserfolg. Wird der frische Geruch stark verteilt, ist er für den Hund wahrnehmbar und er verlässt die Spur. Durch den eventuell fehlenden Kegel aufgrund starker Ver-

teilung des Geruchs kann sich das Tier dann nicht durch den intensiver werdenden Geruch leiten lassen. Reißt der Geruch dann vollständig ab, kann der Hund nur noch versuchen ihn wiederzufinden, indem er sich viel bewegt. Durch weites Laufen bestehen drei Möglichkeiten: Erstens, der Hund begibt sich dadurch in die Nähe des Targets und somit auch wieder zu einem Geruchskegel, der ihn dorthin leitet oder er stößt durch Zufall wieder auf die Spur, die er dann bis zum Ende weiter verfolgt, oder er kann gar keinen Geruch mehr wahrnehmen und findet auch nicht mehr zur Spur zurück. Je nachdem in welche Richtung er sich bewegt, entfernt er sich von der Möglichkeit, Geruch von der Spur oder gar vom Target selbst zu erhalten und bleibt erfolglos.

Bezogen auf die verschiedenen Fährtenalter wäre es also möglich, dass die am Ende stehende Person bei den Tages- und Wochenfährten dazu beigetragen hat, dass der Hund die Fährte verliert (je nach Windgeschwindigkeit und Windrichtung), zum anderen könnten umgekehrt die Monatsfährten durch den frischen Geruch besser gefunden worden sein. Dieser Aspekt wird neben den oben schon angesprochenen Diskussionspunkten auch noch einmal unter 5.3.5 „Einfluss der Windgeschwindigkeit“, S. 181) angesprochen.

Der Einfluss der am Ende stehenden Person auf die hiesigen Ergebnisse lässt sich nicht ausschließen und wird als eine der Ursachen für die vorliegenden Ergebnisse gesehen. Es stellt sich die Frage, ob die Hunde, ohne Person am Ende, mehr oder weniger erfolgreich zum Ziel gelangt wären, was unter dem Diskussionspunkt 5.3.3 „Erfolgsfährten in Abhängigkeit von Spurlaufen und Hochwitterung“ auf Seite 170 näher besprochen wird.

Zu 3. (S. 159): Eine andere Möglichkeit ist, dass sich günstige oder ungünstige Witterungsbedingungen bei einem Fährtenalter gehäuft haben und dadurch bessere oder schlechtere Ergebnisse erzielt wurden. Das wiederum könnte in der Summe zu einer Gleichverteilung von Erfolg und Misserfolg auf alle Fährtenalter geführt haben.

So war z. B. auffällig, dass bei manchen Suchen höhere Windgeschwindigkeiten als bei anderen vorlagen. Ungefähr die Hälfte der Tagesfährten, circa ein Viertel der

Wochenfährten und etwas mehr als ein Drittel der Monatsfährten wurden bei Windgeschwindigkeiten  $\geq 12$  km/h (laut Beaufort Skala in Anhang 1, S. 222 = schwache Brise, leichter Wind von 12-19 km/h) gesucht. Das ist insofern interessant, da sich bei  $\geq 12$  km/h Windgeschwindigkeit die Erfolgchancen zu verschlechtern scheinen (siehe auch unter Diskussionspunkt 5.3.5 „Einfluss der Windgeschwindigkeit“, S. 181).

Nach SETTLES (2005) reichen leichte Brisen von 1 m/s (= leiser Zug mit 1-5 km/h) aus, um die freie, aufsteigende Konvektion von Geruchsmolekülen signifikant kippen zu lassen. Bei höheren Windgeschwindigkeiten dominiert die gerichtete, erzwungene Konvektion, die Geruchswolken werden schnell verdünnt und in die Planetarische Grenzschicht abtransportiert, was es selbst erfahrenen Hunden erschwert unter diesen mikroklimatischen Bedingungen Geruch zu lokalisieren (SETTLES, 2005).

Diese Möglichkeit wird als wahrscheinlich angesehen, weshalb ihr in Abschnitt 5.3.5 „Einfluss der Windgeschwindigkeit“ auf Seite 181, unter Berücksichtigung der dokumentierten Windgeschwindigkeiten, gesonderter Diskussionsraum gegeben wird.

Aber auch andere Witterungseinflüsse können sich entsprechend auswirken. Extrem heißes oder kaltes Klima verringert oder stoppt Bakterienwachstum und verringert dadurch die Qualität des Geruchs in der Umwelt. Laut PRADA et al. (2015) wird Geruch unter sehr kalten Bedingungen verschlossen, bis es taut. Außerdem sollen schwebende Geruchpartikel dazu neigen, schneller einzufrieren, was dazu führe, dass Hunde näher am Boden arbeiten.

Während des Untersuchungszeitraumes gab es insbesondere in Bezug auf niedrige Temperaturen eine Auffälligkeit. Ein Hund musste alle Monatsfährten unter sehr kalten Bedingungen mit einem Untergrund aus altem Schnee und Eis sowie ca. 10 cm Neuschnee suchen. Während eine Fährte bei minus 8 °C nicht gefunden wurde (der Hund hatte schon Probleme am Start), wurden die Fährten zu einer späteren Uhrzeit desselben Tages und geringfügig höheren Temperaturen (minus 5 °C bzw. minus 4 °C) erfolgreich und sehr exakt bis zum Ziel verfolgt. Die Fährten am Folgetag wur-

den bei minus 3 °C, minus 2 °C und minus 1 °C gesucht, eine davon nicht gefunden (minus 1 °C), zwei waren erfolgreich, davon eine exakt an der Spur orientiert (minus 2 °C). Beim Legen und im Zeitzwischenraum gab es über mehrere Tage sowohl sehr niedrige Temperaturen (bis minus 8 °C) und Schneefall als auch höhere Temperaturen (bis plus 9 °C).

Diese Beispiele deuten zwar auf die Bestätigung der Aussagen von PRADA et al. (2015) hin und geben Anhalts- und Erklärungspunkte für die Suchen dieses einen Hundes. In Bezug auf die hier vorliegenden Gesamtergebnisse kann man jedoch keine Rückschlüsse auf die Beeinflussung durch Temperatur und Niederschläge ziehen, da es sich nicht nur in diesem Beispiel, sondern insgesamt immer um sehr individuelle Bedingungen bei jeder Suche handelte.

zu 4. (S. 159): Einflüsse des Geländes könnten ebenfalls eine Rolle gespielt haben. Es wurde zwar versucht, eine größtmögliche Standardisierung des Geländes einfließen zu lassen, indem sowohl städtischer als auch natürlicher Untergrund sowie ähnliche Gebiete einbezogen wurden, jedoch gibt es eine ungleiche Verteilung von Natur- und Stadtfährten in den verschiedenen Fährtenaltern (nähere Erläuterungen dazu siehe auch unter 5.3.4 („Erfolg und Misserfolg in Abhängigkeit von der Umgebung“, S. 178).

Eine Auffälligkeit, die nicht unerwähnt bleiben sollte, ist das Vorhandensein von fließenden, aber auch stehenden Gewässern in unmittelbarer Suchumgebung. Vermutlich wurden davon einige Fährten verschiedener Hunde dahingehend beeinflusst, dass sich die Tiere in Richtung der Gewässer und in Strömungsrichtung orientierten. Ein Hund, dessen Start an einem größeren Seekomplex war, bewegte sich nur entlang der Ufergrenze hin und her. Die dazugehörige Fährte führte jedoch im rechten Winkel vom Ufer weg und verlief in einem Steilhang auf die Kuppe des Berges. Nach Abbruch der Versuchssituation wurde der Hund innerhalb des Steilhanges an einer Abzweigung neu angesetzt und hatte erneut Schwierigkeiten, die Fährte aufzufinden. Erst nach einem erneuten Ansatz verfolgte er die Spur bis zum Ziel. Eine ähnliche Situation ergab sich mit einem weiteren Hund. Die Tagesfährte verlief in einem

Waldstück im Abstand von 40 m-120 m parallel zu einem größeren fließenden Gewässer. Sowohl der Start als auch die erste Abzweigung wurden von dem Hund ohne Schwierigkeiten gemeistert (Abstand zum Gewässer ca. 90 m). Das Gelände des Fährtenverlaufs war an dieser Stelle eben. An der Abzweigung, an der die Fährte im rechten Winkel und einem Abstand von ca. 40 m zum Gewässer in einen Steilhang überging, verließ der Hund die Fährte, begab sich an das Flussufer und lief dort in Fließrichtung entlang. In der Nacht hatte es zudem stark geregnet und im Steilhang floss ein kleiner Bach, direkt neben der Fährte verlaufend, in den Fluss. Auch hier wurde der Hund nach Abbruch der Versuchssituation an einer Abzweigung im Steilhang erneut angesetzt und kam zum Erfolg (allerdings nicht exakt entlang der Spur, sondern über Hochwitterung). Und auch der Hund in Abbildung 3 c, S. 113 verpasst den Abzweig des Fährtenverlaufs und begibt sich zu dem kleinen See. Er kommt aber von alleine über Hochwitterung noch zum Ziel, sodass die Fährte als Erfolg über Hochwitterung gewertet wurde. Die beiden anderen Fährten wurden aufgrund des Abbruchs in der vorliegenden Arbeit als Misserfolg gewertet. Neben den hier beschriebenen drei Fährten gibt es im Rahmen der vorliegenden Dissertation noch fünf weitere, bei denen die Hunde in Zusammenhang mit stehendem oder fließendem Gewässer gar nicht oder nur durch Hochwitterung zum Erfolg kamen.

Inwieweit sich diese Geländebesonderheiten jedoch auf das Ergebnis von Erfolg und Misserfolg ausgewirkt hat, bleibt fraglich. Erstens waren es insgesamt zu wenige Fährten, die diese Geländebesonderheit aufwiesen und zweitens sind auch die Suchleistungen der betroffenen Hunde insgesamt sehr unterschiedlich. Eine Aussage zur Beeinflussung von Gewässern auf die hiesigen Ergebnisse ist folglich nicht möglich. Allerdings wäre der Einfluss durch Gewässer im Allgemeinen und in Verbindung mit Steilhängen im Besonderen ein sehr spannendes Thema für weitere Untersuchungen.

Zu 5. (S. 160): SETTLE et al. (1994) weisen auf die starke Abhängigkeit der Ergebnisse von der individuellen Verfassung (z. B. Tagesform) des Hundes hin und auf die daraus folgende Notwendigkeit einer hohen Anzahl Hunde und Wiederholungen. An der vorliegenden Studie haben nur 18 Hunde teilgenommen und es hat auch nicht

jeder Hund gleich viele Fährten absolviert. Hinzu kommt, dass es Hunde gibt, die nur ein Fährtenalter gesucht haben. Dies könnte zwar dadurch ausgeglichen worden sein, dass andere Hunde bestimmte Fährtenalter häufiger gesucht haben, ein direkter Vergleich unter den Fährtenaltern bei jedem einzelnen Hund und auch unter verschiedenen Hunden ist jedoch mangels Datenvollständigkeit nur eingeschränkt bis gar nicht möglich, weshalb auch ein Vergleich der Geruch beeinflussenden Faktoren schwierig ist. Eine Vervollständigung der Fährten der 18 Hunde wäre insofern vielleicht doch noch interessant gewesen.

### 5.3.2 Prozentuale Häufigkeit richtig getroffener Entscheidungen

Anhand der prozentual richtig getroffenen Entscheidungen lässt sich der Fährtenverlauf gut demonstrieren. Die Annahme, dass je mehr Entscheidungen im Fährtenverlauf richtig getroffen werden, es umso wahrscheinlicher ist, dass die Hunde das Ziel erreichen, hat sich bestätigt.

Dennoch führten bei 10 Hunden mit  $\geq 60\%$  richtigen Entscheidungen (davon 5 mit  $\geq 70\%$ ) die Fährten zum Misserfolg.

Ein Grund hierfür könnte die in den Kapiteln 5.2.2 („Hundeführer“, S. 136) und 5.2.5.3 („Verblindung“, S. 149) schon ausführlich diskutierte Beeinflussung durch den Hundeführer sein. Dies soll an dieser Stelle anhand zweier Beispiele noch einmal verdeutlicht werden.

Im Rahmen dieser Studie ist von zwei Fällen bekannt, dass der Hundeführer Einfluss auf den Fährtenverlauf genommen hat. Beide Male haben die Hundeführer gedacht, dass es in eine andere (die falsche) Richtung geht.

In Beispiel eins befand sich das Target an einer stark befahrenen Straße und der Hundeführer hat nach eigenen Angaben geglaubt, dass aus Sicherheitsgründen dies im Rahmen einer Studie nicht sein kann. Kurz vor der letzten Kreuzung (ca. 20 m)



und damit kurz vorm Ziel (ca. 80 m) drehte der Hund, der bis dahin die Spur sehr exakt verfolgt hatte, ab. Er lief bis zur vorherigen Kreuzung zurück, die er erneut einer genauen Prüfung unterzog und sich durch Vor- und Zurücklaufen auf der eigentlichen Spur zu orientieren versuchte, um dann letztlich doch entlang der Spur ans Ziel zu laufen. Diese Fährte wurde aufgrund ihres tatsächlichen Verlaufs unter der Rubrik „durch Hochwitterung ans Ziel gekommen“ eingestuft. Ohne die unbewusste Beeinflussung des Hundeführers wäre es mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit eine Fährte nach Spur mit 100 % richtig getroffenen Entscheidungen geworden. Der Hundeführer sagte in einer Nachbesprechung, dass es ihm fern gelegen hätte, den Hund zu beeinflussen, und dass er glaubte, der Hund hätte aus eigenem Antrieb gedreht.

Dieser Fall wird als eine Bestätigung der von diversen Autoren (KURZ et al., 1996; LASSETER et al., 2003; LIT et al., 2011) beschriebenen Beeinflussung des Hundes durch den Hundeführer sowie als Bestätigung der Fähigkeit von Hunden, subtile, unbewusste Signale des Menschen zu erkennen und darauf zu reagieren (MIKLÓSI et al., 2005; 2007; LIT et al., 2011), gewertet.

Im zweiten Beispiel fand eine bewusste Beeinflussung durch den Hundeführer statt. Die Spur wurde über weite Strecken und mehrere Kreuzungen vom Hund exakt verfolgt. Kurz vor der letzten Kreuzung (17 m) und insgesamt ca. 110 m vor dem Ziel drehte das Tier ab und lief in die entgegengesetzte Richtung, bis die Suche durch die Versuchsleitung beendet wurde. Hier hatte der Hundeführer bewusst eingegriffen, da er glaubte, der Hund wolle zu Passanten laufen. Diese Fährte wurde – aufgrund des Abbruchs – trotz vieler richtig getroffener Entscheidungen als Misserfolg eingestuft.

Die Beeinflussung durch Hundeführer ist somit nicht nur gegeben, wenn es um ein Anzeigeverhalten geht, sondern kann auch schon im Vorfeld durch das (bewusste und unbewusste) Lenken des Hundes in eine bestimmte Richtung geschehen und somit zum Erfolg oder Misserfolg beitragen.

Beide Tiere haben vor der Beeinflussung durch den Hundeführer die Fährte sehr zielstrebig und exakt verfolgt (80 % und 70 % richtig getroffene Entscheidungen).

## Kapitel 5

---

Inwieweit ansonsten Erfolg oder Misserfolg aufgrund der Beeinflussung durch einen Hundeführer stattfand, kann nicht eruiert werden, ist aber als eine mögliche Ursache, zumindest bei den Misserfolgsfährten, die mit einem hohen Prozentsatz richtig getroffener Entscheidungen gesucht wurden, nicht auszuschließen.

Die andere Auffälligkeit war, dass elf Fährten zum Erfolg führten, obwohl die Hunde  $\leq 40\%$  richtige Entscheidungen getroffen hatten.

Hierfür werden mehrere mögliche Begründungen gesehen:

Zum einen die am Ende der Spur stehende Person, in deren frische Witterung das Tier im Verlauf der Fährte gerät. Entweder, nachdem der Hund die eigentliche Spur – aus welchen Gründen auch immer – schon verlassen hatte und durch das Umherlaufen auf der Suche nach Witterung zufällig in den frischen Geruch läuft. Es ist aber auch denkbar, dass ihm, während der Überprüfung eines Kreuzungsarmes, die frische Witterung zugetragen wird. Das kann auch auf der Spur selbst geschehen, die er dann verlässt, um auf schnellstem Weg zum Zielgeruch zu gelangen.

Es könnte zum anderen aber auch wieder eine Beeinflussung durch den Hundeführer eine Erklärung sein, die der von KURZ et al. (1996) und LASSETER et al. (2003) beschriebenen Situation entspricht. Dort wurde das Anzeigeverhalten durch die Hundeführer gefördert, weil sie glaubten, es müsse eine Zielsubstanz vorhanden sein, auch wenn das nicht der Fall war. Übertragen auf die Situation hier könnte das Wissen des Hundeführers über die Existenz einer Person am Ende, also das Wissen darüber, dass immer eine Fährte vorhanden ist, dazu geführt haben, dass ein Loslaufen des Hundes gefördert wurde, obwohl der Hund gar keinen Geruch aufgespürt hat. Durch die Bewegung und die dabei zurückgelegte Entfernung könnte der Hund in die frische Witterung des Targets gekommen und dieser bis zum Ziel gefolgt sein.

Gerade bei den Hunden, die starteten und schon sehr früh Fehlentscheidungen trafen (am Start oder spätestens an der nächsten Abzweigung) und trotzdem zum Ziel kamen, ist diese Erklärung sehr wahrscheinlich.

Nicht zu unterschätzen ist jedoch auch die operante Konditionierung. Die Hunde machen – innerhalb des Trainings oder im Einsatz – die Erfahrung, dass es sich lohnt, bei nicht vorhandenem Geruch oder nach dem Abriss einer Geruchsspur (also aufgrund von Frustration) erst einmal los- bzw. weiterzulaufen. Durch den großen Bewegungsradius kommen sie über Hochwitterung (oder auch durch Zufall) zum Erfolg. Bei aufkommender Frustration in vergleichbaren Situationen zeigen sie dann das gleiche Verhalten. JEZIERSKI et al. (2010) beschreiben dieses Phänomen im Rahmen von Diskriminierungsaufgaben, in denen Frustration aufgrund des fehlenden Zielgeruchs zu falsch positiven Anzeigen führte.

