

# **Vermeidung von Vogelanprall an Glasflächen**

**Farben – Glasdekorfolie – getöntes Plexiglas**

**12 weitere Experimente im Flugtunnel II**

**Martin Rössler**

Biologische Station Hohenau-Ringelsdorf

**Wolfgang Laube**

Universität f. Bodenkultur, Inst. f. Meteorologie

Wien, Februar 2008

im Auftrag der Niederösterreichischen Umweltschutzbehörde

mit Beteiligung der Wiener Umweltschutzbehörde,  
der Tierschutzombudsstelle der Gemeinde Wien  
und der Evonik PARA-CHEMIE Ges. m. b. H, Gramatneusiedl

## **DANK**

Die 2007 durchgeführten Versuche wurden von der Niederösterreichischen Umwelthanwaltschaft beauftragt, die somit die Basisfinanzierung der Forschungsarbeit inne hatte. Besonderer Dank gilt Prof. Harald Rossmann (Niederösterreichische Umwelthanwaltschaft) und Dr. Manfred Pöckl (Amt der Niederösterreichischen Landesregierung) für das niederösterreichische Engagement.

Die Wiener Umwelthanwaltschaft blieb weiter engagiert und beauftragte gemeinsam mit der Tierschutzombudsstelle Wien die Untersuchung von zwei Markierungen, die vermutlich in Zukunft eine wichtige Rolle zur Milderung der Problematik spielen werden. Herzlichen Dank an DI Wilfried Doppler und Mag. Hermann Gsandtner. In Zusammenarbeit mit den Wiener Linien wurden Markierungen entworfen, geplottet und auf die Versuchsscheiben aufgebracht, hier gilt der Dank insbesondere Herrn Andreas Radosztics, Wiener Linien. Ebenfalls an der Entwicklung neuer Markierungen beteiligt und trotz einer Gesetzeslage, welche der Industrie bisher keine Anreize gesetzt hat, sich in dieser Frage zu engagieren, ist die Evonik Para-Chemie Ges.m.b.H., hier besonderer Dank an Herrn Ulf Stülpnagel und Herrn Gottfried Eder.

Im wissenschaftlichen Team geht der Dank an Univ. Prof. Philipp Weihs für die Verfeinerung der Messmethoden, an Dr. Erwin Nemeth für die Statistik, an Mag. Lidia Brandstätter und Lena Fragner für die Durchführung der Versuche und an die Teams der Vogelberingungsstation der Biologischen Station Hohenau-Ringelsdorf.

# INHALT

<b>1</b>	<b>EINLEITUNG</b> .....	<b>5</b>
1.1	Grundsätzliche Aufgabenstellung.....	5
1.2	Angestrebte Wirksamkeit: das 10%-Kriterium .....	6
<b>2</b>	<b>METHODE</b> .....	<b>7</b>
2.1	Wahlversuch im Flugtunnel.....	7
2.2	Flugtunnel II .....	8
2.3	Messungen.....	8
2.3.1	Messungen im Labor .....	8
2.3.2	Messung der Lichtverhältnisse während der Versuche .....	9
2.4	Untersuchte Markierungen 2007 .....	9
2.4.1	Begründung der Auswahl .....	9
2.4.2	Vorstellung der Kandidaten .....	12
2.4.3	Reflektanz der Markierungen.....	13
2.5	Transmittanz der Versuchsscheiben .....	14
2.6	Tageszeit und Lichtverhältnisse bei den Versuchen.....	15
2.6.1	Tageszeit .....	15
2.6.2	Globalstrahlung.....	15
2.6.3	Lichtintensität hinter den Versuchsscheiben.....	16
2.7	Untersuchungszeitraum.....	16
2.8	Versuchsvögel.....	17
<b>3</b>	<b>ERGEBNISSE</b> .....	<b>19</b>
3.1	Überblick über das Datenmaterial.....	19
3.2	Versuchsergebnisse.....	19
3.2.1	Ergebnisüberblick .....	19
3.3	Versuchsergebnisse unter Berücksichtigung der Lichtverhältnisse.....	21
3.3.1	Einfluss der Globalstrahlung.....	21
3.3.2	Einfluss der Lichtintensität im Scheibenhintergrund .....	23

3.3.3	Einfluss direkter Sonnenstrahlung .....	23
<b>4</b>	<b>DISKUSSION .....</b>	<b>24</b>
<b>4.1</b>	<b>Methodische Integrität der Versuche .....</b>	<b>24</b>
4.1.1	Gleichverteilung der Versuchsscheiben auf linke und rechte Seite .....	24
4.1.2	Gleichverteilung der Anflüge auf linke und rechte Seite .....	25
4.1.3	Gleichverteilung der „richtigen“ und der „Fehlentscheidungen“ auf linke und rechte Seite .....	25
4.1.4	Wiederholbarkeit - Kontrollexperiment mit „10 v“ liefert exakt das selbe Ergebnis .....	25
4.1.5	Methodische Integrität der Untersuchung .....	26
<b>4.2</b>	<b>Diskussion der Versuchsergebnisse .....</b>	<b>26</b>
4.2.1	Vorbemerkungen .....	26
4.2.2	„10 v“ .....	26
4.2.3	„10 v strichliert einseitig“ – nur mittelmäßig wirksam .....	27
4.2.4	Körnerhof-Markierung („10 v strichliert zweiseitig“) sehr wirksam .....	27
4.2.5	Weißer Markierungen bei schwacher Lichtintensität besser .....	27
4.2.6	Glasdekorfolien sehr gut, wenn mit Folie nicht gespart wird .....	28
4.2.7	„Schwarz-horizontal“ bestätigt und präzisiert „Acryl horizontal“ (2006) .....	29
4.2.8	Farben: Orange stellt alles in den Schatten .....	30
4.2.9	Getönte Scheiben sind nicht gefährlicher als helles Floatglas .....	31
<b>4.3</b>	<b>Das 10%-Kriterium unter Berücksichtigung des Zufallsfehlers .....</b>	<b>31</b>
<b>4.4</b>	<b>Aktualisierte Empfehlungen .....</b>	<b>33</b>
4.4.1	Empfohlene Markierungen .....	33
4.4.2	Weniger geeignete Markierungen .....	33
<b>4.5</b>	<b>Die nächsten Schritte .....</b>	<b>34</b>
<b>5</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG .....</b>	<b>35</b>
<b>6</b>	<b>LITERATUR .....</b>	<b>36</b>

# 1 EINLEITUNG

Der hier vorgelegte ist der vierte „Jahresbericht“ über die Hohenauer Experimente zur Entwicklung wirksamer Maßnahmen gegen Kollisionen von Vögeln mit Glas. Im vierten Jahr der Untersuchungen der Biologischen Station Hohenau-Ringelsdorf wurden zwölf Versuchsreihen zur Entschärfung von Glas als Vogelfalle durchgeführt. Mit fortschreitender Kenntnis der Grundregeln, die seit 2004 erforscht werden (z. B. vertikal besser als horizontal), kann zunehmend „bedarfsorientiert“ untersucht werden. Im Jahr 2007 wurde besonders auf Anfragen von Architekten und anderen Anwendern eingegangen. Es standen daher unter anderem Farben auf dem Programm, die Untersuchung einer „Glasdekorfolie“, die als wenig störend empfunden wird, oder die nachträgliche Untersuchung einer bestehenden Markierung einer Lärmschutzwand im Wiener Stadtgebiet.

Während die Bandbreite Möglichkeiten zunimmt, wird in der Gesamtschau der Ergebnisse aus vier Jahren klarer, wo die Grenze zwischen durchschnittlichen Markierungen und solchen, die tatsächlich massiv Vogelprall verhindern können, verläuft.