Bei den Hunden, die  $\leq 40\%$  richtige Entscheidungen trafen und dennoch zum Ziel gelangten, kann man davon ausgehen, dass sie nur noch durch Zufall zum Ziel gefunden haben. Bei den Hunden, die  $\geq 70\%$  richtige Entscheidungen trafen, kann dagegen davon ausgegangen werden, dass sie in weiten Teilen die Spur verfolgten, unabhängig davon, ob am Ende Erfolg oder Misserfolg stand. Die Bandbreite von Gründen bei Misserfolg trotz  $\geq 70\%$  richtiger Entscheidungen reicht von Ablenkungen, Beeinflussung durch Hundeführer bis hin zu Gelände- und Witterungseinflüssen.

### 5.3.3 Erfolgsfährten in Abhängigkeit von Spurlaufen und Hochwitterung

*„Er war schon im Begriff, die (...) Veranstaltung zu verlassen, (...) als ihm der Wind etwas zutrug, etwas Winziges, kaum merkliches, ein Bröselchen, ein Duftatom, nein, noch weniger: eher die Ahnung eines Duftes als einen tatsächlichen Duft (...). Der Duft war so ausnehmend zart und fein, dass er ihn nicht festhalten konnte, immer wieder entzog er sich der Wahrnehmung, wurde (...) blockiert (...), zerstückelt, zerrieben von den tausend anderen Gerüchen der Stadt. Aber dann, plötzlich, war er wieder da, ein kleiner Fetzen nur, eine kurze Sekunde lang (...) und verschwand alsbald. (...) Er hatte noch nicht einmal herausgefunden, aus welcher Richtung der Duft überhaupt kam. Alle paar Schritte blieb er stehen (...), roch dann endlich doch etwas, erschnupperte sich den Duft, stärker als zuvor, wusste sich auf der richtigen Fährte (...). Er hatte ihn. Er hielt ihn fest. Wie ein Band kam der Geruch die Rue de Seine herabgezogen, unverwechselbar deutlich (...).“*

(SÜSKIND, 1985)

In Bezug auf die Bewertungssystematik auf Seite 152 wurden Hochwitterung und Spurlaufen schon ausführlich diskutiert.

An dieser Stelle gilt es nun, die Ergebnisse zu diesem Thema zu diskutieren. Darüber hinaus würde es sich lohnen, sie durch weitere Untersuchungen zu verifizieren oder auch zu falsifizieren.

Das Ergebnis, dass unter den Erfolgsfährten nach einem Monat Liegedauer im Vergleich zu den anderen Fährtenaltern höchstsignifikant mehr Fährten über Spursuchen gefunden wurden als über Hochwitterung, hat überrascht.

Einerseits, weil eigentlich erwartet wurde, dass aufgrund der frischeren Spur die Tagesfährten mehr über Spur gefunden werden als die Fährten mit längerer Liegezeit, andererseits, weil zwischen Tages- und Wochenfährten gar kein Unterschied besteht und beide vermehrt über Hochwitterung gefunden wurden.

Deshalb sollen folgende Punkte erörtert werden:

1. Die Person am Ende hat durch frische Witterung zu dem Ergebnis beigetragen.

2. Die Hunde wurden (bewusst oder unbewusst) trainiert, vermehrt nach Hochwitterung suchen. In diesem Fall würde sich das Ergebnis bei Hunden, die mehr nach Hochwitterung suchen, bestätigen, während bei den Hunden, die gelernt haben, sich enger an der Spur zu orientieren, das Ergebnis anders ausfallen dürfte.
3. Beeinflussende Witterungsbedingungen beim Spurenlegen, im zeitlichen Zwischenraum und beim Suchen waren unterschiedlich und haben vermutlich zu diesen Ergebnissen beigetragen. Kontrolluntersuchungen mit anderen Bedingungen müssten demzufolge andere Ergebnisse liefern.
4. Die Monatsfährten wurden häufiger auf natürlichem als auf städtischem Untergrund gesucht, während sich die gesuchten Tages- und Wochenfährten jeweils ungefähr gleich auf Natur und Stadt verteilen. Stadtfährten werden aber hochsignifikant mehr über Hochwitterung gefunden.
5. Noch nicht näher bekannte Umstände der Verteilung und Zersetzung bzw. Freisetzung von Individualgeruch könnten Gründe sein, die sowohl bei den Tages- als auch bei den Wochenfährten so noch nicht zutreffen. In diesem Fall würde sich das Ergebnis bei Kontrolluntersuchungen wiederholen.

Zur besseren Verständlichkeit der oben angesprochenen Diskussionspunkte ist es an dieser Stelle sinnvoll, einige verschiedene Definitionen von Witterung zu formulieren. Es handelt sich dabei um eine von der Autorin vorgenommene Unterteilung, die dem Leser das Verfolgen der Diskussion zum Thema „Erfolgsfährten verschiedener Fährtenalter in Abhängigkeit von Hochwitterung und Spur“ erleichtern soll. Sie helfen zu verstehen, von welcher Art Witterung gerade die Rede ist. Es handelt sich hier allerdings nicht um allgemeingültige Definitionen.

- I. Jeglicher Geruch, den der Hund auf Entfernung wahrnimmt, ist Hochwitterung.
  - a. Frische Hochwitterung des Läufers am Ende der Spur, die dem Hund
    - i. abseits der Spur zugetragen wird, die er dann bis zum Ziel verfolgt und deshalb noch zum Ziel kommt, obwohl er sich gar nicht mehr auf der Spur befindet.
    - ii. auf der Spur zugetragen wird und ihn dazu verleitet, die Spur zu verlassen und sich auf direktem Weg zum Ziel zu begeben.
    - iii. auf der Spur über einen günstigen Geruchskegel zugetragen wird, der ihn entlang der Spur zum Ziel führt.
  - b. Hochwitterung von der jüngeren (also mehr Richtung Ziel liegenden) Spur, die
    - i. der sich abseits der Spur befindende Hund wahrnimmt und sich wieder in Richtung Spur orientiert
    - ii. der sich auf der Spur befindende Hund wahrnimmt und eine Abkürzung wählt.
- II. Witterung, die durch Luftströmungen (Wind) verstreut und von der Spur weggetragen wurde.

Sie wird vom, sich auf der Spur befindenden, Hund wahrgenommen und veranlasst ihn, zwecks Überprüfung, die Spur zu verlassen. Es ist davon auszugehen, dass sich diese Witterung mit zunehmender Entfernung zur Spur in der Konzentration immer mehr verdünnt und den Hund veranlasst zur Fährte zurückzugehen. Im Rahmen der in der vorliegenden Arbeit verwendeten Bewertungssystematik wurde diese Form nur dann als Hochwitterung gesehen, wenn sie zum Misserfolg oder zu einer der anderen Formen von Hochwitterung führte, nicht jedoch, wenn der Hund nach Überprüfung auf dem gleichen

Weg wieder zur Fährte zurückkehrte (siehe auch unter Kapitel Tiere, Material und Methode den Abschnitt 3.7 „Bewertungssystematik“, S. 103 und den Diskussionspunkt 5.2.7 „Bewertungssystematik“, S. 152)

- III. Jeglicher Geruch in der Nähe der Fährte (in der Luft darüber oder in unmittelbarer Nähe) wird hier als Spur bezeichnet, wenngleich sich die Geruchsspuren z. T. deutlich oberhalb des Bodens (also „hoch“) oder seitlich der gelaufenen Linie befinden.<sup>101</sup>

Zu den Diskussionspunkten:

zu 1. (S. 170): Die sich am Ende befindende Person wurde bereits in vorherigen Diskussionsabschnitten ausführlich besprochen, weshalb dieser Punkt hier nur noch ganz konkret auf die Situation der über Spur gefundenen Monatsfährten diskutiert wird. In diesem Fall müsste den Hunden die frische Witterung über einen günstigen Geruchskegel zugetragen worden sein, während sie sich auf der Fährte befanden und sie auf der Spur zum Ziel geleitet haben (Definition Hochwitterung I.a.iii, S. 172). Allerdings müsste dies im Rahmen der Monatsfährten sehr häufig vorgekommen sein, um ein höchstsignifikantes Ergebnis zu produzieren. Dies ist eher unwahrscheinlich. Nur wenige der Monatsfährten entsprechen einem Legemuster, welches zu diesem Szenario passt. Das Wahrnehmen eines frischen Geruchskegels gegen Ende der Fährte kann natürlich nicht ausgeschlossen werden und ist sogar wahrscheinlich, ändert dann aber nichts am Ergebnis, da zuvor getroffene Entscheidungen ohne die frische Witterung zugunsten der Spur getroffen wurden. Der frische Geruch der am Ende stehenden Person wird im Rahmen dieser Arbeit insgesamt als Designfehler betrachtet und mitverantwortlich gemacht für weiter oben diskutierte Ergebnisse in Bezug auf Erfolg und Misserfolg (siehe S. 158). Die Wahrscheinlichkeit, dass dieser Punkt in eben beschriebener Form verantwortlich ist für das höchst-

---

<sup>101</sup> Wenn im Rahmen dieser Dissertation, und auch im Zusammenhang mit Personenspürhunden ganz allgemein, von Spurlaufen gesprochen wird, ist also nicht gemeint, dass der Hund mit der Nase unmittelbar (wenige Millimeter) über der Bodenoberfläche Fußstapfen für Fußstapfen absucht. Stattdessen ist gemeint, dass sich der Hund, am Individualgeruch orientierend, in etwa entlang der vom Target gelegten Strecke bewegt.

signifikante Ergebnis, dass die Monatsfährten mehr über Spur als über Hochwitterung gefunden wurden, wird jedoch eher als sehr gering eingestuft, wenngleich es natürlich nicht ausgeschlossen werden kann.

zu 2. (S. 171): EDGE et al. (2005), CRAVEN & SETTLES (2006), SETTLES (2005; 2007) sowie CRAVEN et al. (2014) zugrunde gelegt, wird der Individualgeruch einer Person (Geruchspartikel wie Hautschuppen, aber auch flüchtige Geruchsmoleküle, etc.), der Körperluftströmung folgend, im Rahmen einer freien Konvektion an den Schultern bzw. dem oberen Torso abgegeben. Bei der sich vorwärts bewegenden Person verändern sich die Strömungsverhältnisse. Es entsteht ein aerodynamischer Sog, den die Person hinter sich herzieht (Nachlaufströmung), bestehend aus unsteten Wirbeln, die sich abwechselnd oben (Schulter und Torso) und unten (Beine) am Körper ablösen. Die sich vorher in der Körperluftströmung befindlichen Bestandteile des Individualgeruchs werden wiederum von dem aerodynamischen Sog mitgerissen. Mit zunehmender Distanz zur sich fortbewegenden Person wird, durch die Nachlaufströmung und die sich darin enthaltenen Rezirkulationsströmungen und Fallwinde, der menschliche Geruch nach unten gedrückt, seitlich aufgespreizt und verteilt.

Hieraus lässt sich folgern, dass, je frischer die Fährte ist, sich umso mehr Komponenten des Individualgeruchs in der Luft und, je älter die Fährte ist, sich umso mehr Komponenten dichter am Boden auf der gelaufenen Spur und seitlich daneben befinden. Je höher sich die Geruchsspuren in der Luft befinden, desto empfindlicher sind sie gegenüber Luftströmungen, so dass auch leichtere Winde das Zerstreuen und Ausbreiten der chemischen Spuren fördern (SETTLES, 2005).

Man kann also die Hypothese aufstellen, dass sich bei den Tagesfährten noch am meisten Geruchspartikel in der Luft befinden, die durch Wind verstreut werden (können). Bei den Wochen- und Monatsfährten träfe das entsprechend weniger zu.

Je nach Ausbildung des Hundes ist der Zielgeruch entweder der Geruch der gelegten Fährte oder der Geruch der am Ende stehenden Person. Aus Gesprächen mit



den Hundeführern ist bekannt, dass alle Tiere, mit Ausnahme eines Hundes, immer mit einer am Ende stehenden Person ausgebildet wurden.

Die Aufgabenstellung stellt einen wichtigen Aspekt im Bereich der Ausbildung dar (SCHOON & HAAK, 2002; JOHNEN et al., 2013; 2014). Nach ihr richtet sich, was der Hund letztlich lernt. Lautet sie: „Suche die Person, die zu dem Geruch gehört, den ich dir präsentiere“ (SCHALKE, 2014), führt das sehr häufig (bewusst oder unbewusst) dazu, dass dem Hund gelehrt wird, Hochwitterung zu suchen, anstatt sich dichter an der Spur zu orientieren. Hinzu kommt bei dieser Form der Aufgabenstellung, dass die Targets in der Regel auch die Belohnung für den Hund bereithalten bzw. der Hund die Belohnung immer beim Fund der Person erhält anstatt auf der Fährte. Durch die enge Verknüpfung zwischen Geruchssinn und Amygdala bekommt die zu suchende Person eine sehr ‚positiv gefärbte emotionale Tönung‘ (NICKEL et al., 1992 b; GASSE, 2010; 2011) und damit einen enorm hohen Stellenwert. Es geht den Hunden in diesem Fall gar nicht darum, die Spur zu suchen. Diese ist sozusagen nur Mittel zum Zweck. Diese Tiere sind zwar in der Regel sehr hoch motiviert, entfernen sich aber auf der Suche nach frischer Witterung der Person auch häufiger von der Spur oder verlassen diese sofort, wenn sie den frischeren Geruch zugetragen bekommen (Definition I.a.ii, S. 172).

Kombiniert mit der Annahme, dass sich bei jüngeren Fährten noch mehr Geruchsspuren in der Luft oberhalb des Bodens befinden, die dort verstärkt dem Umwelteinfluss Wind ausgesetzt sind und mehr verstreut werden, ist davon auszugehen, dass diese Hunde öfter den weggetragenen Geruchsspuren folgen. Wird die Konzentration der Geruchsbestandteile dünner, suchen sie wiederum über Hochwitterung nach mehr Geruchskonzentration. Dies kann sie auf gleichem Weg wieder direkt zur Fährte zurückführen (Definition II, S. 172) oder aufgrund des größeren Bewegungsradius auf einem anderen Weg als sie die Fährte verlassen haben (Definition I.b.i, S. 172). Oder sie stoßen auf die frische Hochwitterung der am Ende stehenden Person (Definition I.a.i, S. 172) und folgen dieser bis zum Ziel.

Setzt man voraus, dass sich mit zunehmendem Fährtenalter weniger bis keine verstreute Geruchsspuren in der Luft befinden, müssten sich die Tiere, um Erfolg zu haben, dichter an der Spur orientieren. Nur dann könnten sie ggf. auf der Bodenfläche abgelagerte, inaktive und erst durch bestimmte Witterungsbedingungen (wie beispielsweise Temperatur, Luftfeuchtigkeit, etc.) „wiederbelebte“ (PRADA et al., 2015) Geruchskomponenten wahrnehmen, sodass sie dann entweder über die Spur zum Erfolg kommen oder eben (mangels ausreichender Geruchsspuren) Misserfolg haben. Die gemachte Beobachtung, dass die meisten Monatsfährten entweder sehr schnell (also schon zum Beginn der Spur) zum Misserfolg führten oder eben über Spursuche erfolgreich gefunden wurden, weist in diese Richtung. Gestützt wird diese These auch durch das Verhalten der Hunde: Sie suchten die erfolgreich absolvierten Monatsfährten mit sehr viel tieferer Nase. Dieses Verhalten beobachteten sowohl die Experimentatorin am Start als auch einige Hundeführer während der Suche selbst.

Allerdings wird dadurch nicht erklärt, warum Tages- und Wochenfährten gleichermaßen über Hochwitterung gefunden werden. Nach obiger Hypothese wäre eher zu erwarten, dass mit zunehmendem Fährtenalter auch zunehmend über die Spur gesucht würde. Die Wochenfährten also häufiger über Spur gefunden würden als die Tagesfährten und die Monatsfährten wiederum mehr als die Wochenfährten.

Da dies jedoch nicht der Fall ist, kann man davon auszugehen, dass bei den Wochenfährten – im Gegensatz zu den Monatsfährten – immer noch genügend Geruchsspuren in der Luft zu finden und durch die Hunde über Hochwitterung zu detektieren sind, sodass sie, ebenso wie bei den Tagesfährten, verstärkt über Hochwitterung zum Erfolg kommen können.

Unterstützt wird die hier beschriebene Hypothese dadurch, dass sich die Misserfolgsfährten auf alle Fährtenalter gleich verteilen und die Monatsfährten offensichtlich entweder nicht gefunden werden (z. B. weil kein Geruch mehr über Hochwitterung oder auch generell aufzuspüren ist) oder eben gefunden, dann aber über die Spur.

zu 3. (S. 171): Eine eingehendere Auseinandersetzung zu diesem Thema wird unter dem Diskussionspunkt 5.3.5 „Einfluss der Windgeschwindigkeit“ auf Seite. 181 ab-

gehandelt. Beeinflussende Witterungsbedingungen sollten nicht als alleiniger Grund gesehen werden, sondern immer zusammen mit anderen beeinflussenden Faktoren. Mit allen hier aufgeführten Erklärungsversuchen sind sie kombinierbar. Die Betrachtung der Aufzeichnungen ergab, dass die Windgeschwindigkeit, die bei der Suche vorherrscht, einen Einfluss darauf haben könnte, ob überhaupt und auch ob über Hochwitterung oder Spur gefunden wird. Auffällig ist, dass bei einer Windgeschwindigkeit  $\leq 11$  km/h ungefähr 87 % aller Monatsfährten, aber nur 66 % der Tagesfährten gesucht wurden. Dagegen scheinen Windgeschwindigkeiten beim Legen der Fährte oder im Zeitraum zwischen Legen und Suchen keinen Einfluss zu haben. Die vorliegenden Daten reichen für eine abschließende Bewertung leider nicht aus, dennoch sollte dieser Aspekt hier nicht unerwähnt bleiben und es würde sich lohnen, ihm weiter nachzugehen.

zu 4. (S. 171): Wie unter dem Punkt 5.3.4 „Erfolg und Misserfolg in Abhängigkeit von der Umgebung“, S. 178, noch genauer diskutiert wird, haben nicht alle 18 teilnehmenden Hunde Stadt- bzw. Naturfährten gesucht. Dies macht sich besonders bei den Monatsfährten bemerkbar, sodass dort erheblich weniger Stadtfährten als Naturfährten gesucht wurden. Da aber Stadtfährten im Vergleich zu Naturfährten signifikant häufiger über Hochwitterung gefunden wurden, könnte man annehmen, dass die fehlende Menge Monatsfährten auf städtischem Untergrund dazu beigetragen hat, dass sie im Gesamtbild sehr viel besser abschneiden als die Tages- und Wochenfährten. Würde sich das Gesamtbild der Monatsfährten dem Gesamtbild der Tages- und Wochenfährten anpassen, wenn mehr Monatsfährten in der Stadt gesucht worden wären? Selbst wenn, es würde nichts daran ändern, dass, nur die Naturfährten betrachtet, die Monatsfährten in Bezug auf das Finden über die Spur signifikant besser abschneiden als die Tages- und Wochenfährten.

zu 5. (S. 171): Hierunter wären, neben den schon erwähnten Windgeschwindigkeiten, die weiteren mikrometeorologischen Bedingungen zu nennen, die von SETTLES

(2005) für das Aufspüren von Landminen beschrieben werden<sup>102</sup>, inklusive der weiter oben schon erläuterten „Wiederbelebung“ (PRADA et al., 2015) abgelagerter, inaktiver Geruchsstoffe bzw. die ebenfalls weiter oben schon beschriebene, verzögerte Freisetzung von flüchtigen Geruchsbestandteilen. Alle sind in ihren Einzelheiten in Bezug auf ihre Auswirkung beim Suchen unter natürlichen Bedingungen noch nicht vollständig erforscht und stellen ein sehr breites Feld dar, das an dieser Stelle nicht näher diskutiert werden kann, aber nicht unerwähnt bleiben darf.