Die von KLEM (1990) publizierte Zahl von 98 – 980 Mio. jährlich in den USA an Glaskollisionen sterbenden Vögeln (das sind mindestens 260.000 Vögel pro Tag) zeigt, dass es sich um ein ernstes Problem und um Eingriffe handelt, die Einflüsse auf die Populationsdynamik der Vögel haben müssen. In den vergangenen Jahren hat sich die Invasion von Glas in die Aktivitätsräume von Vögeln fortgesetzt.

Kollisionen ereignen sich sowohl im Siedlungsraum (z. B. an Glasfassaden, Wintergärten, Windschutz in Fußgängerbereichen etc.) als auch in offener Landschaft, z. B. entlang von Verkehrsachsen (Lärmschutzwände, Wartehäuschen und Bahnstationen etc.). Sie betreffen Vögel unspezifisch, also unabhängig von Art, Alter oder Geschlecht. Markierungen von Glasflächen werden als Weg zur Vermeidung von Vogelprall angesehen. Zur Prüfung und Steigerung der Wirksamkeit solcher Markierungen sind seriöse Untersuchungen im Schnittfeld Planung und Vogelschutz notwendig, die sowohl die ästhetischen Ansprüche der Nutzer und betroffenen Anwohner als auch die Forderungen des Vogelschutzes einbeziehen (vgl. RICHARZ 2001).

Die Hohenauer Methode lässt eine reproduzierbare Beurteilung der Wahrnehmbarkeit von Markierungen durch Vögel zu. Seit 2006 ist es außerdem möglich, differenziertere Aussagen zur Auswirkung verschiedener Lichtverhältnisse zu treffen. 2007 wird erstmals ein Vorschlag gemacht, einen Grenzwert für empfehlenswerte Markierungen einzuführen und das Ergebnis einer experimentellen Prüfung nach standardisiertem Verfahren auf diesen Grenzwert hin zu prüfen.

## 1.1 Grundsätzliche Aufgabenstellung

Generell gilt die Suche möglichst akzeptablen Markierungen, die kostengünstig herzustellen, eventuell auch nachträglich montierbar und lange haltbar sind. Erst mit erwachendem Interesse der Industrie, für welches vermutlich gesetzliche Regelungen notwendig sein werden, können diese Aspekte ausreichend berücksichtigt werden.

Die Kernfrage lautet: Wie müssen Glasscheiben markiert werden, dass sie von Vögeln rechtzeitig wahrgenommen und als Hindernis erkannt werden?

Der Ernst des Problems verlangt, dass – natürlich unter der Berücksichtigung der Faktoren Akzeptanz, Kosten, Montage und Haltbarkeit – Markierungen so ausgeführt werden, dass ihr Beitrag, das Kollisionsrisiko auf einen

Bruchteil des Ausgangswertes zu senken, voll ausgeschöpft wird – das heißt: nur die besten Markierungen sind gut genug.

Ein weiteres Ziel ist die Differenzierung wirksamer Markierungen nach Lichtangebot an den potenziellen Aufstellungsorten. Die Aufgabe könnte sein, spezielle Typen für urbane Räume und für Grünland zu entwickeln, für schattige und besonnte Standorte, für verschiedenen Hintergrund einer Scheibe wie Vegetation, Hausmauern oder Himmel.

## **1.2 Angestrebte Wirksamkeit: das 10%-Kriterium**

Wahlversuche mit einem Ergebnis von 3:1 (75% fliegen zur Referenzscheibe, 25% fliegen zur markierten Scheibe, letzteres wird im Folgenden 25% „Fehlentscheidungen“ genannt) zeigen für genügend große Stichproben, dass die untersuchte Markierung wirksam ist. Die seit 2004 laufenden Hohenauer Experimente machen aber deutlich, dass Ergebnisse von 9:1 (10% „Fehlentscheidungen“) oder 19:1 (5% „Fehlentscheidungen“) möglich sind. Es genügt also nicht zu zeigen, dass eine Markierung wahrgenommen wird, sondern es muss geprüft werden können, ob eine bestimmte Markierung zu den besten Markierungen gehört. Als Grenzwert ist vorerst das Verhältnis 9:1 ein realistisches und vertretbares Ziel. Wir nennen es vorläufig das „10%-Kriterium“. In Kap.4.3 wird ein Vorschlag gemacht, der dieses Kriterium unter Berücksichtigung des Zufallsfehlers auf vergleichbare Untersuchungen umlegbar macht.

Die Ergebnisse der Wahlversuche liefern gute vergleichbare Aussagen darüber, ob und in welcher relativen Stärke Markierungen wahrgenommen werden. Das Ergebnis steht in Zusammenhang mit der tatsächlichen Wirksamkeit einer Markierung im Freiland. Versuchsergebnis und Wirksamkeit im Freiland gleichzusetzen wäre aber unrichtig, Kollisionen und Kollisionsrisiko werden von anderen Faktoren mitbestimmt.

## 2 METHODE



Abbildung 1: Der Wahlversuch zeigt, ob die Vögel die markierte Scheibe (rechts) wahrnehmen und von einer unmarkierten Referenzscheibe (links) unterscheiden. Ein Netz 40cm vor den Scheiben verhindert, dass Vögel auf dem Glas aufprallen. Bei sehr guten Markierungen fliegen 95% der Vögel zur Referenzscheibe, nur 5% treffen „Fehlentscheidungen“ und fangen sich auf der Seite der markierten Scheibe im Netz.

### 2.1 Wahlversuch im Flugtunnel

Das Hohenauer Konzept von 2004 basiert auf Synergien mit der Vogelberingung der Feldstation Hohenau-Ringelsdorf und sieht vor, Vögel in einem Versuchstunnel einem Wahlversuch zwischen markierten und unmarkierten Scheiben zu unterziehen (Abb.1).

Grundkonzept:

- Tendenz von Vögeln aus einem dunklen Raum ins Licht zu fliegen (Attraktor Licht)
- Hohe Effizienz bei Kombination aus Netzfang (360m<sup>2</sup> Japannetz) und Versuchen auf 1m<sup>2</sup> Glasfläche (auswechselbare Versuchsscheiben)
- Begrenzte Zahl von Variablen, große Stichprobenhäufigkeit, statistisch erfassbare Unterschiede zwischen Markierungen
- Wildvögel, einmalige Versuche
- Keine Kollisionen, keine Todesopfer, Vögel werden von Japannetz vor Kollision abgefangen
- Vollständige Videodokumentation aller Versuchsflüge
- Günstiger Untersuchungszeitraum: Juli / August – nach der Brutzeit, stärkstes Vogelaufkommen
- Große Stichproben – n>80

Die Aufeinanderfolge und Anordnung (links oder rechts) der Versuchsscheiben ist zufällig. Die Versuche sind von Kontrollversuchen mit zwei unmarkierten Scheiben begleitet (ca. 10% aller Versuche). Weiters werden die Versuche in jedem Jahr von einem Vergleichsversuch mit einer Referenzmarkierung begleitet, um zu kontrollieren, ob die Versuche in ausreichendem Maße wiederholbar und repräsentativ sind (vgl. RÖSSLER 2005, RÖSSLER ET AL. 2007).

## 2.2 Flugtunnel II

Während in den Jahren 2004 und 2005 der Tagesgang der Lichtwirkung nur ungenügend berücksichtigt werden konnte, wurde die Methode im Jahr 2006 mit dem Bau eines neuen Tunnels („Flugtunnel II“) diesen Erfordernissen angepasst. Die Versuchsanlage arbeitet mit natürlichem Sonnenlicht, das mit Hilfe zweier Spiegel symmetrisch, parallel und gleichmäßig auf die Scheiben / Markierungen geleitet wird. Damit dies möglich ist, ist der gesamte Tunnel drehbar gelagert. Die Versuchsanlage (Abb.2) ist in RÖSSLER ET AL. (2007) ausführlich beschrieben.