### 5.3.4 Erfolg und Misserfolg in Abhängigkeit von der Umgebung

Das Terrain wird neben Witterungseinflüssen und lokaler bakterieller Flora als eine weitere Variable im Bereich der Personensuche gesehen. Die Topographie des Suchbereichs wirkt sich direkt auf andere Variablen, wie z. B. Temperatur- oder Windfaktor aus (PRADA et al., 2015).

Um verschiedene Terrains abzudecken, wurden in dieser Arbeit Fährten auf natürlichem und auf städtischem Untergrund gesucht.

In beiden Bereichen werden unterschiedliche Formen der Ablenkung und der Auswirkung von Witterungsbedingungen sowie Strömungsverhältnisse gesehen. Im Naturbereich kommt sowohl direkt als auch in Form von Kreuzkontamination hauptsächlich Wild als Ablenkungsquelle vor. Je nach Gebiet trifft das aber auch auf Spaziergänger mit und ohne Hund sowie Fahrradfahrer zu. Im Stadtbereich spielen Kreuzkontaminationen durch Passanten sowie die Passanten selbst eine Rolle, aber auch Essensreste, Lärm, u. ä. (KOLBE & LEHARI, 2013; PRADA et al., 2015).

Im städtischen Bereich werden außerdem als erschwerende Bedingungen Verwirbelungen an Kreuzungen und stark befahrenen Straßen durch Fahrzeuge sowie freie

---

<sup>102</sup> Siehe hierzu Abschnitt 2.3.2.3 „Beeinflussung der Geruchsspuren durch natürliche Bedingungen“, insbesondere den Gliederungspunkt „Zusammenspiel von Wind, Temperatur, Feuchtigkeit und Terrain“ S, 63.

Parkflächen u. ä. genannt, welche aufgrund mangelnder Ablagerungsmöglichkeiten zu einem Geruchsabriss führen und dem Hund das Verfolgen der Spur erschweren können (KOLBE & LEHARI, 2013).

Die Existenzmöglichkeit der lokalen Bakterienflora in Art und Menge sowie die Überlebensmöglichkeiten für die Geruchsspuren selbst, werden in der Natur größer eingestuft als in der Stadt (STOCKHAM et al., 2004 a; PRADA et al., 2015).

Die Naturfährten in der vorliegenden Arbeit waren in größeren Parks, im Wald und in Gebieten direkt am Waldrand gelegt. Es gab neben Bäumen und Büschen auch vielfältige andere Vegetation am Boden und am Wegesrand. Es ist anzunehmen, dass sich hier aufgrund dieses rauen Untergrundes und der reichhaltigen Vegetation mehr Geruch halten kann. Auf der Bodenoberfläche abgelagerte, „inaktive“ Geruchsmoleküle (SETTLES, 2005) können bei steigender Temperatur und Luftfeuchtigkeit auch nach längerer Zeit „wiederbelebt“ (PRADA et al., 2015) werden. Im Gegenzug dazu die städtische Umgebung mit versiegelten Untergründen (Asphalt, Beton, Verbundstein, etc.) mit weitaus weniger Vegetation (begrenzt auf eventuelle Straßenbegrünung und Gärten der Wohnhäuser), vielen bebauten Flächen und befahrenen Straßen und daraus folgenden anderen Luftströmungsverhältnissen. Es ist anzunehmen, dass Geruch unter diesen Bedingungen mehr verstreut und verwirbelt wird und deshalb schwieriger zu detektieren und zu diskriminieren ist.

Dennoch ergab in der vorliegenden Studie ein Vergleich von Natur- und Stadtfährten keinen signifikanten Unterschied zwischen Erfolg und Misserfolg (vgl. Abbildung 15 und Tabelle 6, S. 131). Das ist überraschend, da eigentlich erwartet wurde, dass die Hunde bei den Naturfährten erfolgreicher sind.

Der erste spontane Gedanke für eine Begründung war: In der Summe wurden weniger Stadtfährten als Naturfährten gesucht (absolute Zahlen: 33 zu 49). Es haben zwar alle 18 Hunde Naturfährten absolviert, aber drei Hunde gar keine Stadtfährten. Hinzu kommt, dass auch nicht alle Hunde alle Fährtenalter gesucht haben. Ein direkter Vergleich Natur/Stadt und insbesondere ein Vergleich der drei Fährtenalter in die-

sem Zusammenhang sind deshalb vermutlich gar nicht möglich und das Ergebnis wird verfälscht.

Greift man die Tages- und Wochenfährten heraus<sup>103</sup> und betrachtet jeweils nur die Hunde, die sowohl Natur- als auch Stadtfährten gesucht haben, scheint sich bei den Tagesfährten dieser Gedanke auf den ersten Blick sogar zu bestätigen. Bei gleich viel gesuchten Fährten in Natur und Stadt liegt eine bessere Finderate von 60% auf natürlichem gegenüber 40% auf städtischem Untergrund vor. In der statistischen Berechnung ( $p = 0,18$ ) erweist sich dies jedoch als nicht zutreffend. Man kann noch nicht einmal von einer Tendenz sprechen. Bei den Wochenfährten war bereits bei den absoluten Zahlen zu erkennen, dass es keinen Unterschied gibt, sodass auf eine weitere statistische Auswertung verzichtet wurde.

Bleibt die insgesamt geringe Datenmenge, die als Begründung dienen kann. Es würde sich deshalb lohnen, diesen Aspekt mit mehr Tagesfährten zu überprüfen, um zu sehen, ob der Unterschied signifikant wird oder ob er sich relativiert.

Bei genauerer Überlegung sind jedoch vermutlich andere Gründe für dieses Ergebnis verantwortlich. So wird auch hier wieder die am Ende stehende Person als Erklärung gesehen. Durch die von ihr verströmte frische Witterung könnten die erschwerten Bedingungen in der Stadt in den Hintergrund getreten sein. Die Hunde nehmen die frische Hochwitterung wahr und kommen so – trotz höherer Schwierigkeiten – genauso häufig zum Ziel wie in der Natur.

Bestätigt wird diese Vermutung durch den Vergleich aller Erfolgsfährten in Abhängigkeit von Hochwitterung und Spur. Das Ergebnis zeigt, dass Hunde in der Stadt signifikant häufiger über Hochwitterung zum Ziel kommen als über Spur. Dies deckt sich mit den oben beschriebenen Theorien. Es ist eine logische Konsequenz, dass mangels Ablagerungsfläche eine weitere Verteilung des Geruchs, in Kombination mit vermehrten Geruchsabrissen, für den vermehrten Erfolg über Hochwitterung verant-

---

<sup>103</sup>Mit total 27 Natur- und 28 Stadtfährten bei den Tagesfährten und 26 Natur- und 25 Stadtfährten bei den Wochenfährten lässt sich ein Vergleich durchführen. Bei den Tagesfährten führten 17 Natur- und 12 Stadtfährten zum Erfolg. Bei den Wochenfährten führten 16 Naturfährten und 15 Stadtfährten zum Erfolg. Für die Monatsfährten liegen mit nur zwei Hunden, die beide Untergründe gesucht haben, zu wenige Daten vor.

wortlich ist. Gerade aufgrund der weiteren Streuung von Geruchsspuren, ist es sehr wahrscheinlich, dass die Hunde schneller, und auch mehr, frische Witterung der am Ende stehenden Person zugetragen bekommen – mit allen schon ausführlich besprochenen Konsequenzen wie vorzeitiges Verlassen der Spur, nicht mehr Zurückkehren zur Spur etc. (vgl. Diskussionspunkt 5.3.3 „Erfolgsfährten in Abhängigkeit von Spurlaufen und Hochwitterung“, S. 170).

Umgekehrt kann es sein, dass die Naturfährten im Vergleich Natur/Stadt häufiger über Spur gefunden werden, weil sich auch der frische Geruch mehr in der Vegetation verfängt und die Hunde ihn erst später wahrnehmen. Dagegen spricht wiederum, dass sich innerhalb der Naturfährten das Finden über Hochwitterung und Spur die Waage hält. Auch stellt sich noch die Frage, ob das Ergebnis der Stadtfährten sich dem der Naturfährten angepasst hätte, wenn gleich viele Monatsfährten gesucht worden wären. Ergebnisse an anderer Stelle dieser Arbeit machen deutlich, dass Monatsfährten häufiger über Spur als über Hochwitterung gefunden werden. Im Rahmen dieser Studie wurden jedoch leider nur wenige Monatsfährten in der Stadt gesucht. Es bleibt also offen, wie der Vergleich Natur/Stadt mit mehr Monatsfährten in der Stadt ausgesehen hätte.

Wie auch immer, um aussagekräftigere Antworten geben zu können, wäre es sinnvoll und besonders spannend, mit mehr Monatsfährten zu überprüfen, ob diese in der Stadt ebenfalls signifikant häufiger über Spur gefunden werden. In der Kombination mehr Tagesfährten insgesamt und mehr Monatsfährten in der Stadt könnten obige Aussagen ergänzt und vielleicht auch schon verifiziert oder falsifiziert werden.

### **5.3.5 Einfluss der Windgeschwindigkeit**

Einflussfaktoren wie spezielle Geländestrukturen sowie Witterungseinflüsse stellten in dieser Arbeit einen „Nebenschauplatz“ dar, weshalb keine vollständige Auswertung stattfindet. Dennoch gibt es einige Beobachtungen, die an dieser Stelle erwähnt

und diskutiert werden sollen, insoweit es wahrscheinlich erscheint, dass sie einen bedeutenden Einfluss auf die obigen Ergebnisse haben könnten.

Neben der Umgebung spielen Witterungseinflüsse eine Rolle. Insbesondere der Kombination von Umgebung und Faktor Wind kommt dabei eine Schlüsselrolle zu, da Oberflächen, Vegetation oder Barrieren in der Umgebung darüber entscheiden, wie weit oder auch tief der Wind Hautschuppen und Geruchsdämpfe verteilt (PRADA et al., 2015).

Viele Autoren weisen auf einen Einfluss des Faktors Wind in Bezug auf die Verteilung und Zerstreuung des Individualgeruchs hin und damit auf jede Form von Suchen durch Hunde (SYROTUCK, 1980, ©1972; HARVEY & HARVEY, 2003; SETTLES, 2005; EDGE et al., 2005; CABLK et al., 2008; PRADA et al., 2015).

Der Transport von flüchtigen Geruchsbestandteilen (VOCs) wird direkt bestimmt von der Windgeschwindigkeit und der Windrichtung; Hautschuppen und VOCs, die einmal den Körperluftstrom verlassen haben, bewegen sich über Diffusion und Massentransport fort (PRADA et al., 2015).

Nach diversen Autoren (THESEN et al., 1993; HEPPEL & WELLS, 2005; CABLK et al., 2008; PRADA et al., 2015) bestimmt der Hund anhand der Konzentration des wahrnehmbaren Geruchs die Richtung des Zielgeruchs (wo kommt er her, wo geht er hin).

Je weiter verteilt und zerstreut der Geruch, desto geringer ist die Konzentration und umso schwieriger wird es für den Hund, ihn wahrzunehmen und vor allem, die Richtung zu bestimmen. Je weiter verteilt und zerstreut also der Geruch ist, umso weiter wird sich der Hund von der Spur entfernen und über Hochwitterung arbeiten, um zum Erfolg zu kommen.

Deshalb schien es vor dem Hintergrund der oben beschriebenen und diskutierten Ergebnisse besonders interessant und sinnvoll, sich die Windgeschwindigkeiten bei den Fährten dieser Studie etwas genauer zu betrachten und für die Diskussion heranzuziehen.



Berücksichtigt wurden die Windgeschwindigkeiten während des Legens, während des Suchens und in den Zeitzwischenräumen.

Dabei fällt auf:

1. Bei Windgeschwindigkeiten  $\leq 11$  km/h fanden sich mehr Erfolgs- als Misserfolgsfährten (Verhältnis der absoluten Zahlen: 63:33).
2. a) Bei Windgeschwindigkeiten  $\geq 12$  km/h traten weniger Erfolgs- und mehr Misserfolgsfährten auf (Verhältnis der absoluten Zahlen: 19:30).  
b) Die hier zu findenden Erfolgsfährten traten wiederum in der Mehrzahl im unteren Bereich  $\geq 12$  km/h, aber  $\leq 14$  km/h auf. (absolute Zahl: 12).  
c) Größer 15 km/h gibt es überhaupt nur sieben Erfolgsfährten. Es handelt sich dabei um Tagesfährten, die alle, mit einer Ausnahme, über Hochwitterung gefunden wurden.  
d) Wochen- und Monatsfährten führten  $> 14$  km/h nicht mehr zum Erfolg.
3. Bei Windgeschwindigkeiten  $\leq 11$  km/h wurden  
a) die meisten Spurfährten gefunden (absolute Zahlen: 29 von 34). Von den restlichen fünf wurden vier bei 13/14 km/h gefunden (verteilt auf alle Fährtenalter, drei davon Naturfährten und eine Stadtfährte mit viel Vegetation am Rand), während ein Ausreißer noch bei 18 km/h (Tagesfährte Stadt, Wohngebiet mit vielen Gärten) dicht an der Spur gesucht wurde.  
b) auch die meisten Hochwitterungsfährten gefunden (34 von 48). Die restlichen Hochwitterungsfährten verteilten sich mit acht Fährten auf Windgeschwindigkeiten  $\geq 12 \leq 14$  km/h und sechs Fährten auf  $\geq 20$  km/h, davon zwei  $> 30$  km/h. Alle sechs Fährten, die bei  $\geq 20$  km/h gefunden wurden, sind Tagesfährten. Vier davon sind Naturfährten und zwei sind Stadtfährten mit Vegetation im näheren Umfeld, aber nicht direkt an der Spur.
4. a) Misserfolgsfährten kommen sowohl bei  $\leq 11$  km/h als auch bei  $\geq 12$  km/h vor und verteilen sich etwa hälftig (Verhältnis der absoluten Zahlen: 33:30)

b) Misserfolgsfährten  $\leq 11$  km/h weisen häufig Windspitzen  $> 18$  km/h und bis zu 119 km/h im Zeitraum zwischen Legen und Suchen auf.

5. a) Es werden auch Fährten gefunden, die vor der Suche hohen Windspitzen ausgesetzt waren.

b) Alle Monatsfährten wiesen in den Zwischenräumen Windspitzen zwischen 40 km/h und 119 km/h auf, auch die Erfolgsfährten, die über Spur gesucht wurden.

Aus diesen Beobachtungen kann man festhalten:

Der von anderen Autoren (SYROTUCK, 1980, ©1972; HARVEY & HARVEY, 2003; SETTLES, 2005; EDGE et al., 2005; CABLK et al., 2008; PRADA et al., 2015) beschriebene generelle Einfluss von Windgeschwindigkeiten auf die Suchleistung der Hunde bestätigt sich.

Auch scheint das Gelände dahingehend einen Einfluss zu haben, dass es sich bei den Erfolgsfährten  $\geq 12$  km/h in der Mehrzahl um Naturfährten handelt oder um Stadtfährten, an deren direktem Rand oder aber in der Nähe der Spur (Parallelstraße) viel Vegetation vorhanden war. Letzteres trifft auf zwei Stadtfährten  $> 20$  km/h bzw.  $> 30$  km/h zu. Die Hunde haben sich dabei entlang der Naturflächen bewegt, nicht entlang der Straße, in der die Spur gelegt war.

Dadurch, dass Hunde bis zu 2 m vom Boden entfernt arbeiten, stören auch leichtere Winde das Riechen durch Zerstreuen der chemischen Spuren (SETTLES, 2005). Innerhalb der vorliegenden Studie verringerte sich die Chance auf Erfolg bei Windinflüssen  $> 11$  km/h und ist für Wochen- und Monatsfährten  $\geq 15$  km/h gleich Null. Das ist für uns Menschen nicht viel: Nach Beaufort-Skala (siehe Anhang 1, S. 222) sind Windgeschwindigkeiten zwischen 0 km/h und 11 km/h gekennzeichnet durch Windstille bis zu einer leichten Brise, bei der der Wind im Gesicht spürbar ist und sich Blätter und Windfahnen bewegen, während sich zwischen 12 km/h und 19 km/h dünne Zweige bewegen und Windwipfel strecken. Von stürmischem Wind wird ab

einer Windgeschwindigkeit > 60 km/h, von einem Sturm > 75 km/h und von einem Orkan gar erst > 118 km/h Windgeschwindigkeit gesprochen.

Tagesfährten können anscheinend auch bei höheren Windgeschwindigkeiten während der Suche noch zum Erfolg führen. Dies ist aber nur über Hochwitterung und nur unter bestimmten Geländebedingungen (viel Vegetation) möglich.