Abbildung 2: Die Versuchsanlage: Flugtunnel II (Länge 7,50m) ist umgeben von einheitlicher Vegetation, die als Attraktor wirkt, wenn Vögel durch den Tunnel vom Start (links) zu den Versuchsscheiben (rechts, vom Tunnel verdeckt) fliegen. Die beiden Spiegel (rechts im Bild) reflektieren Tageslicht symmetrisch, parallel und gleichmäßig auf die Versuchsscheiben. Der Tunnel ist drehbar gelagert, Flugrichtung der Vögel und Richtung des Sonnenlichtes liegen in einer Ebene, Sonne kommt immer „von hinten“ (hier von links).

## 2.3 Messungen

Die Einbeziehung der variablen Lichtverhältnisse erfordert die Kenntnis der optischen Wirkung von Glas und Markierung bei unterschiedlicher Beleuchtung und der während der Versuche herrschenden Lichtverhältnisse. Dazu werden im Labor physikalische Eigenschaften der verwendeten Materialien und im Freiland Strahlungsparameter gemessen.

### 2.3.1 Messungen im Labor

Die optischen Messungen werden im Lichtlabor des Instituts für Meteorologie der Universität für Bodenkultur in einem schwarz ausgekleideten Raum durchgeführt. Gemessen wird mit einem Doppelmonochromator (Jobin Yvon

HRD1, 650mm, mit Hamamatsu Photomultiplier Tube 8250 U) und einem Halogenlicht (H3 mit UV-durchlässigem Glaskolben) im Spektralbereich von 300nm bis 600nm in 10nm-Schritten.

### **2.3.1.1 Reflektanz der Markierungen**

Für die Messungen der Reflektanz (2.4.3) werden die Glasscheiben in einer Entfernung von 15cm vom Eingangsschlitz des Monochromators vertikal montiert. Die Lichtquelle befindet sich unterhalb des Prüfkörpers, das Licht wird mit einem Oberflächenspiegel mit geringem Winkel zur optischen Achse des Monochromators auf die Scheiben gebracht. Als Referenzweiß wird eine mit Magnesium-Oxid beschichtete Fläche gewählt. Die Beschichtung wird unmittelbar vor den Messungen auf ein Trägerobjekt aufgedampft. Die Messwerte werden in Beziehung zu den Reflexionswerten der Magnesium-Oxid-Referenz gesetzt.

### **2.3.1.2 Transmittanz der Versuchsscheiben**

Für die Messungen der Transmittanz (2.5) werden die Glasscheiben in einer Entfernung von 60cm vom Eingangsschlitz des Monochromators normal zur optischen Achse des Monochromatoreingangs montiert. Die Lichtquelle befindet sich in der optischen Achse hinter den Versuchsscheiben. Referenzmessungen werden in derselben Anordnung ohne Glasscheiben durchgeführt. 2007 wurden nur ein Floatglastyp und eine Plexiglasscheibe gemessen. In RÖSSLER ET AL. (2007) finden sich Messungen von weiteren Floatglasscheiben.

## **2.3.2 Messung der Lichtverhältnisse während der Versuche**

Zur Messung der Strahlung wurden zwei Silicon Photovoltaic Sensoren (Environmental Measurement Systems EMS 11) am Tunnel montiert. Die Pyranometer messen die gesamt einfallende Energie der Strahlung zwischen 400 und 1.100nm. Ein Sensor zur Messung der Globalstrahlung (diffuse Himmelsstrahlung und direkte Sonnenstrahlung) befindet sich etwa 2m über dem Boden, die Messebene ist horizontal. Der zweite Sensor wurde mit vertikal ausgerichteter Messebene an der Rückseite der Scheibenhalterung etwa 2,5m über dem Boden montiert. Mit diesem Sensor wird die Strahlung des Scheibenhintergrundes gemessen, zusammengesetzt aus diffuser Himmelsstrahlung und Reflexion der Vegetation und des Bodens. Die Messintervalle betragen zehn Sekunden, die Messungen werden als Minutenmittelwerte auf einem Datenlogger (EMS Mini Cube) registriert und werden während des Untersuchungszeitraumes wöchentlich abgefragt und auf externem PC gespeichert.

2007 kam es zu einem Verlust der Messwerte für den 06.08.2007 durch einen Bedienungsfehler beim Speichern der Daten.

## **2.4 Untersuchte Markierungen 2007**

Die Auswahl der 2007 untersuchten Markierungen folgt den Schlussfolgerungen aus den Ergebnissen 2006 (RÖSSLER ET AL. 2007, Kap.4.5.). Im Vordergrund steht die Exploration neuer und die Optimierung als sehr wirksam erkannter Markierungen.

### **2.4.1 Begründung der Auswahl**

#### **2.4.1.1 „10 v“ - die Universal-Referenz**

„10 v“ besteht aus 2cm breiten vertikalen Streifen. Obwohl sich mittlerweile gezeigt hat, dass Markierungen mit 0,5cm breiten Streifen ebenso wirksam sind und die meisten Markierungen 2007 mit 0,5cm breiten Streifen getestet

wurden, dient die Markierung „10 v“ weiterhin als „Universal-Referenz-“ zur Kontrolle der Wiederholbarkeit unserer Versuche und wird jedes Jahr mit dem selben Stichprobenumfang neu untersucht.

#### **2.4.1.2 „10 v strichliert einseitig“**

Die beiden im Folgenden geschilderten Versuche sind eine Untersuchung einer bereits bestehenden Markierung. Die Wohnanlage der Gemeinde Wien „Theodor-Körner-Hof“ erhielt 2007 eine 18m hohe straßenseitige Glas-Lärmschutzwand. Diese wurde zur Vermeidung von Vogelschlag markiert (Siebdruck). Die Markierung ist inspiriert von der Markierung „10 v“, löst diese aber in feine horizontale Balken auf, der Flächenanteil der Markierung beträgt ca. 10%. Da sich 2006 gezeigt hat, dass es ohne Wirkung bleibt, die 2cm breiten Linien („10 v“) auf 0,5cm breite Linien zu reduzieren („10v // 5 w“; vgl. RÖSSLER ET AL. 2007), war auch gut vorstellbar, dass eine Auflösung der Linien in feine Querbalken keine messbaren Unterschiede zu „10 v“ bedinge.

Im Experiment sollte untersucht werden, wie groß die Spielräume sind, eine empfohlene Markierung zu variieren und den bedruckten Flächenanteil zu reduzieren. Die Versuchsmarkierung „10 v strichliert einseitig“ unterbricht die 2cm breiten Streifen im Verhältnis 2:1, es handelt sich um ca. 3,5mm breite Querbalken mit ca. 6,5mm Kantenabstand und einem Flächenanteil der Markierung von ca. 5% (vgl. Abb.3).

#### **2.4.1.3 „10 v strichliert zweiseitig“ – die Wirkung von Bewegungsparallaxen**

Die Markierung der Lärmschutzwand des Körnerhofes ist zudem zweiseitig (2.4.1.3) ausgeführt, um für Vögel aus beiden potenziellen Anflugrichtungen auch im Fall von Spiegelungen auf dem Glas wahrnehmbar zu sein. Daher wurde für diesen Versuch die Markierung auf der Vorder- und der Rückseite der Versuchsscheibe deckungsgleich aufgebracht (vgl. Abb.3). Blickt man senkrecht auf die Scheibe, überdecken im Zentrum die Striche der Vorderseite die Striche der Rückseite. Von dieser Stelle konzentrisch nach außen werden die Striche der Rückseite zunehmend sichtbar. Mit Veränderung der Betrachter-Position geraten die Striche in relative Bewegung zu einander.