Windgeschwindigkeiten während des Legens und auch im Zeitraum zwischen dem Legen und Suchen, scheinen keinen oder nur einen geringen Einfluss auf Erfolg oder Misserfolg zu haben, da auch Fährten gefunden wurden, die vor der Suche einem Orkan ausgesetzt waren. Das deckt sich mit den Beobachtungen von HARVEY & HARVEY (2003).

Deshalb war es interessant sich anzuschauen, inwieweit Tagesfährten bzw. Wochenfährten während der Suche ggf. höheren Windgeschwindigkeiten ausgesetzt waren als die Monatsfährten. In Bezug auf die Erfolgswährten kann man festhalten, dass fast alle Monatsfährten (ca. 87 %) bei  $\leq 11$  km/h gesucht wurden, während es bei den Tagesfährten nur ca. 67 % waren. Da jedoch die Wochenfährten (ca. 81 %), im Vergleich zu Monatsfährten, ähnlich viele Erfolgswährten bei den niedrigeren Windgeschwindigkeiten aufweisen, kann hier aufgrund der relativ wenigen Daten kein direkter Rückschluss gezogen werden.

Es wäre aber lohnenswert zu überprüfen, ob sich die Abhängigkeiten mit mehr gesuchten Fährten verdeutlichen oder anpassen und inwieweit sich andere Geländestrukturen oder Witterungseinflüsse wie z. B. starker Regen, steile Gelände, stehende oder fließende Gewässer in Kombination mit Windverhältnissen auswirken. Die in dieser Studie dazu aufgezeichneten Daten liefern nicht genügend Material, um dem nachzugehen, da es zu wenige Fährten gab, die in dieser Hinsicht ähnlichen Bedingungen ausgesetzt waren.

### 5.4 Schlussfolgerung

Wie auch schon PRADA & FURTON (2008), kommt diese Studie zu dem Schluss, dass der Einsatz von Suchhunden extrem sinnvoll sein kann – trotz potentieller Probleme bei der Zuverlässigkeit für die Diskriminierung und Zuordnung menschlichen Geruchs als Beweismittel. Voraussetzung sind aber ein entsprechendes Training und Erfahrung (sowohl vom Hund als auch vom Hundeführer).

Diese Studie hat gezeigt, dass Hunde in der Lage sind, bis zu einen Monat alte Fährten aufzuspüren, zu verfolgen und zuzuordnen. Es ist jedoch zu beachten, dass die grundsätzliche Präzisionsfähigkeit und Treffsicherheit von vielen weiteren Faktoren abhängt und damit die tatsächliche Fehlerrate variabel ist (PRADA & FURTON, 2008).

Deshalb ist eine wissenschaftliche Herangehensweise an die odorologische Leistungsfähigkeit von Hunden insbesondere im Zusammenhang mit den die Leistung beeinflussenden vielfältigen Faktoren dringend von Nöten.

Die vorliegende Arbeit bietet erste Ergebnisse im Rahmen der Ausarbeitung von Fährten durch Hunde unter natürlichen Bedingungen im Zusammenhang mit einer gealterten Geruchsspur.

Gewonnene Erkenntnisse und aufgestellte Hypothesen sollten jedoch aufgrund des Studiendesigns hinterfragt und in weiteren Untersuchungen verifiziert oder falsifiziert werden.

Möglich Fragestellungen, die sich aus der vorliegenden Arbeit ergeben, wären z. B.:

Werden Tages- und Wochenfährten tatsächlich mehr über Hochwitterung gefunden als Monatsfährten bzw. im Umkehrschluss: Werden Monatsfährten wirklich signifikant häufiger über Spursuche gefunden?

Werden Stadtfährten signifikant häufiger über Hochwitterung gefunden als Naturfährten bzw. im Umkehrschluss: Werden Naturfährten signifikant häufiger über Spürsuchen gefunden als Stadtfährten?

Werden Stadt- und/oder Naturfährten mit zunehmendem Alter mehr über Spürsuche gefunden?

Wie und in welchen Abhängigkeiten wird die Suchleistung von der Windgeschwindigkeit beeinflusst?

Dabei sollten folgende Faktoren berücksichtigt werden:

Der Fährtenleger sollte während der Suche nicht am Ende der Fährte stehen. Eine zuverlässige und aussagekräftige Bewertung ist dann nicht möglich. Stattdessen werden Alternativen wie Gegenstände oder Farbmarkierungen am Fährtenende oder auch gar keine Hinweise empfohlen.

Für eindeutige Ergebnisse müssen die Fährtenalter weiter aufgeschlüsselt oder/und weiter auseinander gewählt werden, z. B. ein Tag, eine Woche, ein Monat, anderthalb, drei und sechs Monate.

Für aussagekräftigere Ergebnisse und bessere Vergleichbarkeit müssen entweder mehr Hunde an den Start oder deutlich mehr Fährten gesucht werden. Die Kombination aus weniger Hunden mit gleicher Ausbildung und dafür mehr gesuchten Fährten, bei denen jeder Hund jede Aufgabenstellung absolviert, ist aus Sicht der Autorin am sinnvollsten. So kann auch der logistische Aufwand in Verbindung mit festen Versuchszeiten und Örtlichkeiten klein genug gehalten werden.

Um der hier und in anderen Untersuchungen (KURZ et al., 1996; LASSETER et al., 2003; LIT et al., 2011) nachgewiesenen (bewussten und vor allem unbewussten) Beeinflussung des Hundes durch den Hundeführer oder andere Personen vorzubeugen, sollte der „Verblindung“ ein noch größerer Stellenwert eingeräumt werden. Es reicht nicht, dass der Fährtenverlauf unbekannt ist. Es ist sinnvoll jegliche Informationen über die Fährte (Verlauf, Länge, Alter, etc.) vorzuenthalten. Selbst die Überle-

gung, die Beteiligten darüber im Unklaren zu belassen, ob überhaupt eine Fährte gelegt wurde, ist zu bedenken.

Die erfolgreiche Suche bis zum Ziel ist abhängig von den richtig getroffenen Entscheidungen. Der Erfolg einer Suche sollte deshalb nicht allein durch das Ankommen am Ziel bemessen werden, sondern immer auch an den richtig getroffenen Entscheidungen, um den Fährtenverlauf besser analysieren zu können. Unterstützend sollten außerdem Videoaufnahmen eingesetzt werden, um das Verhalten der Hunde während der Suche besser beurteilen zu können.

Sowohl bei Tages- als auch bei Wochenfährten befinden sich anscheinend noch viele Geruchsspuren in der Luft, die für den Hund über Hochwitterung detektierbar sind. Bei den Monatsfährten dagegen muss sich der Hund mehr an der Spur orientieren, um erfolgreich zu sein. Monatsfährten, die über Hochwitterung gesucht werden, kommen weniger häufig zum Erfolg. Ein Hinweis darauf ist, dass die Hunde, die die Monatsfährten erfolgreich absolvierten, mit tieferer Nase suchten.

Windgeschwindigkeiten beeinflussen die Suchleistung des Hundes, es kommt dabei aber auf die Windverhältnisse während der Suche an. Windverhältnisse im Vorfeld der Suche scheinen dagegen weniger Bedeutung zu haben. Das deckt sich auch mit den Ergebnissen von HARVEY & HARVEY (2003).

Es sieht so aus, als seien Suchen bei Windgeschwindigkeiten größer 11 km/h weniger erfolgreich. Es ist deshalb überlegenswert, mit einer Suche zu warten, bis günstigere Windbedingungen vorliegen ( $\leq 11$  km/h).

Im Rahmen des Trainings bedeutet das, die Windgeschwindigkeiten mehr zu berücksichtigen, um mögliche Fehlverknüpfungen durch Erfolg über Hochwitterung zu vermeiden.

Die Ergebnisse zeigen: Alle hier untersuchten Fährtenalter können durch Hunde gefunden werden. Tagesfährten können über Hochwitterung sogar auch noch bei höheren Windgeschwindigkeiten zum Erfolg führen.

Hochwitterung stellt aber auch ein erhöhtes Risiko dar. Hunde, die für diese Art der Arbeit gelernt haben, über Hochwitterung zu suchen, orientieren sich weniger an der eigentlichen Spur. Das Risiko für den Misserfolg steigt. Aus den Ergebnissen dieser Arbeit wird die Hypothese aufgestellt, dass bei fehlender Person am Ende, weniger Hunde zum Erfolg gekommen wären. Das trifft besonders auf die Fährten zu, die als „über Hochwitterung gelöst“ eingestuft wurden.

Die wohl wichtigste Erkenntnis aus der vorliegenden Untersuchung ist deshalb, dass sich die Ausbildung verändern muss. Um eine zuverlässigere Suchleistung und auch weniger Beeinträchtigung durch Windeinflüsse zu erhalten, ist es sinnvoll, die Ausbildung der Hunde über alle Fährtenalter mehr an der Spur statt an der Hochwitterung auszurichten. Die Aufgabenstellung, sowohl in der Ausbildung als auch im aufrechterhaltenden Training, muss lauten: „Finde und verfolge die Spur, die zu dem Geruch passt, den ich dir zeige.“, anstatt „Finde die Person, die zu dem Geruch passt.“ (SCHALKE, 2014). Gerade im forensischen Einsatz sollte diesem Aspekt Beachtung geschenkt werden.

Ein wichtiger Punkt im Rahmen des Trainings wäre dann, den Hund nicht über Hochwitterung zum Erfolg kommen zu lassen. Das erfordert eine exakte Planung und ein kleinschrittiges Vorgehen im Übungsaufbau.





## **6 Zusammenfassung**

In dieser Arbeit wurde die Fähigkeit von Personenspürhunden untersucht, eine unter natürlichen Bedingungen gealterte menschliche Geruchsspur aufzuspüren und bis zur Geruchsquelle zu verfolgen. Insgesamt 18 einsatzfähige Hunde unterschiedlicher Rasse haben zusammen 145 Fährten unterschiedlichen Alters in zwei verschiedenen Umgebungen (Natur und Stadt) gesucht. Es handelte sich um 63 Tages-, 54 Wochen- und 28 Monatsfährten. Der Verlauf der Spur war weder dem Hundeführer noch anderen sich mit auf der Fährte befindenden Personen bekannt. Sowohl während des Fährtenlegens als auch während der Suche wurde der jeweilige Verlauf per GPS aufgezeichnet und die Witterungsbedingungen als auch besondere Vorkommnisse über den gesamten Zeitraum hinweg notiert.

Anhand der aufgezeichneten Daten konnten sowohl Erfolg und Misserfolg als auch die vom Hund getroffenen Entscheidungen in Kreuzungsbereichen ausgewertet und damit der Suchverlauf betrachtet werden. Darüber hinaus fand ein Vergleich der unterschiedlichen Fährtenalter und der verschiedenen Untergründe statt.

Von den insgesamt 145 Fährten wurden 82 gefunden und 63 nicht gefunden. Dieses 60:40 Verhältnis zeigt sich auch in jedem der drei verschiedenen Fährtenalter. Es liegt demnach kein signifikanter Unterschied bezüglich Erfolg oder Misserfolg vor.

## Kapitel 6

---

Je mehr richtige Entscheidungen der Hund im Verlauf der Suche getroffen hat, desto erfolgreicher war er. Bei ca. einem Viertel der gesamten Fährten wurden zu 100 % richtige Entscheidungen getroffen und alles in allem ca. ein Drittel der gefundenen Fährten weisen  $\geq 70$  % richtig getroffene Entscheidungen auf. Es gab jedoch auch einige Fälle, in denen eine hohe Anzahl richtig getroffener Entscheidungen nicht zum Ziel führten und umgekehrt, also wenig richtige Entscheidungen, die trotzdem Erfolg brachten, was vermuten lässt, dass die Hunde hier mehr über Hochwitterung gesucht haben.

Beim Vergleich der Erfolgsfährten zeigt sich, dass die Hunde sowohl bei den Tages- als auch bei den Wochenfährten mehr über Hochwitterung zum Erfolg kommen, wobei zwischen diesen beiden Fährtenaltern kein signifikanter Unterschied besteht. Die Monatsfährten dagegen werden häufiger über das enge Suchen an der Spur gefunden und unterschieden sich darin höchst signifikant von den Tages- und Wochenfährten.

Bezüglich des Untergrundes gibt es keinen signifikanten Unterschied zwischen Erfolg bzw. Misserfolg und Hochwitterung bzw. dem engen Arbeiten an der Spur. Sowohl in der Natur als auch in der Stadt werden die Fährten erfolgreich über Hochwitterung und auch über Spurlaufen gesucht, jedoch werden in der Stadt hochsignifikant mehr Fährten über Hochwitterung gefunden.

Die Ergebnisse zeigen, dass Hunde grundsätzlich in der Lage sind, alle hier untersuchten Fährtenalter erfolgreich zu suchen. Je exakter sie sich dabei an der Spur orientieren, desto erfolgreicher sind sie dabei, während das Suchen über Hochwitterung das Risiko des Misserfolgs birgt. Ein wichtiges Ziel für die Ausbildung sollte deshalb sein, dem Hund über die Veränderung der Aufgabenstellung („Finde die Spur, die zu diesem Muster passt“ anstatt „Finde die Person, die zu diesem Muster passt.“) das engere Arbeiten an der Spur zu vermitteln. Für ähnliche, zukünftige Studien wird jedoch empfohlen, entweder keine Person am Ende der Fährte zu haben oder aber die Strecke der Fährte sehr viel länger zu gestalten, wobei die fehlende Person am Ende zu bevorzugen ist.

## **7 Summary**

The aim of this study was to assess the ability of special trained dogs to detect human scent tracks, aged under natural conditions, and track these to their respective source.

A total of 18 operational dogs of different breeds took part in this study, and a number of 145 tracks of varying age and in two different environments (rural and urban) were laid out. Of the tracks, 63 were one day, 54 were one week, and 28 were one month old. Neither dog handler nor any person accompanying dog and handler while trailing knew the course of the tracks. The routes of track layer and dog-handler team were recorded using a GPS device. In addition, weather conditions and any outstanding events were recorded over the period of the study.

By means of the recordings, successes (source of track found) and failures (source of track not found) as well as the dogs' decisions at intersections were evaluated, allowing an examination of the trailing process in general. In addition, analyses were conducted separately for the varying ages of the tracks and the different environments.

Of the total number of 145 tracks, 82 tracks were classified as success, and 63 tracks were scored as failure. The ratio of 60:40 was also found when examining

each of the three different ages of the tracks separately. A significant difference concerning the ratio of successes to failures when comparing the three different ages of the tracks was not detected.

In general, the more correct decisions a dog made while trailing, the more often was he scored successful. For approximately 25 % of all tracks/trails, all decisions the dogs made (100 %) were correct and the track was scored as success. For another approximately 35 % of all tracks,  $\geq 70$  % decisions by the dogs were correct and the trail scored a success. However, in some cases despite a high number of correct decisions the trails were scored as failure or vice versa (small number of correct decisions and trail scored as success). The latter findings lead to the hypothesis that in these cases the dogs employed air scenting techniques.

Comparing the trails scored as success, the following results were found: Concerning both one day and one week old trails, the dogs were observed to detect the source of the trails by air scenting rather than by trailing closely to the track layers' route. No significant difference between one day and one week old trails was found. Concerning one month old trails, the dogs were observed to detect the source of the trails by trailing closely to the track layers' route rather than by air scenting. A highly significant difference was found when comparing one month old trails with both one day and one week old trails.

Concerning the different environments, no significant difference was found for trails scored as success or failure. In rural as well as in urban environments, the dogs were able to find the track layer by air scenting and by trailing, but in the rural environment the dogs reach their trail layer highly significant more by air scenting. The study has already demonstrated that dogs are capable to run all of the tested aged trails. The more the dogs search closely to the track layers' route, the more successful they are, whereas air scenting techniques hold an increased risk of a failure. Therefore, an important aim when training human-scent-trailing-dogs should be to teach the dogs to trail closely to the trail layers' route. A means of achieving this aim might be to adapt the definition of the dog's task ("Find the trail that matches the odour sample."

instead of “Find the person that matches the odour sample.”). Additionally, in further similar studies either the trail layer should not be at the end of the trail or the distance of the trail should be considerably increased, the first of which should be the preferred option.



---

# Literaturverzeichnis

**Axel, R.** (2005). Geruch und Empfindung. Eine molekulare Logik der olfaktorischen Wahrnehmung (Nobel-Vortrag). *Angewandte Chemie*, 117(38), 6264–6282, doi: [10.1002/ange.200501726](https://doi.org/10.1002/ange.200501726).

**Bear, M. F., Connors, B. W. & Paradiso, M. A.** (2009). *Neurowissenschaften. Ein grundlegendes Lehrbuch für Biologie, Medizin und Psychologie*. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.

**Bierce, A. G.** (o.J., a). zitiert nach:

[http://www.aphorismen.de/suche?f\\_thema=Gesicht&f\\_autor=648\\_Ambrose+Gwinnett+Bierce](http://www.aphorismen.de/suche?f_thema=Gesicht&f_autor=648_Ambrose+Gwinnett+Bierce), zuletzt aufgerufen am 23. August 2015.

**Bierce, A. G.** (o.J., b). zitiert nach: <http://www.aphorismen.de/zitat/11144>, zuletzt aufgerufen am 23. August 2015.

**Bonhoeffer, D.** (1943). Brief an Karl und Paula Bonhoeffer, 13. September 1943, zitiert nach:

[http://www.gutzitiert.de/zitat\\_autor\\_dietrich\\_bonhoeffer\\_thema\\_dankbarkeit\\_zitat\\_27060.html](http://www.gutzitiert.de/zitat_autor_dietrich_bonhoeffer_thema_dankbarkeit_zitat_27060.html), zuletzt aufgerufen am 23. August 2015.

**Brisbin, I. L. & Austad, S. N.** (1991). Testing the individual odour theory of canine olfaction. *Animal Behaviour*, 42(1), 63–69, doi: [10.1016/S0003-3472\(05\)80606-2](https://doi.org/10.1016/S0003-3472(05)80606-2).

**Brown, R. E.** (1995). What is the role of the immune system in determining individually distinct body odours? *International journal of immunopharmacology*, 17(8), 655–661, doi: [10.1016/0192-0561\(95\)00052-4](https://doi.org/10.1016/0192-0561(95)00052-4).

**Browne, C., Stafford, K. & Fordham, R.** (2006). The use of scent-detection dogs. *Irish Veterinary Journal*, 59(2), 97–104.

**Buck, L. B.** (1996). Information coding in the vertebrate olfactory system. *Annual review of neuroscience*, 19, 517–544, doi: [10.1146/annurev.ne.19.030196.002505](https://doi.org/10.1146/annurev.ne.19.030196.002505).

**Buck, L. B.** (2005). Die Aufklärung des Geruchssinns (Nobel-Vortrag). *Angewandte Chemie*, 117(38), 6283–6296, doi: [10.1002/ange.200501120](https://doi.org/10.1002/ange.200501120).

**Buck, L. B., Bargmann, C. I.** (2013). Smell and Taste: The Chemical Sense. In Kandel, Eric R., Schwartz, James H., T. M. Jessell, S. A. Siegelbaum & A. J. Hudspeth (Hrsg.), *Principles of neural science*, 5th ed. (S. 712–735). New York: McGraw-Hill.

**Cablk, M. E. & Sagebiel, J. C.** (2011). Field capability of dogs to locate individual human teeth. *Journal of forensic sciences*, 56(4), 1018–1024, doi: [10.1111/j.1556-4029.2011.01785.x](https://doi.org/10.1111/j.1556-4029.2011.01785.x).

**Cablk, M. E., Sagebiel, J. C., Heaton, J. S. & Valentin, C.** (2008). Olfaction-based Detection Distance: A Quantitative Analysis of How Far Away Dogs Recognize Tortoise Odor and Follow It to Source. *Sensors*, 8(4), 2208–2222, doi: [10.3390/s8042208](https://doi.org/10.3390/s8042208).

**Caras, R.** (o.J.). zitiert nach: Fine, Aubrey H.; Eisen, Cynthia J., *Afternoons with Puppy, Inspirations from a therapist and his animals*, West Lafayette, Ind., Purdue University Press, 2008.

**Caras, R. A.** (1993, ©1992). *A dog is listening. The way some of our closest friends view us*. New York: Simon & Schuster.

**Cooper, R., Wang, C. & Singh, N.** (2014). Accuracy of Trained Canines for Detecting Bed Bugs (Hemiptera Cimicidae). *Journal of Economic Entomology*, 107(6), 2171–2181, doi: [10.1603/EC14195](https://doi.org/10.1603/EC14195).

**Costello, E. K., Lauber, C. L., Hamady, M., Fierer, N., Gordon, J. I. & Knight, R.** (2009). Bacterial community variation in human body habitats across space and time. *Science (New York, N. Y.)*, 326(5960), 1694–1697, doi: [10.1126/science.1177486](https://doi.org/10.1126/science.1177486).

**Craven, B. A., Hargather, M. J., Volpe, J. A., Frymire, S. P. & Settles, G. S.** (2014). Design of a High-Throughput Chemical Trace Detection Portal That Samples the Aerodynamic Wake of a Walking Person. *IEEE Sensors Journal*, 14(6), 1852–1866, doi: [10.1109/JSEN.2014.2304538](https://doi.org/10.1109/JSEN.2014.2304538).



- Craven, B. A., Neuberger, T., Paterson, E. G., Webb, A. G., Josephson, E. M., Morrison, E. E. & Settles, G. S.** (2007). Reconstruction and morphometric analysis of the nasal airway of the dog (*Canis familiaris*) and implications regarding olfactory airflow. *Anatomical record (Hoboken, N.J. : 2007)*, 290(11), 1325–1340, doi: [10.1002/ar.20592](https://doi.org/10.1002/ar.20592).
- Craven, B. A., Paterson, E. G. & Settles, G. S.** (2010). The fluid dynamics of canine olfaction: unique nasal airflow patterns as an explanation of macrosmia. *Journal of the Royal Society, Interface / the Royal Society*, 7(47), 933–943, doi: [10.1098/rsif.2009.0490](https://doi.org/10.1098/rsif.2009.0490).
- Craven, B. A., Paterson, E. G., Settles, G. S. & Lawson, M. J.** (2009). Development and verification of a high-fidelity computational fluid dynamics model of canine nasal airflow. *Journal of biomechanical engineering*, 131(9), 91002 (11 Seiten), doi: [10.1115/1.3148202](https://doi.org/10.1115/1.3148202).
- Craven, B. A. & Settles, G. S.** (2006). A Computational and Experimental Investigation of the Human Thermal Plume. *Journal of Fluids Engineering*, 128(6), 1251–1258, doi: [10.1115/1.2353274](https://doi.org/10.1115/1.2353274).
- Curran, A. M., Prada, P. A. & Furton, K. G.** (2010 a). Canine human scent identifications with post-blast debris collected from improvised explosive devices. *Forensic science international*, 199(1-3), 103–108, doi: [10.1016/j.forsciint.2010.03.021](https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2010.03.021).
- Curran, A. M., Prada, P. A. & Furton, K. G.** (2010 b). The differentiation of the volatile organic signatures of individuals through SPME-GC/MS of characteristic human scent compounds. *Journal of forensic sciences*, 55(1), 50–57, doi: [10.1111/j.1556-4029.2009.01236.x](https://doi.org/10.1111/j.1556-4029.2009.01236.x).
- Curran, A. M., Prada, P. A., Schoon, A. A., Almirall, J. R. & Furton, K. G.** (2005 a). Human scent as a biometric measurement. In A. K. Jain & N. K. Ratha (Hrsg.), *Defense and Security* (S. 398–408): SPIE.

**Curran, A. M., Rabin, S. I. & Furton, K. G.** (2005 b). Analysis of the Uniqueness and Persistence of Human Scent. *Forensic Science Communications*, 7(2), (10 Seiten), [https://www.fbi.gov/about-us/lab/forensic-science-communications/fsc/april2005/index.htm/research/2005\\_04\\_research02.htm](https://www.fbi.gov/about-us/lab/forensic-science-communications/fsc/april2005/index.htm/research/2005_04_research02.htm), zuletzt aufgerufen am 15. August 2015.

**Curran, A. M., Rabin, S. I., Prada, P. A. & Furton, K. G.** (2005 c). Comparison of the Volatile Organic Compounds Present in Human Odor Using Spme-GC/MS. *Journal of Chemical Ecology*, 31(7), 1607–1619, doi: [10.1007/s10886-005-5801-4](https://doi.org/10.1007/s10886-005-5801-4).

**Curran, A. M., Rabin, S. I., Prada, P. A. & Furton, K. G.** (2006). On the Definition and Measurement of Human Scent: Response by Curran et al. *Journal of Chemical Ecology*, 32(8), 1617–1623, doi: [10.1007/s10886-006-9096-x](https://doi.org/10.1007/s10886-006-9096-x).

**Curran, A. M., Ramirez, C. F., Schoon, A. A. & Furton, K. G.** (2007). The frequency of occurrence and discriminatory power of compounds found in human scent across a population determined by SPME-GC/MS. *Journal of chromatography. B, Analytical technologies in the biomedical and life sciences*, 846(1-2), 86–97, doi: [10.1016/j.jchromb.2006.08.039](https://doi.org/10.1016/j.jchromb.2006.08.039).

**DeGreeff, L. E., Curran, A. M. & Furton, K. G.** (2011). Evaluation of selected sorbent materials for the collection of volatile organic compounds related to human scent using non-contact sampling mode. *Forensic science international*, 209(1-3), 133–142, doi: [10.1016/j.forsciint.2011.01.010](https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2011.01.010).

**DeGreeff, L. E. & Furton, K. G.** (2011). Collection and identification of human remains volatiles by non-contact, dynamic airflow sampling and SPME-GC/MS using various sorbent materials. *Analytical and bioanalytical chemistry*, 401(4), 1295–1307, doi: [10.1007/s00216-011-5167-0](https://doi.org/10.1007/s00216-011-5167-0).

**DeGreeff, L. E., Weakley-Jones, B. & Furton, K. G.** (2012). Creation of training aids for human remains detection canines utilizing a non-contact, dynamic airflow volatile concentration technique. *Forensic science international*, 217(1-3), 32–38, doi: [10.1016/j.forsciint.2011.09.023](https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2011.09.023).

**Deutscher Wetterdienst** (2015 a). Wetterlexikon <http://www.deutscher-wetterdienst.de/lexikon/index.htm?ID=B&DAT=Beaufort-Skala>, zuletzt aufgerufen am 27. Juli 2015.

**Deutscher Wetterdienst** (2015 b). Wetterlexikon [http://www.deutscher-wetterdienst.de/lexikon/index.htm?ID=P&DAT=Planetarische Grenzschicht](http://www.deutscher-wetterdienst.de/lexikon/index.htm?ID=P&DAT=Planetarische%20Grenzschicht), zuletzt aufgerufen am 12. Juni 2015.

**Deutsches Sprichwort** (o.J.). zitiert nach: <http://www.aphorismen.de/zitat/11144>, zuletzt aufgerufen am 23. August 2015.

**Dormont, L., Bessière, J.-M. & Cohuet, A.** (2013). Human skin volatiles: a review. *Journal of Chemical Ecology*, 39(5), 569–578, doi: [10.1007/s10886-013-0286-z](https://doi.org/10.1007/s10886-013-0286-z).

**Doyle, C.** (1970). The secret cloud that surrounds us. *Fam Health*, 32(5), 33-35, zitiert nach: Curran, A. M., Rabin, S. I. & Furton, K. G. (2005 b). Analysis of the Uniqueness and Persistence of Human Scent. *Forensic Science Communications*, 7(2).

**Dudenredaktion** (Hrsg.) (2011). *Duden. Deutsches Universalwörterbuch*. Mannheim-Zürich: Duden.

**Edge, B. A., Paterson, E. G. & Settles, G. S.** (2005). Computational Study of the Wake and Contaminant Transport of a Walking Human. *Journal of Fluids Engineering*, 127(5), 967-977, doi: [10.1115/1.2013291](https://doi.org/10.1115/1.2013291).

**Eggert, F., Luszyk, D., Haberkorn, K., Wobst, B., Vostrowski, O., Westphal, E., Bestmann, H. J., Müller-Ruchholtz, W. & Ferstel, R.** (1998). The major histocompatibility complex and the chemosensory signalling of individuality in humans. *Genetica*, 104(3), 265–273, doi: [10.1023/A:1026431303879](https://doi.org/10.1023/A:1026431303879).

- Eggert, F., Müller-Ruchholtz, W. & Ferstl, R.** (1999). Olfactory cues associated with the major histocompatibility complex. *Genetica*, 104(3), 191–197, doi: [10.1023/A:1026402531196](https://doi.org/10.1023/A:1026402531196).
- Ensminger, J. J.** (2012). *Police and military dogs. Criminal detection, forensic evidence, and judicial admissibility*. Boca Raton: CRC Press.
- Ensminger, J. J., Jezierski, T. & McCulloch, M.** (2010). Scent Identification in Criminal Investigations and Prosecutions: New Protocol Designs Improve Forensic Reliability. *SSRN Electronic Journal*, doi: [10.2139/ssrn.1664766](https://doi.org/10.2139/ssrn.1664766).
- Fenton, V.** (1992). The use of dogs in search, rescue and recovery. *Journal of Wilderness Medicine*, 3(3), 292–300, doi: [10.1580/0953-9859-3.3.292](https://doi.org/10.1580/0953-9859-3.3.292).
- Ferstl, R., Eggert, F., Westphal, E., Zavazava, N. & Müller-Ruchholtz, W.** (1992). MHC-Related Odors in Humans. In R. L. Doty & D. Müller-Schwarze (Hrsg.), *Chemical signals in vertebrates 6* (S. 205–211). New York: Springer Science+Business Media.
- Fischer-Tenhagen, C., Johnen, D., Le Danvic, C., Gatién, J., Salvetti, P., Tenhagen, B. A. & Heuwieser, W.** (2015). Validation of bovine oestrous-specific synthetic molecules with trained scent dogs; similarities between natural and synthetic oestrous smell. *Reproduction in domestic animals = Zuchthygiene*, 50(1), 7–12, doi: [10.1111/rda.12440](https://doi.org/10.1111/rda.12440).
- Fischer-Tenhagen, C., Wetterholm, L., Tenhagen, B.-A. & Heuwieser, W.** (2011). Training dogs on a scent platform for oestrus detection in cows. *Applied Animal Behaviour Science*, 131(1), 63–70, doi: [10.1016/j.applanim.2011.01.006](https://doi.org/10.1016/j.applanim.2011.01.006).
- Frewein, J. & Vollmerhaus, B.** (Hrsg.)(1994). *Anatomie von Hund und Katze*. Berlin, Boston: Blackwell Wissenschafts-Verlag.
- Furton, K. G. & Myers, L. J.** (2001). The scientific foundation and efficacy of the use of canines as chemical detectors for explosives. *Talanta*, 54(3), 487–500, doi: [10.1016/S0039-9140\(00\)00546-4](https://doi.org/10.1016/S0039-9140(00)00546-4).

- Gallagher, M., Wysocki, C. J., Leyden, J. J., Spielman, A. I., Sun, X. & Preti, G.** (2008). Analyses of volatile organic compounds from human skin. *The British journal of dermatology*, 159(4), 780–791, doi: [10.1111/j.1365-2133.2008.08748.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2133.2008.08748.x).
- Galton, F.** (1875). *Inquiries into Human Faculty and Development*. London: Dent.
- Gasse, H.** (2010). *Riechen. Ein Vergleich von Hund und Mensch anhand anatomischer Merkmale*. Geruchssymposium I der Lupologic GmbH, Erste Fachtagung zum Thema Riechen, 27.11.2010, Hannover.
- Gasse, H.** (2011). *Riechen. Ein Vergleich von Hund und Mensch anhand anatomischer Merkmale*. Geruchssymposium II der Lupologic GmbH, Zweite Fachtagung zum Thema Riechen, 16.09.2011, Hannover.
- Gazit, I., Goldblatt, A. & Terkel, J.** (2005 a). Formation of an Olfactory Search Image for Explosives Odours in Sniffer Dogs. *Ethology*, 111(7), 669–680  
doi: [10.1111/j.1439-0310.2005.01098.x](https://doi.org/10.1111/j.1439-0310.2005.01098.x).
- Gazit, I., Goldblatt, A. & Terkel, J.** (2005 b). The role of context specificity in learning: the effects of training context on explosives detection in dogs. *Animal cognition*, 8(3), 143–150, doi: [10.1007/s10071-004-0236-9](https://doi.org/10.1007/s10071-004-0236-9).
- Gazit, I., Lavner, Y., Bloch, G., Azulai, O., Goldblatt, A. & Terkel, J.** (2003). A simple system for the remote detection and analysis of sniffing in explosives detection dogs. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 35(1), 82–89, doi: [10.3758/BF03195499](https://doi.org/10.3758/BF03195499).
- Gazit, I. & Terkel, J.** (2003 a). Domination of olfaction over vision in explosives detection by dogs. *Applied Animal Behaviour Science*, 82(1), 65–73, doi: [10.1016/S0168-1591\(03\)00051-0](https://doi.org/10.1016/S0168-1591(03)00051-0).
- Gazit, I. & Terkel, J.** (2003 b). Explosives detection by sniffer dogs following strenuous physical activity. *Applied Animal Behaviour Science*, 81(2), 149–161, doi: [10.1016/S0168-1591\(02\)00274-5](https://doi.org/10.1016/S0168-1591(02)00274-5).
- Gerritsen, R. & Haak, R.** (2001). *K9 professional tracking. A complete manual for theory and training*. Calgary: Detselig Enterprises.

**Harvey, L. M. & Harvey, J. W.** (2003). Reliability of Bloodhounds in Criminal Investigations. *Journal of forensic sciences*, 48(4), 811–816, doi: 10.1520/JFS2002118.

**Harvey, L. M., Harvey, S. J., Hom, M., Perna, A. & Salib, J.** (2006). The use of bloodhounds in determining the impact of genetics and the environment on the expression of human odortype. *Journal of forensic sciences*, 51(5), 1109–1114, doi: [10.1111/j.1556-4029.2006.00231.x](https://doi.org/10.1111/j.1556-4029.2006.00231.x).

**Hatt, H.** (2003). Von der Nase bis ins Gehirn: Düfte nehmen Gestalt an. In Neurowissenschaftliche Forschungseinrichtungen an der Ruhr-Universität Bochum in Verbindung mit der Pressestelle der RUB (Hrsg.), *NEURO Rubin. Sonderheft 2003 des Wissenschaftsmagazins RUBIN* (s. Beitrag 3).

**Hatt, H. & Dee, R.** (2011). *Niemand riecht so gut wie du. Die geheimen Botschaften der Düfte*. München: Piper.

**Havlicek, J. & Roberts, S. C.** (2009). MHC-correlated mate choice in humans: a review. *Psychoneuroendocrinology*, 34(4), 497–512, doi: [10.1016/j.psyneuen.2008.10.007](https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2008.10.007).

**Hebbel, F.** (o.J.). zitiert nach: <http://www.zitate-online.de/stichworte/haut/>, zuletzt aufgerufen am 23. August 2015.

**Hepburn, K.** (o.J.). zitiert nach: <http://zitate.net/katharine%20hepburn.html>, zuletzt aufgerufen am 23. August 2015.

**Hepper, P. G.** (1988). The discrimination of human odour by the dog. *Perception*, 17(4), 549–554, doi: [10.1068/p170549](https://doi.org/10.1068/p170549).

**Hepper, P. G. & Wells, D. L.** (2005). How many footsteps do dogs need to determine the direction of an odour trail? *Chemical senses*, 30(4), 291–298, doi: [10.1093/chemse/bji023](https://doi.org/10.1093/chemse/bji023).

**Hesse, H.** (o.J.). zitiert nach: <http://www.aporismen.de/zitat/11144>, zuletzt aufgerufen am 23. August 2015.

**Honhon, J.** (1967). *L'Olfaction chez le chien. Son rôle dans le pistage et la localisation d'une source odorante. Thèse de doctorat vétérinaire, Faculté de Médecine, Créteil*, zitiert nach Ensminger, J. J. (2012). *Police and military dogs. Criminal detection, forensic evidence, and judicial admissibility*. Boca Raton: CRC Press.

**Hudson, D. T., Curran, A. M. & Furton, K. G.** (2009). The stability of collected human scent under various environmental conditions. *Journal of forensic sciences*, 54(6), 1270–1277, doi: [10.1111/j.1556-4029.2009.01153.x](https://doi.org/10.1111/j.1556-4029.2009.01153.x).