Damit wurde ein erster Versuch unternommen, die Wirkung von Bewegungsparallaxen zu untersuchen. Der „3D-Effekt“ könnte eine bessere Wahrnehmbarkeit der Markierungen hervorrufen. Einschränkend muss aber in Erinnerung gerufen werden, dass bei eventuellen Spiegelungen die Markierung der Rückseite einer Scheibe schwerer erkennbar oder gänzlich unsichtbar wird.

#### **2.4.1.4 Glasdekorfolien**

Die Ergebnisse des Jahres 2006 (RÖSSLER ET AL. 2007) haben gezeigt, dass sich die Extreme „weiß“ und „schwarz“ als Markierungs“farben“ in ihrer Wirksamkeit nicht nachweisbar unterscheiden. Daher wurde in betracht gezogen, dass auch „graue“ Markierungen wirksam sein könnten, was sich bereits 2004 mit der Markierung „Koralle“ herausgestellt hatte (RÖSSLER & ZUNA-KRATKY 2004). Glasdekorfolien haben matte Oberflächen und haben eine ähnliche Transmissions- und Reflexionswirkung wie Milchglas. Die untersuchte Folie reflektiert auch im UV. Ab 370nm ist die Reflexion über den gesamten für Vögel sichtbaren Spektralbereich konstant (vgl. Abb.4)

#### „Glasdekor 25“ und „Glasdekor 50“

Diskussionen über Akzeptanz von Markierungen führten zum Ergebnis, dass weiße oder schwarze Markierungen eher als störend, graue Markierungen aber als dezent und gefällig empfunden werden. Eine auf Initiative der Wiener Umweltschutzgesellschaft und der Tierschutz Ombudsstelle Wien probeweise beklebte Fläche eines Glasganges

zeigte hohe Akzeptanz. Daher beauftragten Wiener Umwelthanwaltschaft und Tierschutz Ombudsstelle Wien die Untersuchung von zwei Markierungen, die aus verschiedenen und unregelmäßig breiten vertikalen Streifen besteht (Abb.3). Der Anteil beklebter Fläche beträgt 25% bzw. 50%.

#### „Glasdekor 10 v“

Zum Vergleich von Glasdekorfolie mit bisher getesteten Markierungen wurde ein der Standardreferenz „10 v“ entsprechender Versuch mit Glasdekorfolie geplant.

#### **2.4.1.5 „Schwarz horizontal“ – die Wiederholung von „Acryl horizontal“ mit anderen Materialien**

Die Untersuchungen der Jahre 2005 und 2006 haben zu einer uneingeschränkten Empfehlung der als „Acryl horizontal“ getesteten PLEXIGLAS-SOUNDSTOP®-Scheibe geführt. „Acryl horizontal“ hat 2007 als einziger Kandidat das 10%-Kriterium (vgl. Kap.1.2) erfüllt. Da es für uns überraschend war, dass ausgerechnet eine schwarze und noch dazu horizontale Markierung die bisher beste getestete Markierung darstellt, blieb offen, ob dies nicht auch als Folge einer Wechselwirkung aus bestimmten Brechungseigenschaften der Acrylscheibe und den Polyamid-Fäden im Inneren der Scheibe gesehen werden muss und daher nicht zwangsläufig auch eine entsprechende Oberflächenmarkierung von Glasscheiben empfohlen werden kann. Daher wurde der Versuch 2007 mit schwarzer Folie auf Glas wiederholt.

#### **2.4.1.6 Farben („Blau“, „Grün“, „Gelb glänzend“, „Gelb matt“, „Orange“)**

Farbmarkierungen könnten, wie Glasdekorfolie, ebenfalls eine angemessene öffentliche Akzeptanz erfahren. Zumindest wurden in den letzten Jahren immer wieder Anfragen von Architekten und Designern an uns gerichtet, in denen nach der Eignung von Farben gefragt wurde.

Farbnamen wie „grün“ oder ähnliches sagen sehr wenig über die tatsächlichen Reflexionseigenschaften aus. Helligkeit, Sättigung und die spektrale Bandbreite, in der eine färbige Oberfläche reflektiert, können mit dem menschlichen Auge nicht ausreichend bestimmt werden und müssen im Labor gemessen werden. Für Experimente zur Wirksamkeit verschiedener Farben müssen wir derzeit „nehmen was kommt“ (z. B. Klebebänder, Folien, Lacksprays verschiedener Hersteller). Wir können nicht gezielt mit bestimmten Wellenlängen experimentieren sondern müssen uns mit Reflexionen in großen spektralen Bandbreiten zufrieden geben (vgl. Abb.4). Weiters muss zwischen glänzenden (spiegelnden) und matten (diffus reflektierenden) Oberflächen unterschieden werden. Auch für die praktische Anwendung bestehen derzeit Beschränkungen. Für Siebdruck auf Glas z. B. ist derzeit neben schwarz und weiß nur die Farbe „Grün“ verfügbar, andere Farben werden für diesen Zweck nicht hergestellt.

Da kein Unterschied zwischen 5mm und 20mm breiten Streifen besteht (RÖSSLER ET AL. 2007), wurden alle Farbmarkierungen in einer Abwandlung des Typs „10 v“ untersucht, bei der statt 20mm breiten Linien 5mm breite Linien in vertikaler Anordnung mit einem Abstand von 10cm auf Floatglas aufgebracht wurden.

#### **2.4.1.7 „Plexi smoke“ – sind getönte Scheiben gefährlich?**

„Plexi smoke“ ist eine handelsübliche „braungrau“ getönte Plexiglasscheibe. Da Vögel in der Natur häufig dabei beobachtet werden, dass sie z. B. bei der Annäherung an Hecken oder dichte Vegetation auf dunkle Flächen oder Flecken zufliegen, wurde untersucht, ob eine getönte Scheibe in stärkerem Ausmaß angefliegen wird als eine klare Floatglasscheibe und ob von getönten Scheiben abgeraten werden muss. In diesem Fall geht es also nicht um das Finden einer abschreckenden Markierung sondern um das Ausschließen einer möglichen Attraktivität und Gefahr.

## 2.4.2 Vorstellung der Kandidaten

Tab.1 und Abb.3 geben einen Überblick über die Markierungen, die auf 50cm x 100cm großen Scheiben angebracht wurden.

Tabelle 1: Ausführung der im Jahr 2007 untersuchten Markierungen.