**Hurst, J. L., Thom, M. D., Nevison, C. M., Humphries, R. E. & Beynon, R. J.** (2005). MHC odours are not required or sufficient for recognition of individual scent owners. *Proceedings. Biological sciences / The Royal Society*, 272(1564), 715–724, doi: [10.1098/rspb.2004.3004](https://doi.org/10.1098/rspb.2004.3004).

**Issel-Tarver, L. & Rine, J.** (1996). Organization and expression of canine olfactory receptor genes. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 93(20), 10897–10902, doi: [10.1073/pnas.93.20.10897](https://doi.org/10.1073/pnas.93.20.10897).

**Janeš, D., Klun, I., Vidan-Jeras, B., Jeras, M. & Kreft, S.** (2010). Influence of MHC on odour perception of 43 chemicals and body odour. *Central European Journal of Biology*, 5(3), 324–330, doi: [10.2478/s11535-010-0020-6](https://doi.org/10.2478/s11535-010-0020-6).

**Jeziarski, T., Adamkiewicz, E., Walczak, M., Sobczyńska, M., Górecka-Bruzda, A., Ensminger, J. & Papet, E.** (2014). Efficacy of drug detection by fully-trained police dogs varies by breed, training level, type of drug and search environment. *Forensic science international*, 237, 112–118, doi: [10.1016/j.forsciint.2014.01.013](https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2014.01.013).

**Jeziarski, T., Górecka-Bruzda, A., Walczak, M., Świergiel, A. H., Chruszczewski, M. H. & Pearson, B. L.** (2010). Operant conditioning of dogs (*Canis familiaris*) for identification of humans using scent lineup. *Animal Science Papers and Reports*, 28(1), 81–93, [http://journals.indexcopernicus.com/abstract.php?icid=945483&id\\_lang=3](http://journals.indexcopernicus.com/abstract.php?icid=945483&id_lang=3).

- Jeziński, T., Sobczyńska, M., Walczak, M., Gorecka-Bruzda, A. & Ensminger, J.** (2012). Do trained dogs discriminate individual body odors of women better than those of men? *Journal of forensic sciences*, 57(3), 647–653, doi: [10.1111/j.1556-4029.2011.02029.x](https://doi.org/10.1111/j.1556-4029.2011.02029.x).
- Jeziński, T., Walczak, M. & Gorecka, A.** (2009). Can trained sniffer dogs detect cancer in humans? *Journal of Veterinary Behavior: Clinical Applications and Research*, 4(2), 89, doi: [10.1016/j.jveb.2008.09.058](https://doi.org/10.1016/j.jveb.2008.09.058).
- Johnen, D., Heuwieser, W. & Fischer-Tenhagen, C.** (2013). Canine scent detection—Fact or fiction? *Applied Animal Behaviour Science*, 148(3-4), 201–208, doi [10.1016/j.applanim.2013.09.002](https://doi.org/10.1016/j.applanim.2013.09.002).
- Johnen, D., Heuwieser, W. & Fischer-Tenhagen, C.** (2014). Suchhunde testen - zu Risiken und Nebenwirkungen Canine Scent Detection - Fact or Fiction. In C. Schüller & K. Püschel (Hrsg.), *Faszinosum Spürhunde* (S. 39–46). Hamburg: Kovac, Dr. Verlag.
- Johnston, J. M.** (1999). Canine Detection Capabilities: Operational Implications of Recent R & D Findings, [http://barksar.org/K-9\\_Detection\\_Capabilities.pdf](http://barksar.org/K-9_Detection_Capabilities.pdf), zuletzt aufgerufen am 22. Februar 2016
- Johnston, R. E., Sorokin, E. S. & Ferkin, M. H.** (1997). Scent Counter-marking by Male Meadow Voles. Females Prefer the Top-scent Male. *Ethology*, 103(6), 443–453, doi: [10.1111/j.1439-0310.1997.tb00159.x](https://doi.org/10.1111/j.1439-0310.1997.tb00159.x).
- Kalmus, H.** (1955). The discrimination by the nose of the dog of individual human odours and in particular of the odours of twins. *The British Journal of Animal Behaviour*, 3(1), 25–31, doi: [10.1016/S0950-5601\(55\)80072-X](https://doi.org/10.1016/S0950-5601(55)80072-X).
- Keller, H.** (2009). *The world I live in*. [Rockville, Md.]: Wildside Press.
- Kepecs, A., Uchida, N. & Mainen, Z. F.** (2007). Rapid and precise control of sniffing during olfactory discrimination in rats. *Journal of neurophysiology*, 98(1), 205–213, doi: [10.1152/jn.00071.2007](https://doi.org/10.1152/jn.00071.2007).



- Kimbell, J. S., Godo, M. N., Gross, E. A., Joyner, D. R., Richardson, R. B. & Morgan, K. T.** (1997). Computer simulation of inspiratory airflow in all regions of the F344 rat nasal passages. *Toxicology and applied pharmacology*, 145(2), 388–398, doi: [10.1006/taap.1997.8206](https://doi.org/10.1006/taap.1997.8206).
- King, J., Becker, R. & Markee, J. E.** (1964). Studies on olfactory discrimination in dogs: (3) ability to detect human odour trace. *Animal Behaviour*, 12(2-3), 311–315, doi: [10.1016/0003-3472\(64\)90017-X](https://doi.org/10.1016/0003-3472(64)90017-X).
- Kolbe, K. & Lehari, G.** (2013). *Rettungshundeausbildung. Nasenarbeit*. Reutlingen: Oertel + Spörer.
- Komar, D.** (1999). The use of cadaver dogs in locating scattered, scavenged human remains: preliminary field test results. *Journal of forensic sciences*, 44(2), 405–408.
- Krestel, D., Passe, D., Smith, J. C. & Jonsson, L.** (1984). Behavioral determination of olfactory thresholds to amyl acetate in dogs. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 8(2), 169–174, doi: [10.1016/0149-7634\(84\)90037-X](https://doi.org/10.1016/0149-7634(84)90037-X).
- Kurz, M. E., Schultz, S., Griffith, J., Broadus, K., Sparks, J., Dabdoub, G. & Brock, J.** (1996). Effect of background interference on accelerant detection by canines. *Journal of forensic sciences*, 41(5), 868–873.
- Kusano, M., Mendez, E. & Furton, K. G.** (2013). Comparison of the volatile organic compounds from different biological specimens for profiling potential. *Journal of forensic sciences*, 58(1), 29–39, doi: [10.1111/j.1556-4029.2012.02215.x](https://doi.org/10.1111/j.1556-4029.2012.02215.x).
- Kwak, J., Willse, A., Preti, G., Yamazaki, K. & Beauchamp, G. K.** (2010). In search of the chemical basis for MHC odourtypes. *Proceedings. Biological sciences / The Royal Society*, 277(1693), 2417–2425, doi: [10.1098/rspb.2010.0162](https://doi.org/10.1098/rspb.2010.0162).
- Landgericht Nürnberg** (13.12.2012). Voraussetzungen für die Verwendbarkeit des Ergebnisses von Spurensuchhunden hinsichtlich der Anwesenheit von Verdächtigen am Tatort. *JurionRS 2012*, 38530 [www.jurion.de/Urteile/LG-Nuernberg/2012-12-13/13-KLs-372-Js-9454](http://www.jurion.de/Urteile/LG-Nuernberg/2012-12-13/13-KLs-372-Js-9454), zuletzt aufgerufen am 3. August 2015.

- Lasseter, A. E., Jacobi, K. P., Farley, R. & Hensel, L.** (2003). Cadaver dog and handler team capabilities in the recovery of buried human remains in the southeastern United States. *Journal of forensic sciences*, 48(3), 617–621.
- Lawson, M. J., Craven, B. A., Paterson, E. G. & Settles, G. S.** (2012). A computational study of odorant transport and deposition in the canine nasal cavity: implications for olfaction. *Chemical senses*, 37(6), 553–566, doi: [10.1093/chemse/bjs039](https://doi.org/10.1093/chemse/bjs039).
- Leideritz, H.** (1933). *Sympathie und Geruch*. Bremervörde: Meyer.
- Leitch, O., Anderson, A., Kirkbride, K. P. & Lennard, C.** (2013). Biological organisms as volatile compound detectors: A review. *Forensic science international*, 232(1-3), 92–103, doi: [10.1016/j.forsciint.2013.07.004](https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2013.07.004).
- Lenochova & Havlicek, J.** (2008). Human body odour individuality. In J. Hurst, R. J. Beynon, S. C. Roberts & T. Wyatt (Hrsg.), *Chemical Signals in Vertebrates 11* (S 189–198), New York: Springer.
- Lesniak, A., Walczak, M., Jezierski, T., Sacharczuk, M., Gawkowski, M. & Jaszczak, K.** (2008). Canine olfactory receptor gene polymorphism and its relation to odor detection performance by sniffer dogs. *The Journal of heredity*, 99(5), 518–527, doi: [10.1093/jhered/esn057](https://doi.org/10.1093/jhered/esn057).
- Lewis, A. A. & MacDonell, H. L.** (1989, ©1984). *The evidence never lies. The case-book of a modern Sherlock Holmes, zitiert nach: Prada, Curran, Furton; Human scent Evidence, CRC Press, 2015*. New York: Dell.
- Liberles, S. D. & Buck, L. B.** (2006). A second class of chemosensory receptors in the olfactory epithelium. *Nature*, 442(7103), 645–650, doi: [10.1038/nature05066](https://doi.org/10.1038/nature05066).
- Lit, L., Schweitzer, J. B. & Oberbauer, A. M.** (2011). Handler beliefs affect scent detection dog outcomes. *Animal cognition*, 14(3), 387–394, doi: [10.1007/s10071-010-0373-2](https://doi.org/10.1007/s10071-010-0373-2).
- Lledo, P.-M., Gheusi, G. & Vincent, J.-D.** (2005). Information processing in the mammalian olfactory system. *Physiological reviews*, 85(1), 281–317, doi: [10.1152/physrev.00008.2004](https://doi.org/10.1152/physrev.00008.2004).

- Löhner, L.** (1924). Über menschliche Individual- und Regionalgerüche. *Pflügers Archiv für die Gesamte Physiologie des Menschen und der Tiere*, 202(1), 25–45, doi: [10.1007/BF01723477](https://doi.org/10.1007/BF01723477) zitiert nach Schoon, A. & Haak, R. (2002). *K9 suspect discrimination. Training and practicing scent identification line-ups*. Calgary: Detselig Enterprises.
- Lorenzo, N., Wan, T., Harper, R. J., Hsu, Y.-L., Chow, M., Rose, S. & Furton, K. G.** (2003). Laboratory and field experiments used to identify *Canis lupus var. familiaris* active odor signature chemicals from drugs, explosives, and humans. *Analytical and bioanalytical chemistry*, 376(8), 1212–1224, doi: [10.1007/s00216-003-2018-7](https://doi.org/10.1007/s00216-003-2018-7).
- Macias, M. S. & Furton, K. G.** (2011). Availability of target odor compounds from seized ecstasy tablets for canine detection. *Journal of forensic sciences*, 56(6), 1594–1600, doi: [10.1111/j.1556-4029.2011.01854.x](https://doi.org/10.1111/j.1556-4029.2011.01854.x).
- Mackenzie, S. A. & Schultz, J. A.** (1987). Frequency of back-tracking in the tracking dog. *Applied Animal Behaviour Science*, 17(3-4), 353–359, doi: [10.1016/0168-1591\(87\)90158-4](https://doi.org/10.1016/0168-1591(87)90158-4).
- Malnic, B., Hirono, J., Sato, T. & Buck, L. B.** (1999). Combinatorial Receptor Codes for Odors. *Cell*, 96(5), 713–723, doi: [10.1016/S0092-8674\(00\)80581-4](https://doi.org/10.1016/S0092-8674(00)80581-4).
- Marlitt, E.** (1888). Das Eulenhäus, zitiert nach: Hänsel, R.; Sticher, O., *Pharmakognosie Phytopharmazie* (2007), 8. Auflage, Heidelberg:Springer.
- Marshall, D. A., Blumer, L. & Moulton, D. G.** (1981). Odor detection curves for n-pentanoic acid in dogs and humans. *Chemical senses*, 6(4), 445–453, doi: [10.1093/chemse/6.4.445](https://doi.org/10.1093/chemse/6.4.445).
- Marshall, D. A. & Moulton, D. G.** (1981). Olfactory sensitivity to  $\alpha$ -ionone in humans and dogs. *Chemical senses*, 6(1), 53–61, doi: [10.1093/chemse/6.1.53](https://doi.org/10.1093/chemse/6.1.53).
- Mebazaa, R., Mahmoudi, A., Rega, B., Ben Cheikh, R. & Camel, V.** (2010). Analysis of human male armpit sweat after fenugreek ingestion. Instrumental and sensory optimisation of the extraction method. *Food Chemistry*, 120(3), 771–782, doi: [10.1016/j.foodchem.2009.11.009](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.11.009).

- Miklósi, A., Topal, J. & Csanyi, V.** (2007). Big thoughts in small brains? Dogs as a model for understanding human social cognition. *Neuroreport*, 18(5), 467–471, doi: [10.1097/WNR.0b013e3280287aae](https://doi.org/10.1097/WNR.0b013e3280287aae).
- Miklósi, A., Pongrácz, P., Lakatos, G., Topál, J. & Csányi, V.** (2005). A comparative study of the use of visual communicative signals in interactions between dogs (*Canis familiaris*) and humans and cats (*Felis catus*) and humans. *Journal of comparative psychology (Washington, D.C. : 1983)*, 119(2), 179–186, doi: [10.1037/0735-7036.119.2.179](https://doi.org/10.1037/0735-7036.119.2.179).
- Miklósi, A., Polgárdi, R., Topál, J. & Csányi, V.** (1998). Use of experimenter-given cues in dogs. *Animal cognition*, 1(2), 113–121, doi: [10.1007/s100710050016](https://doi.org/10.1007/s100710050016).
- Milinski, M., Croy, I., Hummel, T. & Boehm, T.** (2013). Major histocompatibility complex peptide ligands as olfactory cues in human body odour assessment. *Proceedings. Biological sciences / The Royal Society*, 280(1755), 20122889, doi: [10.1098/rspb.2012.2889](https://doi.org/10.1098/rspb.2012.2889).
- Möbius, J.** (2014). Geruchsspuren im Strafprozess. In C. Schüler & K. Püschel (Hrsg.), *Faszinosum Spürhunde* (S. 95–106). Hamburg: Kovac, Dr. Verlag.
- Mombaerts, P.** (1999). Molecular biology of odorant receptors in vertebrates. *Annual review of neuroscience*, 22, 487–509, doi: [10.1146/annurev.neuro.22.1.487](https://doi.org/10.1146/annurev.neuro.22.1.487).
- Mombaerts, P.** (2004). Genes and ligands for odorant, vomeronasal and taste receptors. *Nature reviews. Neuroscience*, 5(4), 263–278, doi: [10.1038/nrn1365](https://doi.org/10.1038/nrn1365).
- Morrison, E. E. & Costanzo, R. M.** (1992). Morphology of olfactory epithelium in humans and other vertebrates. *Microscopy research and technique*, 23(1), 49–61, doi: [10.1002/jemt.1070230105](https://doi.org/10.1002/jemt.1070230105).
- Moulton, D. G., Ashton, E. H. & Eayrs, J. T.** (1960). Studies in olfactory acuity. 4. Relative detectability of n-aliphatic acids by the dog. *Animal Behaviour*, 8(3-4), 117–128, doi: [10.1016/0003-3472\(60\)90019-1](https://doi.org/10.1016/0003-3472(60)90019-1).
- Mücke, W. & Lemmen, C.** (2010). *Duft und Geruch. Wirkungen und gesundheitliche Bedeutung von Geruchsstoffen*. Heidelberg, München: Hamburg: Ecomed.

- Mygind, N., Pedersen, M. & Nielsen, M. H.** (1982). Morphology of the upper airway epithelium. In D. F. Proctor & I. H. P. Andersen (Hrsg.), *The Nose, upper airway physiology and the atmospheric environment* (S. 71–97). Amsterdam, New York: Elsevier Biomedical Press.
- Nickel, R., Schummer, A. & Seiferle, E.** (1992 a). *Lehrbuch der Anatomie der Haustiere. Band I, Bewegungsapparat*. Berlin: Verlag Paul Parey.
- Nickel, R., Schummer, A. & Seiferle, E.** (1992 b). *Lehrbuch der Anatomie der Haustiere. Band IV, Nervensystem, Sinnesorgane, Endokrine Drüsen*. Berlin: Parey.
- Oesterhelweg, L., Kröber, S., Rottmann, K., Willhöft, J., Braun, C., Thies, N., Püschel, K., Silkenath, J. & Gehl, A.** (2008). Cadaver dogs - a study on detection of contaminated carpet squares. *Forensic science international*, 174(1), 35–39, doi: [10.1016/j.forsciint.2007.02.031](https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2007.02.031).
- Olender, T., Fuchs, T., Linhart, C., Shamir, R., Adams, M., Kalush, F., Khen, M. & Lancet, D.** (2004). The canine olfactory subgenome. *Genomics*, 83(3), 361–372, doi: [10.1016/j.ygeno.2003.08.009](https://doi.org/10.1016/j.ygeno.2003.08.009).
- Pandey, S. K. & Kim, K.-H.** (2011). Human body-odor components and their determination. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 30(5), 784–796, doi: [10.1016/j.trac.2010.12.005](https://doi.org/10.1016/j.trac.2010.12.005).
- Penn, D. J., Oberzaucher, E., Grammer, K., Fischer, G., Soini, H. A., Wiesler, D., Novotny, M. V., Dixon, S. J., Xu, Y. & Breerton, R. G.** (2007). Individual and gender fingerprints in human body odour. *Journal of the Royal Society, Interface / the Royal Society*, 4(13), 331–340, doi: [10.1098/rsif.2006.0182](https://doi.org/10.1098/rsif.2006.0182).
- Pinc, L., Bartoš, L., Reslová, A. & Kotrba, R.** (2011). Dogs discriminate identical twins. *PLoS one*, 6(6), e20704, doi: [10.1371/journal.pone.0020704](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0020704).
- Prada, P., Curran, A. M. & Furton, K. G.** (2015). *Human scent evidence*. Boca Raton: CRC Press.