Bezeichnung	Beschreibung	Bedeckte Fläche	Reflexionen im UV (370nm)
<b>10 v</b> (Referenzmarkierung; Vergleich mit 2006)	Vertikale Streifen (weißes Klebeband), 2cm breit, Kantenabstand 10cm	16,7 %	-
<b>Glasdekor 10v</b>	Vertikale Streifen (Klebefolie ORACAL 8510), 2cm breit, Kantenabstand 10cm	16,7 %	ca. 25 %
<b>10v strichliert einseitig</b>	Schmale Querbalken (Klebefolie weiß glänzend; ORAJET 3621) vorderseitig	ca. 5 %	-
<b>10v strichliert zweiseitig</b>	Schmale Querbalken (Klebefolie weiß glänzend; ORAJET 3621) vorder- und rückseitig	jeweils ca. 5 %	-
<b>schwarz horizontal</b>	Horizontale Streifen (Schwarze Klebefolie, glänzend), 2 mm Stärke, 28 mm Abstand	6,7 %	-
<b>Glasdekor 25</b>	Verschieden und unregelmäßig breite nicht geradkantige Linien (Klebefolie ORACAL 8510, matt, lichtdurchlässig); Breite: variabel, 1,5–4cm, Abstand bis 11cm	25 %	ca. 25 %
<b>Glasdekor 50</b>	Verschieden und unregelmäßig breite nicht geradkantige Linien (Klebefolie ORACAL 8510, matt, lichtdurchlässig); Breite: variabel, 1–8cm, Abstand bis 6,5cm	50 %	ca. 25 %
<b>blau</b>	Vertikale Streifen (blaue Klebefolie Avery741), 0,5cm breit, Kantenabstand 10cm	4,8 %	-
<b>grün</b>	Vertikale Streifen (grünes Klebeband), 0,5cm breit, Kantenabstand 10cm	4,8 %	-
<b>gelb glänzend</b>	Vertikale Streifen (gelbe Klebefolie, AVERY 526, glänzend), 0,5cm breit, Kantenabstand 10cm	4,8 %	-
<b>gelb matt</b>	Vertikale Streifen (gelbe Klebefolie AVERY 500, matt), 0,5cm breit, Kantenabstand 10cm	4,8 %	ca. 10 %
<b>orange</b>	Vertikale Streifen (Lackspray DUPLO PLATINUM, orange, drei Sprühvorgänge), 0,5cm breit, Kantenabstand 10cm <u>Keine Leuchtfarbe!</u>	4,8 %	-
<b>Plexi smoke</b>	PLEXIGLAS SOUNDSTOP® SMOKY BROWN, dunkel getönt, Stärke: 15mm	unmarkiert	k.A.

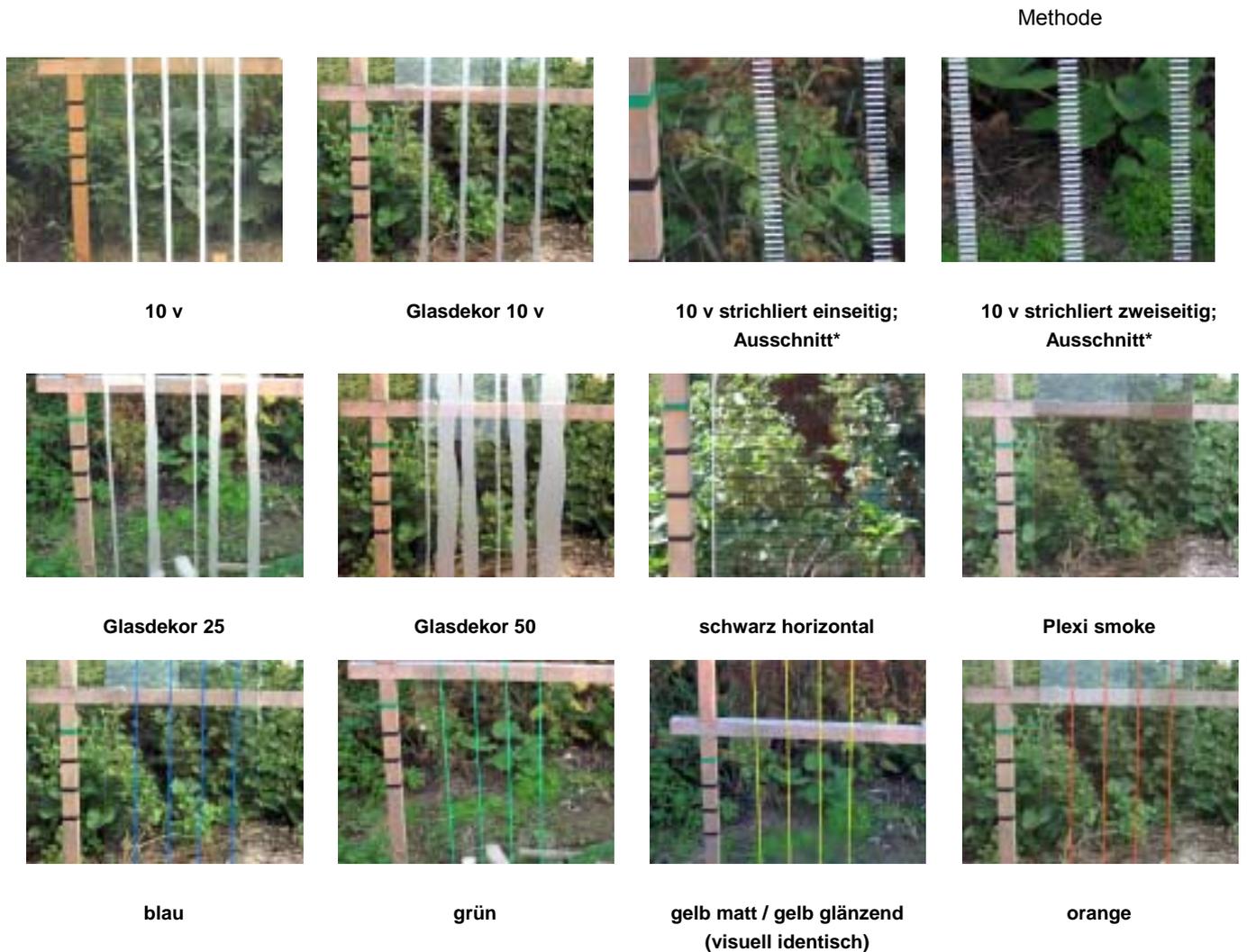


Abbildung 3: Die im Jahr 2007 untersuchten Markierungen; Fotots mit (\*) im jpeg-Format nicht vergleichbar darstellbar, daher vergrößert.

### 2.4.3 Reflektanz der Markierungen

Seit 2006 ist die Messung der spektralen Reflektanz der Markierungen Bestandteil der Untersuchungen. Es wird die Reflektanz in den Wellenlängen zwischen 350nm und 600nm gemessen (Kap.2.3.1.1).

Untersucht wurden:

- weiße Klebefolie, ORAJET 3621, verwendet für „10 v strichliert einseitig“ und „10 v strichliert zweiseitig“
- Glasdekorfolie, ORACAL 8510
- farbige Folien, AVERY 500 (gelb matt), AVERY 526 (gelb glänzend), AVERY 741 (blau, glänzend)
- DUPLO PLATINUM Sprühlack, industriorange, drei überdeckende Sprühvorgänge

Abb.4 zeigt die gemessene Reflektanz der untersuchten Markierungen in Prozent der Reflexionswerte einer Magnesium-Oxid-Referenz (vgl. 2.3.1.1). Die weiße Klebefolie reflektiert ab 420nm durchschnittlich 90% des auftretenden Lichtes, die Klebefolie „Gelb glänzend“ ab 540nm 75%, „Gelb matt“ ab 540nm 70% und der Sprühlack „Orange“ ab 600nm 63%. Die Klebefolie „Blau“ und das Klebeband „Grün“ haben maximale Reflektanzen von 40% bei 460nm (blau) und 27% bei 520nm (grün). Die Glasdekorfolie reflektiert ab 370nm konstant ca. 25%. Im UV-Bereich (bis 400nm) liegen die Reflexionswerte durchwegs unter 10%, nur die Glasdekorfolie (ab 370nm: 24%) und die weiße Folie (ab 390nm: 18%) reflektieren in diesem Bereich nennenswerte Strahlungsmengen.