**Prada, P. A.** (2010). *Evaluation of contact and non-contact trapping efficiencies of human scent chemical profiles and their stabilities under different environmental conditions*. Dissertation, Florida International University, Florida.

<http://digitalcommons.fir.edu/dissertations/AAI3420035>, zuletzt aufgerufen am 22 Februar 2016

**Prada, P. A., Curran, A. M. & Furton, K. G.** (2011). The evaluation of human hand odor volatiles on various textiles: a comparison between contact and noncontact sampling methods. *Journal of forensic sciences*, 56(4), 866–881, doi: [10.1111/j.1556-4029.2011.01762.x](https://doi.org/10.1111/j.1556-4029.2011.01762.x).

**Prada, P. A. & Furton, K. G.** (2008). Human Scent Detection: A Review of its Developments and Forensic Applications. *Revista de Ciencias Forenses*, 1 (2), 81–87.

**Preti, G., Willse, A., Labows, J. N., Leyden, J. J., Wahl, J. & Kwak, J.** (2006). On the definition and measurement of human scent: comments on Curran et Al. *Journal of Chemical Ecology*, 32(8), 1613-6; author reply 1617-23, doi: [10.1007/s10886-006-9095-y](https://doi.org/10.1007/s10886-006-9095-y).

**Püschel, K.** (2014). Vorwort. Faszinosum Spürhunde. In C. Schüler & K. Püschel (Hrsg.), *Faszinosum Spürhunde* (S. 9–10). Hamburg: Kovac, Dr. Verlag.

**Quignon, P., Giraud, M., Rimbault, M., Lavigne, P., Tacher, S., Morin, E., Retout, E., Valin, A.-S., Lindblad-Toh, K., Nicolas, J. & Galibert, F.** (2005). The dog and rat olfactory receptor repertoires. *Genome Biology*, 6(10), Article R 83, doi: [10.1186/gb-2005-6-10-r83](https://doi.org/10.1186/gb-2005-6-10-r83).

**Quignon, P., Kirkness, E., Cadieu, E., Touleimat, Nizar, Guyon, Richard, Renier, C., Hitte, C., André, C., Fraser, C. & Galibert, F.** (2003). Comparison of the canine and human olfactory receptor gene repertoires. *Genome Biology*, 4(12), Article R 80, doi: [10.1186/gb-2003-4-12-r80](https://doi.org/10.1186/gb-2003-4-12-r80).

**Quignon, P., Tacher, S., Rimbault, M. & Galibert, F.** (2006). The dog Olfactory and Vomeronasal Receptor Repertoires. In E. A. Ostrander, U. Giger & K. Lindblad-Toh (Hrsg.), *The dog and its genome* (S. 221–231). Cold Spring Harbor, N.Y.: Cold Spring Harbor Laboratory Press.

- Rajan, R., Clement, J. P. & Bhalla, U. S.** (2006). Rats smell in stereo. *Science (New York, N.Y.)*, 311(5761), 666–670, doi: [10.1126/science.1122096](https://doi.org/10.1126/science.1122096).
- Rajan, R., Fakhruddin, N., Hassan, N. & Islam, M. N.** (2013). Chemical Fingerprinting of Human Body Odor: An Overview of Previous Studies. *Malaysian Journal of Forensic Science*, 4(1), 33-38,  
<http://www.forensics.org.my/pdf/fssmVol.4No.1/Article6.pdf>, zuletzt aufgerufen am 22. Februar 2016
- Roberts, S. C., Gosling, L. M., Spector, T. D., Miller, P., Penn, D. J. & Petrie, M.** (2005). Body odor similarity in noncohabiting twins. *Chemical senses*, 30(8), 651–656, doi: [10.1093/chemse/bji058](https://doi.org/10.1093/chemse/bji058).
- Robin, S., Tacher, S., Rimbault, M., Vaysse, A., Dréano, S., André, C., Hitte, C. & Galibert, F.** (2009). Genetic diversity of canine olfactory receptors. *BMC genomics*, 10, 21, doi: [10.1186/1471-2164-10-21](https://doi.org/10.1186/1471-2164-10-21).
- Rogowski, M.** (2000). Possibility of removing the individual scent with the aid of cloths. Papier präsentiert auf der Konferenz: Osmology: overestimated or neglected area of forensic science? *Problemy Kriministyki*, (230), 56–58, zitiert in: Schoon, A. & Haak, R. (2002). *K9 suspect discrimination. Training and practicing scent identification line-ups*. Calgary: Detselig Enterprises.
- Rogowski, M.** (2001). Influence of Evidence Collection Time on the Result of Osmological Expertise (in Polnisch). *Problemy Kriministyki*, (234), 49–52, zitiert in: Ensminger, J. J. (2012). *Police and military dogs. Criminal detection, forensic evidence, and judicial admissibility*. Boca Raton: CRC Press zitiert nach
- Roitt, I. M., Brostoff, J. & Male, D. K.** (1985). *Immunology*. London, Philadelphia: Mosby, zitiert in: Harvey, L. M., Harvey, S. J., Hom, M., Perna, A. & Salib, J. (2006). The use of bloodhounds in determining the impact of genetics and the environment on the expression of human odortype. *Journal of forensic sciences*, 51(5)
- Romanes, G. J.** (1887). Experiments on the Sense of Smell in Dogs. *Nature*, 36(925), 273–274, doi: [10.1038/036273a0](https://doi.org/10.1038/036273a0).

**Rouchefoucauld, Francois VI. Duc de la** (1665). zitiert nach:

<http://www.apophismen.de/zitat/11144>, zuletzt aufgerufen am 23. August 2015.

**Rouquier, S. & Giorgi, D.** (2007). Olfactory receptor gene repertoires in mammals.

*Mutation research*, 616(1-2), 95–102, doi: [10.1016/j.mrfmmm.2006.11.012](https://doi.org/10.1016/j.mrfmmm.2006.11.012).

**Santos, P. S. C., Schinemann, J. A., Gabardo, J. & Bicalho, M. d. G.** (2005). New evidence that the MHC influences odor perception in humans: a study with 58 Southern Brazilian students. *Hormones and behavior*, 47(4), 384–388,

doi: [10.1016/j.yhbeh.2004.11.005](https://doi.org/10.1016/j.yhbeh.2004.11.005).

**Schaefer, M. L., Yamazaki, K., Osada, K., Restrepo, D. & Beauchamp, G. K.**

(2002). Olfactory fingerprints for major histocompatibility complex-determined body odors II: relationship among odor maps, genetics, odor composition, and behavior.

*The Journal of neuroscience : the official journal of the Society for Neuroscience*, 22(21), 9513–9521.

**Schaefer, M. L., Young, D. A. & Restrepo, D.** (2001). Olfactory fingerprints for major histocompatibility complex-determined body odors. *The Journal of neuroscience : the official journal of the Society for Neuroscience*, 21(7), 2481–2487.

**Schalke, E.** (Juli 2012). Persönliche Mitteilung zum Thema: Beeinflussung des Hundes durch Personen. Riesenbeck

**Schalke, E.** (Oktober 2013). Persönliche Mitteilung zum Thema: Ursachen für die fehlenden Unterschiede bei den verschiedenen Fährtenaltern. Riesenbeck.

**Schalke, E.** (September 2014). Persönliche Mitteilung zum Thema: Ausbildung und Training müssen sich ändern. Riesenbeck

**Schettler, J.** (2011). *K-9 trailing. The straightest path*. Crawford, CO: Alpine Publications, Inc.

**Schoon, A., Fjellanger, R., Kjeldsen, M. & Goss, K.-U.** (2014). Using dogs to detect hidden corrosion. *Applied Animal Behaviour Science*, 153, 43–52, doi: [10.1016/j.applanim.2014.01.001](https://doi.org/10.1016/j.applanim.2014.01.001).



- Schoon, A. & Haak, R.** (2002). *K9 suspect discrimination. Training and practicing scent identification line-ups*. Calgary: Detselig Enterprises.
- Schoon, A. A., Curran, A. M. & Furton, K. G.** (2009). Odor Biometrics. In S. Z. Li & A. K. Jain (Hrsg.), *Encyclopedia of biometrics* (S. 1009–1014). New York: Springer.
- Schoon, G.** (1996). Scent identification lineups by dogs (*Canis familiaris*): experimental design and forensic application. *Applied Animal Behaviour Science*, *49*(3), 257–267, doi: [10.1016/0168-1591\(95\)00656-7](https://doi.org/10.1016/0168-1591(95)00656-7).
- Schoon, G. & DeBruin, J. C.** (1994). The ability of dogs to recognize and cross-match human odours. *Forensic science international*, *69*, 111–118, doi: [10.1016/0379-0738\(94\)90247-X](https://doi.org/10.1016/0379-0738(94)90247-X).
- Schoon, G.** (2005). The effect of the ageing of crime scene objects on the results of scent identification line-ups using trained dogs. *Forensic science international*, *147*(1), 43–47, doi: [10.1016/j.forsciint.2004.04.080](https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2004.04.080).
- Schüler, C.** (2014). Vorwort. Faszinosum Spürhunde. In C. Schüler & K. Püschel (Hrsg.), *Faszinosum Spürhunde* (S. 11–13). Hamburg: Kovac, Dr. Verlag.
- Settle, R. H., Sommerville, B. A., McCormick, J. & Broom, d. M.** (1994). Human scent matching using specially trained dogs. *Animal Behaviour*, *48*(6), 1443–1448, doi: [10.1006/anbe.1994.1380](https://doi.org/10.1006/anbe.1994.1380)
- Settles, G.** (2007). Detektionsportal für chemische Spuren auf Basis des natürlichen Luftstroms und Wärmetransportsystems des menschlichen Körpers: Google Patents <http://www.google.com/patents/DE69933407T2?cl=de>, zuletzt aufgerufen am 12. August 2015.
- Settles, G. S.** (2005). Sniffers: Fluid-Dynamic Sampling for Olfactory Trace Detection in Nature and Homeland Security—. *Journal of Fluids Engineering*, *127*(2), 189, doi: [10.1115/1.1891146](https://doi.org/10.1115/1.1891146).

- Settles, G. S., Kester, D. A. & Dodson-Dreibelbis, L. J.** (2003). The External Aerodynamics of Canine Olfaction. In F. G. Barth, J. A. C. Humphrey & T. W. Secomb (Hrsg.), *Sensors and Sensing in Biology and Engineering* (S. 323–335). Vienna: Springer Vienna.
- Seydel, M.** (2014). Mantrailing. Eine Betrachtung aus der Sicht der Verteidigung. In C. Schüler & K. Püschel (Hrsg.), *Faszinosum Spürhunde* (S. 57–76). Hamburg: Kovac, Dr. Verlag.
- Singer, A. G., Beauchamp, G. K. & Yamazaki, K.** (1997). Volatile signals of the major histocompatibility complex in male mouse urine. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 94(6), 2210–2214, doi: 10.1073/pnas.94.6.2210.
- Sommerville, B. A. & Green, M.** (1989). Sniffing detective. *New Scientist*, 122(1665), 54–57.
- Sommerville, B. A., Green, M. A. & Gee, D. J.** (1990). Using chromatography and a dog to identify some of the compounds in human sweat which are under genetic influence. In D. W. Macdonald, D. Müller-Schwarze & S. E. Natynczuk (Hrsg.), *Chemical signals in vertebrates 5* (S. 634–639). Oxford, New York: Oxford University Press.
- Soproni, K., Miklosi, A., Topal, J. & Csanyi, V.** (2001). Comprehension of human communicative signs in pet dogs (*Canis familiaris*). *Journal of comparative psychology*, 115(2), 122–126, doi: 10.1037//0735-7036.115.2.122.
- Steen, J. B., Mohus, I., Kvesetberg, T. & Walloe, L.** (1996). Olfaction in bird dogs during hunting. *Acta physiologica Scandinavica*, 157(1), 115–119, doi: [10.1046/j.1365-201X.1996.479227000.x](https://doi.org/10.1046/j.1365-201X.1996.479227000.x).
- Steen, J. B. & Wilsson, E.** (1990). How do dogs determine the direction of tracks? *Acta physiologica Scandinavica*, 139(4), 531–534, doi: [10.1111/j.1748-1716.1990.tb08956.x](https://doi.org/10.1111/j.1748-1716.1990.tb08956.x).
- Steigleder, G. K.** (1992). *Dermatologie und Venerologie für Ärzte und Studenten*. Stuttgart: Thieme.

- Stockham, R. A., Slavin, D. L. & Kift, W.** (2004 a). Specialized Use of Human Scent in Criminal Investigations. *Forensic Science Communications*, 6(3) [http://www.fbi.gov/about-us/lab/forensic-science-communications/fsc/july2004/index.htm/research/2004\\_03\\_research03.htm](http://www.fbi.gov/about-us/lab/forensic-science-communications/fsc/july2004/index.htm/research/2004_03_research03.htm), zuletzt aufgerufen am 15. August 2015.
- Stockham, R. A., Slavin, D. L. & Kift, W.** (2004 b). Survivability of Human Scent. *Forensic Science Communications*, 6(4) [http://www.fbi.gov/about-us/lab/forensic-science-communications/fsc/oct2004/research/2004\\_10\\_research03.htm/](http://www.fbi.gov/about-us/lab/forensic-science-communications/fsc/oct2004/research/2004_10_research03.htm/), zuletzt aufgerufen am 15. August 2015
- Süskind, P.** (1985). *Das Parfum. Die Geschichte eines Mörders*. Zurich: Diogenes.
- Syrotuck, W. G.** (1980, ©1972). *Scent and the scenting dog*. New York, NY: Arner publications.
- Szetei, V., Miklósi, Á., Topál, J. & Csányi, V.** (2003). When dogs seem to lose their nose: an investigation on the use of visual and olfactory cues in communicative context between dog and owner. *Applied Animal Behaviour Science*, 83(2), 141–152, doi: [10.1016/S0168-1591\(03\)00114-X](https://doi.org/10.1016/S0168-1591(03)00114-X).
- Tacher, S., Quignon, P., Rimbault, M., Dreano, S., Andre, C. & Galibert, F.** (2005). Olfactory receptor sequence polymorphism within and between breeds of dogs. *The Journal of heredity*, 96(7), 812–816, doi: [10.1093/jhered/esi113](https://doi.org/10.1093/jhered/esi113).
- Tebrich, S.** (1993). *Human scent and its detection* [https://www.cia.gov/library/center-for-the-study-of-intelligence/kent-csi/vol5no2/html/v05i2a04p\\_0001.htm](https://www.cia.gov/library/center-for-the-study-of-intelligence/kent-csi/vol5no2/html/v05i2a04p_0001.htm), zuletzt aufgerufen am 15. August 2015.
- Thesen, A., Steen, J. B. & Døving, K. B.** (1993). Behaviour of dogs during olfactory tracking. *The Journal of Experimental Biology*, 180, 247–251 <http://jeb.biologists.org/content/180/1/247.full.pdf+html>, zuletzt aufgerufen am 12. August 2015.

**Thomas, L.** (1995). *The lives of a cell. Notes of a biology watcher*. New York: Viking Press, zitiert in Harvey, L. M., Harvey, S. J., Hom, M., Perna, A. & Salib, J. (2006).

The use of bloodhounds in determining the impact of genetics and the environment on the expression of human odortype. *Journal of forensic sciences*, 51(5).

**Topal, J., Miklosi, A. & Csanyi, V.** (1997). Dog-human relationship affects problem solving behavior in the dog. *Anthrozoos*, 10, 214–224,

doi: 10.2752/089279397787000987.

**Tucholsky, K.** (o.J.). zitiert nach: <http://www.zitate.eu/de/zitat/29602/kurt-tucholsky>, zuletzt aufgerufen am 23. August 2015.

**Twain, M.** (1964). *The Tragedy of Pudd'nhead Wilson* zitiert nach: Prada, Curran, Furton; *Human Scent Evidence*, 2015. New York: New American Library.

**Verhulst, N. O., Beijleveld, H., Qiu, Y. T., Maliepaard, C., Verduyn, W., Haasnoot, G. W., Claas, F. H. J., Mumm, R., Bouwmeester, H. J., Takken, W., van Loon, Joop J A & Smallegange, R. C.** (2013). Relation between HLA genes, human skin volatiles and attractiveness of humans to malaria mosquitoes. *Infection, genetics and evolution : journal of molecular epidemiology and evolutionary genetics in infectious diseases*, 18, 87–93, doi: [10.1016/j.meegid.2013.05.009](https://doi.org/10.1016/j.meegid.2013.05.009).

**Verhulst, N. O., Qiu, Y. T., Beijleveld, H., Maliepaard, C., Knights, D., Schulz, S., Berg-Lyons, D., Lauber, C. L., Verduijn, W., Haasnoot, G. W., Mumm, R., Bouwmeester, H. J., Claas, F. H. J., Dicke, M., van Loon, Joop J A, Takken, W., Knight, R. & Smallegange, R. C.** (2011). Composition of human skin microbiota affects attractiveness to malaria mosquitoes. *PloS one*, 6(12), e28991, doi: [10.1371/journal.pone.0028991](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0028991).

**Vyplelová, P., Vokálek, V., Pinc, L., Pacáková, Z., Bartoš, L., Santariová, M. & Čapková, Z.** (2014). Individual human odor fallout as detected by trained canines. *Forensic science international*, 234, 13–15, doi: [10.1016/j.forsciint.2013.10.018](https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2013.10.018).

**Walker, D. B., Walker, J. C., Cavnar, P. J., Taylor, J. L., Pickel, D. H., Hall, S. B. & Suarez, J. C.** (2006). Naturalistic quantification of canine olfactory sensitivity. *Applied Animal Behaviour Science*, 97(2-4), 241–254, doi: [10.1016/j.applanim.2005.07.009](https://doi.org/10.1016/j.applanim.2005.07.009).