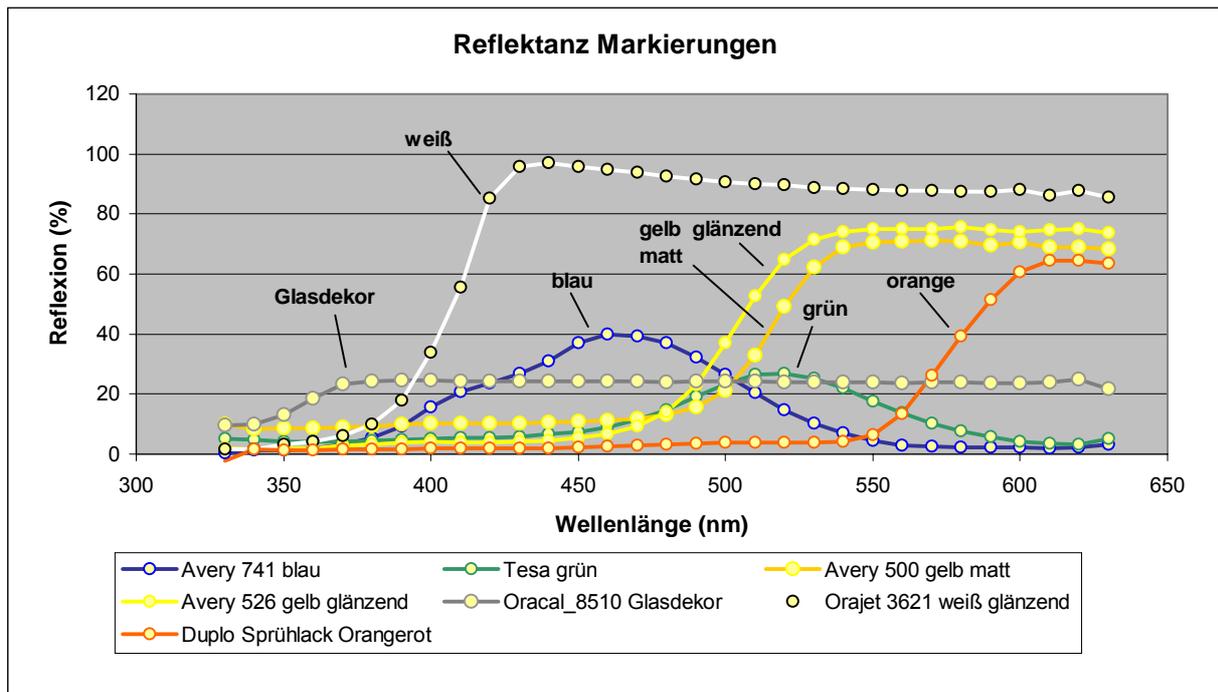


Abbildung 4: Spektrale Reflektanz von verschiedenen Materialien zur Markierung von Glasscheiben in den Experimenten 2007.

## 2.5 Transmittanz der Versuchsscheiben

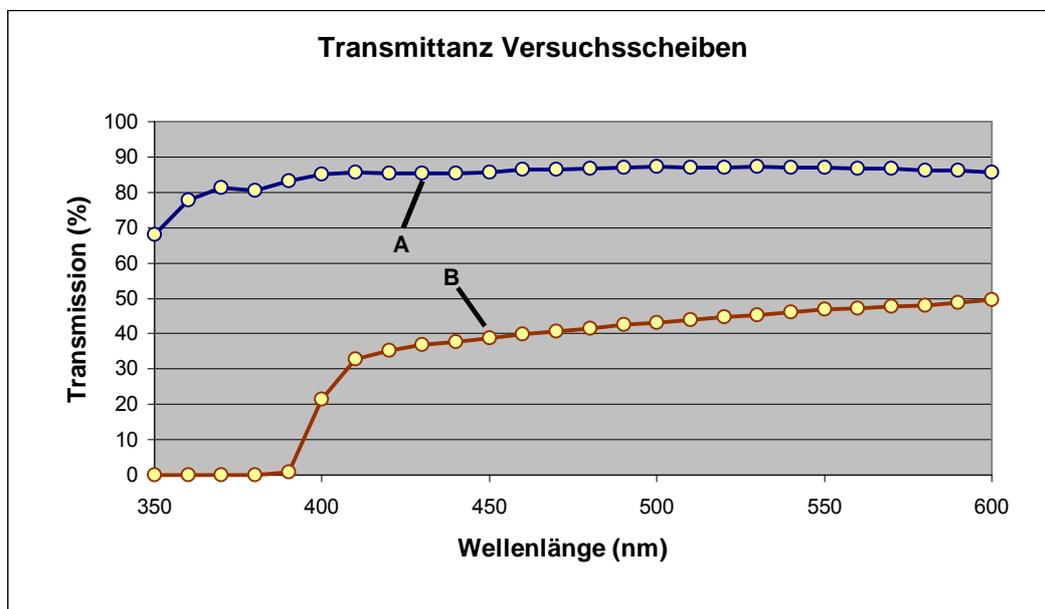


Abbildung 5: Spektrale Transmittanz (Lichtdurchlässigkeit). A: Floatglas 4mm, B: Acrylglas – „Plexi smoke“(PLEXIGLAS SOUNDSTOP © SMOKY BROWN)

Alle Markierungen wurden einheitlich auf 4mm starkem Floatglas untersucht. Die im Labor gemessenen Werte der Transmittanz (Abb.5) entsprechen den im Vorjahr für dieses Glas gemessenen Werten. Die 15mm starke Acrylscheibe „Plexi smoke“ entspricht im UV-Bereich der im Vorjahr untersuchten farblosen Plexiglasscheibe SOUNDSTOP® (vollständige Absorption bis 390nm, im sichtbaren Bereich beträgt die Lichtdurchlässigkeit 40-50%).

## 2.6 Tageszeit und Lichtverhältnisse bei den Versuchen

### 2.6.1 Tageszeit

Abhängig vom Netzfang der Beringungsstation (höchste Aktivität der Vögel in den Morgenstunden) fanden 53,5% der Versuche vor 9:00 Uhr statt. Abb.6 zeigt die zeitliche Verteilung der Experimente über die Stunden der Untersuchungstage.

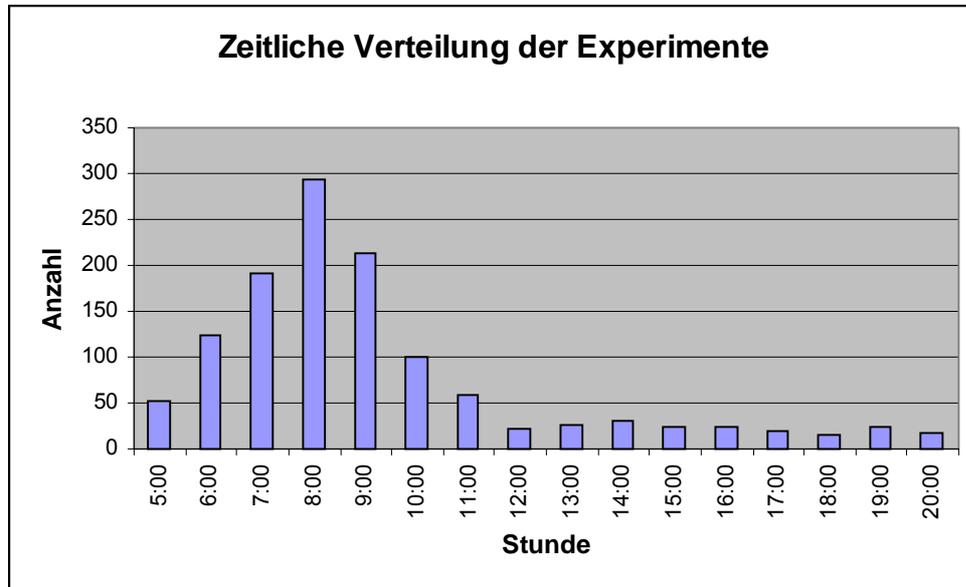


Abbildung 6: Zeitliche Verteilung der Experimente (n=1.237; vgl. Tab.3). Der Großteil der Versuche findet in den Morgenstunden, zur Zeit der höchsten Aktivität der Vögel statt.