- Watts, A.** (1989, c1966). *The book on the taboo of knowing who you are*. New York: Vintage Books.
- Wedekind, C.** (2000). MHC genes, body odours, and odour preferences. *Nephrology Dialysis Transplantation*, 15(9), 1269–1271, doi: [10.1093/ndt/15.9.1269](https://doi.org/10.1093/ndt/15.9.1269).
- Wells, D. L. & Hepper, P. G.** (2003). Directional tracking in the domestic dog, *Canis familiaris*. *Applied Animal Behaviour Science*, 84(4), 297–305, doi: [10.1016/j.applanim.2003.08.009](https://doi.org/10.1016/j.applanim.2003.08.009).
- Wilcox, R. M. & Johnston, R. E.** (1995). Scent counter-marks: specialized mechanisms of perception and response to individual odors in golden hamsters (*Mesocricetus auratus*). *Journal of comparative psychology (Washington, D.C. : 1983)*, 109(4), 349–356.
- Wiley, R.** (2003). Is there an ideal behavioural experiment? *Animal Behaviour*, 66(3), 585–588, doi: [10.1006/anbe.2003.2231](https://doi.org/10.1006/anbe.2003.2231).
- Wolf, A., Hackbarth, H., Ebbers, H. & Schalke, E.** (2013). How old can a track be to be found by dogs. - A scientific approach -. Poster anlässlich des IWDBA, Texas.
- Yamazaki, K.** (1976). Control of mating preferences in mice by genes in the major histocompatibility complex. *Journal of Experimental Medicine*, 144(5), 1324–1335, doi: [10.1084/jem.144.5.1324](https://doi.org/10.1084/jem.144.5.1324).
- Yamazaki, K., Beauchamp, G. K., Curran, M., Bard, J. & Boyse, E. A.** (2000). Parent-progeny recognition as a function of MHC odortype identity. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 97(19), 10500–10502, doi: [10.1073/pnas.180320997](https://doi.org/10.1073/pnas.180320997).
- Yamazaki, K., Beauchamp, G. K., Imai, Y., Bard, J., Phelan, S. P., Thomas, L. & Boyse, E. A.** (1990). Odor types determined by the major histocompatibility complex in germfree mice. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 87(21), 8413–8416, doi: [10.1073/pnas.87.21.8413](https://doi.org/10.1073/pnas.87.21.8413).

- Yamazaki, K., Beauchamp, G. K., Singer, A., Bard, J. & Boyse, E. A.** (1999). Odortypes: Their origin and composition. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 96(4), 1522–1525, doi: 10.1073/pnas.96.4.1522
- Yamazaki, S., Hoshino, K. & Kushuhara, M.** (2010). Odor Associated with Aging. *Anti-Aging Medicine*, 7(6), 60-65, doi: [10.3793/jaam.7.60](https://doi.org/10.3793/jaam.7.60).
- Zdanowicz, P. & Kaminski, J.** (1998). Influence of time on persistence of scent left on gun (in Polnisch). *Problemy Kryminalistyki*, (222), 43–44, zitiert in Ensminger, J. J. (2012). *Police and military dogs. Criminal detection, forensic evidence, and judicial admissibility*. Boca Raton: CRC Press
- Zuschneid, K.** (1973). Die Riechleistung des Hundes. Übersicht über den Stand der Kenntnisse mit Experimentalbeitrag zur objektiven Prüfung von Fährtenhunden. Dissertation, Freie Universität Berlin, Fachbereich Veterinärmedizin, Berlin.

---

# Anhang

## Anhang 1: Beaufort Skala

Beaufort-grad	Bezeichnung	Mittlere Windgeschwindigkeit in 10m Höhe über freiem Gelände		Beispiele für die Auswirkungen des Windes im Binnenland
		m/s	km/h	
0	Windstille	0 - 0,2	< 1	Rauch steigt senkrecht auf
1	leiser Zug	0,3 - 1,5	1 - 5	Windrichtung angezeigt durch den Zug des Rauches
2	leichte Brise	1,6 - 3,3	6 - 11	Wind im Gesicht spürbar, Blätter und Windfahnen bewegen sich
3	schwache Brise schwacher Wind	3,4 - 5,4	12 - 19	Wind bewegt dünne Zweige und streckt Wimpel
4	mäßige Brise mäßiger Wind	5,5 - 7,9	20 - 28	Wind bewegt Zweige und dünnere Äste, hebt Staub und loses Papier
5	frische Brise frischer Wind	8,0 - 10,7	29 - 38	kleine Laubbäume beginnen zu schwanken, Schaumkronen bilden sich auf Seen
6	starker Wind	10,8 - 13,8	39 - 49	starke Äste schwanken, Regenschirme sind nur schwer zu halten, Telegrafenerleitungen pfeifen im Wind
7	steifer Wind	13,9 - 17,1	50 - 61	fühlbare Hemmungen beim Gehen gegen den Wind, ganze Bäume bewegen sich
8	stürmischer Wind	17,2 - 20,7	62 - 74	Zweige brechen von Bäumen, erschwert erheblich das Gehen im Freien
9	Sturm	20,8 - 24,4	75 - 88	Äste brechen von Bäumen, kleinere Schäden an Häusern (Dachziegel oder Rauchhauben abgehoben)
10	schwerer Sturm	24,5 - 28,4	89 - 102	Wind bricht Bäume, größere Schäden an Häusern
11	orkanartiger Sturm	28,5 - 32,6	103 - 117	Wind entwirzelt Bäume, verbreitet Sturmsschäden
12	Orkan	ab 32,7	ab 118	schwere Verwüstungen

### Anhang 1: Beaufort Skala

(DEUTSCHER WETTERDIENST, 2015 a)



# Anhang 2: Poster IWDBA

## How old can a trail be found by dogs - A scientific approach -

Angelika Wolf<sup>1</sup>, H. Hackbarth<sup>1</sup>, Hans Ebbers<sup>2</sup>, Esther Schälke<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institute of Animal Welfare and Behavior University of Hannover, <sup>2</sup> Lupologic®, Kynoscience®

### Introduction:

In Germany there is an increasing interest using dogs to trail fleeing felons and missing persons. Concerning the age of a trail anecdotal information passed from dog handler to dog handler but little to no scientific evidence confirming these stories.

Therefore it is a matter of controversy how old a trail can be to be successfully worked out by a special trained dog. Previous studies have shown that dogs are able to

- follow human scent through and across numerous environments (Harvey et al., 2003 and 2006)
- use objects as a scent article that had been exposed to extreme mechanical and thermal effects (Stockham et al. 2004)
- identify a person in a scent identification line-up by using a scent article that has been stored up to six month (Hudson et al. 2009; Schoon et al. 2009)

### Materials and Methods:

#### Animals

In the study 30 dogs were included. 10 Bloodhounds, 10 dogs of other hunting line, 10 Shepherds (German Shepherd and Malinois).

All dog handlers were either police dog handler or search and rescue handler affiliated with police departments.

#### Trails

Each dog had to run 18 trails in total

	Forest	City	Total
One Day	3	3	6
One Week	3	3	6
One Month	3	3	6

Each trail was exactly 500m long with at least two functions. The trail layer and the area was unknown to the dog. All trails were recorded by GPS (Garmin Astro Z20).

Therefore on the day of experiment nobody had to follow to observe the dog-handler-team in order to exclude the risk of help.

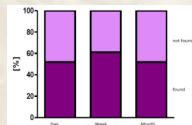
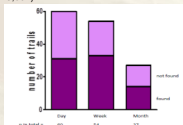
During the whole experiment weather dates were measured.

Data were analyzed using Graphpad prism 5. Using Chi Square,  $p < 0,05$  was considered statistically significant.

### Results:

The table below shows the data of 141 trials worked out by 18 dogs.

Concerning the age of trials related to the success rate of dogs work no significant differences was found ( $p = 0,552$ )



### Discussion:

This study has already demonstrated that dogs are capable to run a one month old trail.

Concerning the different ages of the trials related to success of dogs no significant differences were found.

A study of Harvey (2003) has shown that both the experience of dog and handler correlated with the success rate.

At present no statement could be made concerning the influence of training method, experience of dog and handler, influence of weather conditions and breed differences. At the end of the study all parameters mentioned above will be analysed.

For further studies one critical point must be mentioned. Some dogs reached their trail-layer more by air-scenting than by trailing. Therefore we recommend either longer trails or no trail-layer at the end.

### References:

- Harvey, J. W. et al. (2003). Reliability of Bloodhounds in Criminal Investigations. *J Forensic Sci*, 48, 104-108.
- Harvey, J. W. et al. (2006). The Use of Bloodhounds in Determining the Impact of Criminals and the Environment on the Exposure of Human Odors. *J Forensic Sci*, 51, No. 5.
- Stockham, R. A. et al. (2004). Susceptibility of Human Scent, Forensic Science International, 147, 1-6.
- Harwood, D. T. et al. (2009). The Stability of Collected Human Scent Under Various Environmental Conditions. *J Forensic Sci*, 54, 100-104.
- Hudson, C. A. et al. (2009). The Effects of the Age of Crime Scene Objects on the Results of Scent Identification Trials Using Trained Dogs. *Forensic Science International*, 192, 40-47.

## Anhang 2: Veröffentlichung erster Zwischenergebnisse als Poster anlässlich des IWDBA, 2013, Texas

IWDBA = International Working Dog Breeding Association  
(WOLF et al., 2013)



---

# Danksagung

*„Im normalen Leben wird oft einem gar nicht bewusst, dass der Mensch überhaupt unendlich mehr empfängt, als er gibt, und dass Dankbarkeit das Leben erst reich macht.“*

*(BONHOEFFER, 1943)*

Eine wissenschaftliche Arbeit ist nicht das Werk einer einzelnen Person. Ohne die Unterstützung vieler Helfer und Helferinnen im Vorder- und im Hintergrund könnte ein solches Projekt nicht durchgeführt werden. Das trifft in besonderem Maße auf diese Dissertation zu, die nun endlich zu einem Ende gekommen ist. Deshalb ist es spätestens jetzt an der Zeit Danke zu sagen.

Johann Wolfgang von Goethe hat festgestellt: *„Leider lässt sich wahrhafte Dankbarkeit mit Worten nicht ausdrücken.“* Und ein deutsches Sprichwort weist darauf hin: *“Was du mit Geld nicht bezahlen kannst, bezahle wenigstens mit Dank.“* Mit Geld ist die mir zuteil gewordene Hilfe, Unterstützung und Freundschaft gar nicht zu bezahlen. Deshalb werde ich versuchen, meine Dankbarkeit, entgegen Goethe, doch in Worte zu fassen. Vielen, denen im Zusammenhang mit dieser Dissertation Dank gebührt, werde ich nur auf diesem Weg danken können.

Also gilt mein Dank allen folgenden Personen und ich hoffe sehr, niemanden zu vergessen:

Univ. Prof. Dr. Hansjoachim Hackbarth danke ich ganz herzlich für seine stets freundliche Unterstützung. Vielen Dank für Ihre ruhige und aufmunternde Art, Ihre unglaubliche Geduld, gerade weil es etwas länger gedauert hat als geplant, und auch für die Überlassung dieses spannenden und faszinierenden Themas.

## Danksagung

---

Dr. Esther Schalke danke ich für die fachliche Betreuung der Arbeit. Vielen Dank für die Idee und das Vertrauen, das Du in mich gesetzt hast. Danke für Deine unendliche Geduld, Deine Hilfe, wann immer es nötig war sowie Deinen Input in punkto Hundeausbildung und die Weitergabe Deines Fachwissens - nicht nur im Rahmen dieser Dissertation. Aus den vielen Gesprächen mit Dir konnte ich viel lernen. Ich freue mich darauf, auch nach der Dissertation mit Dir zusammenarbeiten zu können.

Hans Ebbers danke ich für die ständige Einsatzbereitschaft bei aufkommenden Fragen und Problemen mit der Technik. Vor allem für die Ruhe, die Du dabei bewahrt hast. Aber auch für die Weitergabe Deines Fachwissens und Deiner Erfahrungen in vielen Gesprächen über den Hund und praktischen Übungen mit dem Hund bin ich Dir dankbar.

Stefan Heck gilt in Hinblick auf die Technik ebenso ein ganz besonderer Dank. Nur durch Deine Hilfe beim Wiederherstellen wichtiger Daten auf einem der Speichermedien konnte diese Arbeit fertiggestellt werden. Vielen, vielen Dank Stefan!

Dr. Karl Rohn vom Institut für Biometrie und Epidemiologie danke ich für die gute, ruhige, freundliche Beratung in statistischen Fragen und die Geduld. Selbst für kurzfristige Hilfestellungen waren Sie bereit. Vielen Dank!

Dr. Claudia Brandt danke ich ganz besonders. Deine spontane - und nicht nur einmal sehr kurzfristige - Hilfsbereitschaft und Unterstützung bei statistischen Berechnungen, obwohl Du mit dieser Arbeit eigentlich gar nichts zu tun hattest, hat mir sehr geholfen. Danke außerdem für die Ruhe, die Du dabei ausstrahlst und Deine aufmunternden, zuversichtlichen Worte. Sie haben in jedem Fall genutzt.

Dr. Stefanie Ott danke ich für ihre Hilfsbereitschaft und ihre spontane Unterstützung bei Übersetzungsschwierigkeiten. Vielen Dank für Deinen uneigennütigen Einsatz und Deine sehr hilfreiche Unterstützung.

Allen Hundeführern und ihren Hunden (die ich hier aus Datenschutzgründen leider nicht namentlich nennen darf) gilt ein sehr großes Dankeschön. Ohne Eure Teilnahme an dem Projekt, Eure Bereitschaft, sich den Aufgaben zu stellen (ohne wirklich zu

wissen, was auf Euch zukommt), wäre diese Arbeit nicht zustande gekommen. Danke auch für Eure Bereitschaft bei Wind und Wetter und zum Teil in Eurer Freizeit zum Gelingen dieser Arbeit beizutragen. Es hat mir wirklich Spaß gemacht, mit Euch zu arbeiten und ich hoffe, dass wir uns bei anderer – oder auch ähnlicher – Gelegenheit wiedersehen.

Allen Fährtenläufern, die mich ausnahmslos in ihrer Freizeit, bei Wind und Wetter und völlig uneigennützig unterstützt haben, danke ich sehr. Ohne Euch wäre diese Arbeit ebenfalls nicht möglich gewesen. Insbesondere möchte ich hier Friedrich vom Baur, Rosemarie Gentz vom Baur, Sybille Rudersdorf, Stefan Pommerenke, Meike Görlich, Manuela Nold, Livia Peters, Evelyn Hertach, Carmen Zindel, Petra Bamberg, Sylvia Scholz, Angela Hertel, Martin Sahlmann-Hertel und Heiko Hertel erwähnen.

Evelyn Hertach, Livia Peters, Manuela Nold und Carmen Zindel teilten sich über den Zeitraum von etwas mehr als einer Woche alle in dieser Zeit zu absolvierenden Fährten. Für diesen enormen Einsatz danke ich Euch sehr.

Friedrich vom Baur, Rosi Gentz vom Baur und Sybille Rudersdorf danke ich, über die häufige Läufertätigkeit hinaus, für die vielen anregenden, erhellenden und aufmunternden Gespräche, die gemeinsame Arbeit mit unseren eigenen Hunden und die Unterstützung bei der organisatorischen Umsetzung der praktischen Versuche. Ganz lieben Dank für Euren Einsatz und Eure Hilfe!

Manuela Nold, Stefan Pommerenke und Meike Görlich haben sich nicht nur durch ihren unermüdlichen Einsatz als Läufer bewährt, sondern auch durch die Bereitstellung von Übernachtungsmöglichkeiten und hervorragende Bewirtung verdient gemacht. Dafür gebührt Euch ein ganz besonderes Dankeschön.

Petra Bamberg sowie Sylvia Scholz haben mich nicht nur als Fährtenläufer unterstützt, sondern ich habe ihnen auch eine intensive mentale Unterstützung zu verdanken. Vielen, vielen Dank für Eure Zeit, Eure offenen Ohren und Hilfestellungen.

## Danksagung

---

Angela Hertel und Martin Sahlmann-Hertel danke ich für den Einsatz als Spurleger und – vor allem – als mein persönliches Krisenbewältigungsteam. Ihr seid toll, für mehr fehlen mir einfach die Worte. Vielen, vielen Dank!

Meinen Eltern danke ich für ihre mentale und finanzielle sowie auch ihre tatkräftige Unterstützung. Papa, vielen Dank für Deinen Einsatz beim Korrekturlesen und so vieles mehr. Mama, vielen Dank für das zeitweise Übernehmen diverser Alltagsgeschäfte. Ihr seid immer da, wenn ich Euch brauche und glaubt fest an mich. Das ist mir viel wert, vielen Dank dafür. Jetzt kommt auch wieder eine Zeit mit mehr Besuchen. Ich freue mich darauf.

Ganz besonderer Dank jedoch gilt Heiko Hertel. Dein Einsatz kann durch nichts abgegolten werden und mein tief empfundener Dank ist mit Worten nicht zu beschreiben. Deine Bereitschaft hinter dieser Arbeit zurückzustehen, Deine unendliche Geduld, Deine aufmunternden, tröstenden, motivierenden und liebevollen Worte, wenn mir alles zu viel und nicht zu bewältigen erschien, Deine liebevolle kulinarische Versorgung, Deine Unterstützung als Fährtenläufer. All das und vieles mehr, was hier nicht aufgezählt werden kann, weil es Seiten füllen würde, machten diese Arbeit überhaupt möglich. Ohne Dich wäre nichts davon entstanden. Ich danke Dir, dass Du da bist und freue mich jetzt auf mehr gemeinsame Zeit.

*„Liebe ist nicht das, was man erwartet zu bekommen, sondern das, was man bereit ist zu geben.“*

(HEPBURN, o.J.)

Letztlich aber wäre diese Danksagung unvollständig, wenn diese 5 nicht erwähnt würden:

*„Dogs are not our whole life, but they make our lives whole.“*

(CARAS, o.J.)

Quando – der richtige Hund zur richtigen Zeit, der mich zur Hundearbeit brachte und mich schon als Kind im Rahmen der Bodenfährte mit den Fähigkeiten einer Hundensee beeindruckte.

Bernd – der mich lehrte, dass Hunde auch einfach nur tolle Begleiter sein können.

Lukas – mit dem die Faszination „Suche nach Menschen“ in Form von Flächen- und Trümmerarbeit begann und der mich lehrte, was eine Hundenase zu leisten in der Lage ist.

Fine und Buffy – mit denen die Faszination „Personenspürhund“ anging und hoffentlich noch lange anhält.







**ISBN 978-3-86345-323-7**



Verlag: Deutsche Veterinärmedizinische Gesellschaft Service GmbH  
35392 Gießen · Friedrichstraße 17 · Tel. 0641 / 24466 · Fax: 0641 / 25375  
E-Mail: [info@dvG.de](mailto:info@dvG.de) · Internet: [www.dvG.de](http://www.dvG.de)