### 2.6.2 Globalstrahlung

Die Globalstrahlung (vgl. 2.3.2) betrug im Untersuchungszeitraum zwischen 0 und  $1.000 \text{ Wm}^{-2}$  (Abb.7), wobei der Median in der Klasse  $<300$  ( $200 - 300 \text{ Wm}^{-2}$ ) liegt. Das entspricht den Verhältnissen im Jahr 2006.

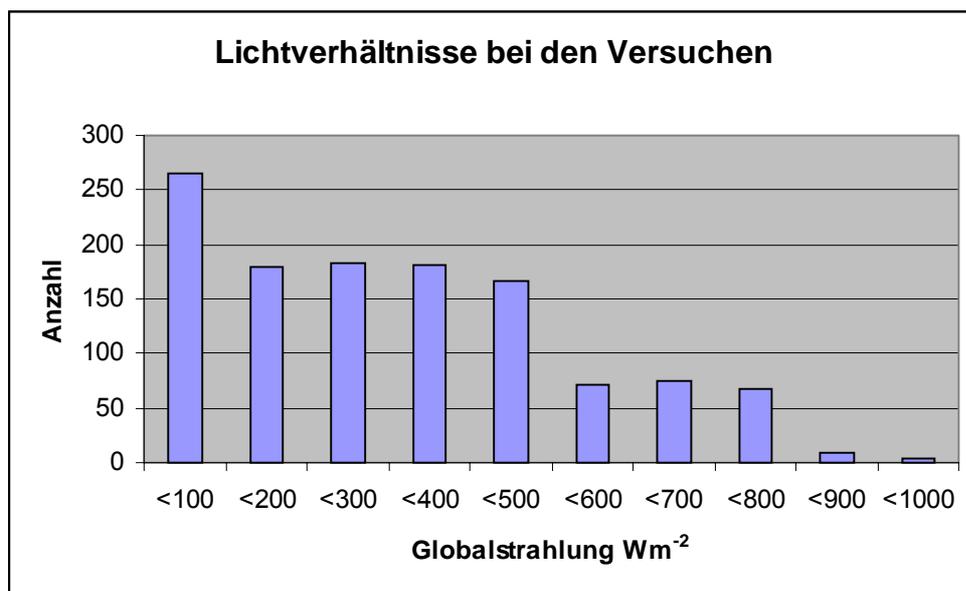


Abbildung 7: Anzahl von Versuchen (n=1.237) unter bestimmten Lichtverhältnissen (Globalstrahlung).

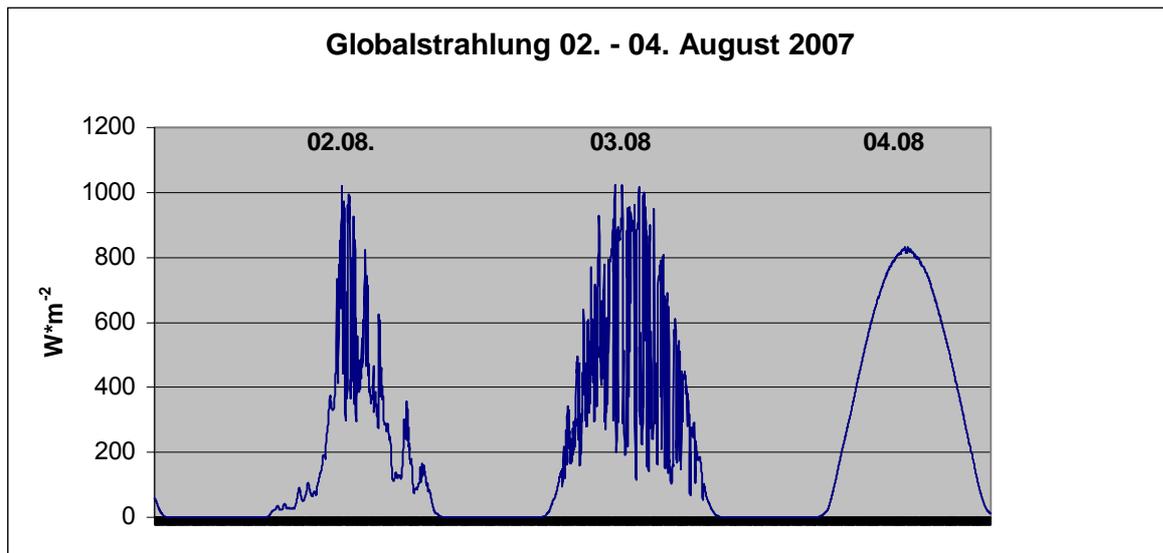


Abbildung 8: Globalstrahlung an zwei wolkigen (02.08., 03.08.) und einem wolkenlosen Tag (04.08.). Bewölkung vermindert die Strahlung, doch kann unter bestimmten Voraussetzungen an Wolkentagen die Strahlung durch starke Reflexion an den Wolken größer sein als an wolkenfreien Tagen.

Die Intensität der Globalstrahlung ist zu Mittag am höchsten. An bewölkten Tagen ist die Globalstrahlung im Mittel geringer. Abb.8 zeigt aber, dass gerade die höchsten Werte der Globalstrahlung an wolkigen Tagen erreicht werden, da weiße Wolken in stärkerem Maße reflektieren als der blaue Himmel. In der Abbildung erkennt man an den Zacken der Kurve für den 02.08. und den 03.08. Wolkendurchgänge, während am 04.08. die glatte Kurve auf ungetrübten Sonnenschein hinweist. Am wolkigen 03.08. betrug das Maximum  $1.023\text{Wm}^{-2}$ , am wolkenlosen 04.08.  $818\text{Wm}^{-2}$ . Etwa 45% der Versuche fanden bei Strahlungswerten  $<250\text{Wm}^{-2}$ , 55% bei einer Globalstrahlung  $>250\text{Wm}^{-2}$  statt (vgl. Tab.5).

### 2.6.3 Lichtintensität hinter den Versuchsscheiben

Die Beleuchtung des Scheibenhintergrundes mit vertikaler Messebene betrug zwischen 0 und  $240\text{Wm}^{-2}$ . Die Hälfte der Versuche fand bei Lichtintensitäten  $<90\text{Wm}^{-2}$  statt, die andere Hälfte bei Lichtintensitäten  $>90\text{Wm}^{-2}$  (vgl. Tab.6). Der Zusammenhang zwischen Globalstrahlung und Lichtintensität im Scheibenhintergrund ist in RÖSSLER ET AL. 2007 dargestellt.

## 2.7 Untersuchungszeitraum

Der Untersuchungszeitraum lag zwischen dem 29. Juni und 16. September. In einer ersten Tranche (29. Juni - 23. Juli) wurden „Glasdekor 50“, „Glasdekor 10 v“, „Schwarz horizontal“ und „Plexi smoke“ getestet, gleichzeitig auch „10 v“, und die Farben Blau, „Gelb glänzend“ und „Orange“ getestet, diese aber über die zweite Tranche gestreckt (29. Juli – 20. August). Die zweite Tranche umfasste die Markierungen „10 v strichliert einseitig“ und „10 v strichliert zweiseitig“ sowie nach dem Verlauf der ersten Tranche interessant erscheinende ergänzende Untersuchungen wie „Glasdekor 25“ und „Grün“. In einer dritten Tranche wurde wegen der Ergebnisse mit „Gelb glänzend“ noch eine Untersuchung „Gelb matt“ angehängt. Über den gesamten Untersuchungszeitraum hinweg fanden Kontrollversuche mit zwei unmarkierten Glasscheiben statt.

## 2.8 Versuchsvögel

Als Versuchsvögel werden alle Vögel herangezogen, die während des Untersuchungszeitraumes von der Beringungsstation gefangen und beringt bzw. kontrolliert werden und denen ein Versuch zumutbar erscheint. Jungvögel mit nicht abgeschlossenem Gefiederwachstum und Vögel, die Erschöpfungserscheinungen zeigen sowie Arten, die auf Grund ihrer Größe für den Versuch ungeeignet erscheinen, werden gleich nach der Beringung freigelassen.

Tabelle 2: Artenliste der 1.422 ausgewerteten Versuchsflüge (42 Arten) und Anzahl der Versuchsvögel.

Vogelart		Anzahl	Vogelart		Anzahl
Eisvogel	<i>Alcedo atthis</i>	2	Teichrohrsänger	<i>Acrocephalus scirpaceus</i>	20
Wendehals	<i>Jynx torquilla</i>	9	Drosselrohrsänger	<i>Acrocephalus arundinaceus</i>	41
Buntspecht	<i>Dendrocopos major</i>	1	Gelbspötter	<i>Hippolais icterina</i>	2
Kleinspecht	<i>Dendrocopos minor</i>	2	Sperbergrasmücke	<i>Sylvia nisoria</i>	2
Rauchschwalbe	<i>Hirundo rustica</i>	1	Klappergrasmücke	<i>Sylvia curruca</i>	8
Schafstelze	<i>Motacilla flava</i>	11	Dorngrasmücke	<i>Sylvia communis</i>	163
Bachstelze	<i>Motacilla alba</i>	4	Gartengrasmücke	<i>Sylvia borin</i>	50
Heckenbraunelle	<i>Prunella modularis</i>	1	Mönchsgrasmücke	<i>Sylvia atricapilla</i>	113
Rotkehlchen	<i>Eritacus rubecula</i>	7	Zilpzalp	<i>Phylloscopus collybita</i>	10
Nachtigall	<i>Luscinia megarhynchos</i>	14	Fitis	<i>Phylloscopus trochilus</i>	17
Blauehlchen	<i>Luscinia svecica</i>	21	Halsbandschnäpper	<i>Ficedula albicollis</i>	1
Hausrotschwanz	<i>Phoenicurus ochruros</i>	1	Blaumeise	<i>Parus caeruleus</i>	53
Gartenrotschwanz	<i>Phoenicurus phoenicurus</i>	4	Kohlmeise	<i>Parus major</i>	96
Braunkehlchen	<i>Saxicola rubetra</i>	4	Pirol	<i>Oriolus oriolus</i>	3
Schwarzkehlchen	<i>Saxicola torquata</i>	14	Neuntöter	<i>Lanius collurio</i>	134
Amsel	<i>Turdus merula</i>	8	Raubwürger	<i>Lanius excubitor</i>	1
Singdrossel	<i>Turdus philomelos</i>	11	Feldsperling	<i>Passer montanus</i>	153
Feldschwirl	<i>Locustella naevia</i>	6	Grünling	<i>Carduelis chloris</i>	12
Schlagschwirl	<i>Locustella fluviatilis</i>	3	Stieglitz	<i>Carduelis carduelis</i>	33
Schilfrohrsänger	<i>Acrocephalus schoenobaenus</i>	108	Goldammer	<i>Emberiza citrinella</i>	9
Sumpfrohrsänger	<i>Acrocephalus palustris</i>	215	Rohrammer	<i>Emberiza schoeniclus</i>	54
			<b>Summe</b>		<b>1.422</b>

Es werden erstmalig gefangene und frisch beringte Vögel sowie bereits im Versuchszeitraum gefangene und beringte Vögel (Wiederfänge) und bereits in einem der Vorjahre beringte Vögel (Altfänge) in den Versuch einbezogen. Die Vögel werden anschließend an die Beringung bzw. Kontrolle durch das Beringungsteam einzeln in Säckchen zum Tunnel gebracht und sofort dem Versuch unterzogen. Daraus ergibt sich ein von den lokalen Gegebenheiten geprägtes Artengefüge von Vögeln und eine von der Beringung abhängige Reihenfolge der Versuchsvögel. Tab.2 zeigt die Artenliste der Versuchsvögel für 1.422 Versuche (alle Versuche, auch ungültige, vgl. Tab.3) im Jahr 2007.

Es wurden 42 Arten in den Versuch einbezogen. Ein Drittel der Vögel (darunter 113 Mönchsgrasmücken, 53 Blau-  
meisen, 96 Kohlmeisen und 153 Feldsperlinge) zählt zu typischen Anflugopfern des Siedlungsraumes, und alle untersuchten Vögel sind potenzielle Anflugopfer der offenen Landschaft.

Todesfälle: Es kam während der Versuche zu drei Todesfällen. Zwei Sumpfrohrsänger flogen (trotz Abhängung der höchsten 5cm) sehr hoch ins Netz und wurden an die (gepolsterte) Decke geschleudert, eine Kohlmeise starb vermutlich infolge Stress oder Erschöpfung. Es kam zu keinen weiteren Verletzungen an Tunnel oder Versuchs-  
scheiben.

### 3 ERGEBNISSE

#### 3.1 Überblick über das Datenmaterial

Tabelle 3: Struktur der Auswertungsdaten 2007.

Versuche	Anzahl	%		Anzahl	%	
Alle	1.422	100				
	▼		▶	185	13,0	ungültig
Gültig	1.237	87,0				
	▼		▶	19	1,3	mittig
Eindeutig	1.218	85,7				
	▼		▶	129	9,1	Kontrollversuche
ergebnisrelevant	1.089	76,6				
	▼		▶	85	6,0	Getöntes Plexiglas
Markierungen	1.004	70,6				

Von 1.422 durchgeführten Versuche (Tab. 3) sind 1.237 gültig, 185 mussten ausgeschieden werden. 1.218 Anflüge waren eindeutig einer der Seiten (links oder rechts) zuzuordnen, 19 mittige Anflüge wurden ebenfalls ausgeschieden. Es gingen 1.089 Versuche in die Auswertung, in 129 (eindeutigen) Kontrollversuchen wurde der Verlauf der Experimente auf Links- oder Rechts-*biases* kontrolliert. Von den 1.089 ausgewerteten Experimenten entfielen 1.004 auf Markierungen im engeren Sinne und 85 auf die getönte Scheibe „Plexi smoke“.

#### 3.2 Versuchsergebnisse

##### 3.2.1 Ergebnisüberblick

Abb.9 zeigt die Ergebnisse aller Versuche mit einer Stichprobe von jeweils n=81 bis n=87. Im Schnitt kam es bei den untersuchten Markierungen 2007 zu 12,3% „Fehlentscheidungen“ also Flucht in Richtung markierter Scheibe statt in Richtung unmarkierter Referenzscheibe. Vier Markierungen („10 v strichliert zweiseitig“, „Glasdekor 25“ und „Glasdekor 50“ und Streifen in der Farbe „orange“ unterschreiten die 10%-Marke. „Glasdekor 10 v“ und „gelb glänzend“ überschreiten die 20%-Marke.

Die links äußerste Säule zeigt das Ergebnis der Referenzmarkierung „10 v“ im Jahr 2006 im Vergleich mit dem rechts danebenstehenden Ergebnis für „10 v“ 2007. Die Ergebnisse sind ident. Die Säule am rechten Rand der Grafik zeigt das Ergebnis für die getönte Scheibe „Plexi smoke“ mit 35,3% „Fehlentscheidungen“. Das Ergebnis liegt deutlich unter 50%, das heißt, sie wird tendenziell gemieden. Alle Markierungen inklusive der getönten Scheibe „Plexi smoke“ werden von den Vögeln wahrgenommen und zumindest tendenziell vermieden. In Kap.4.2 werden die in Abb.9 dargestellten Ergebnisse im Einzelnen diskutiert.

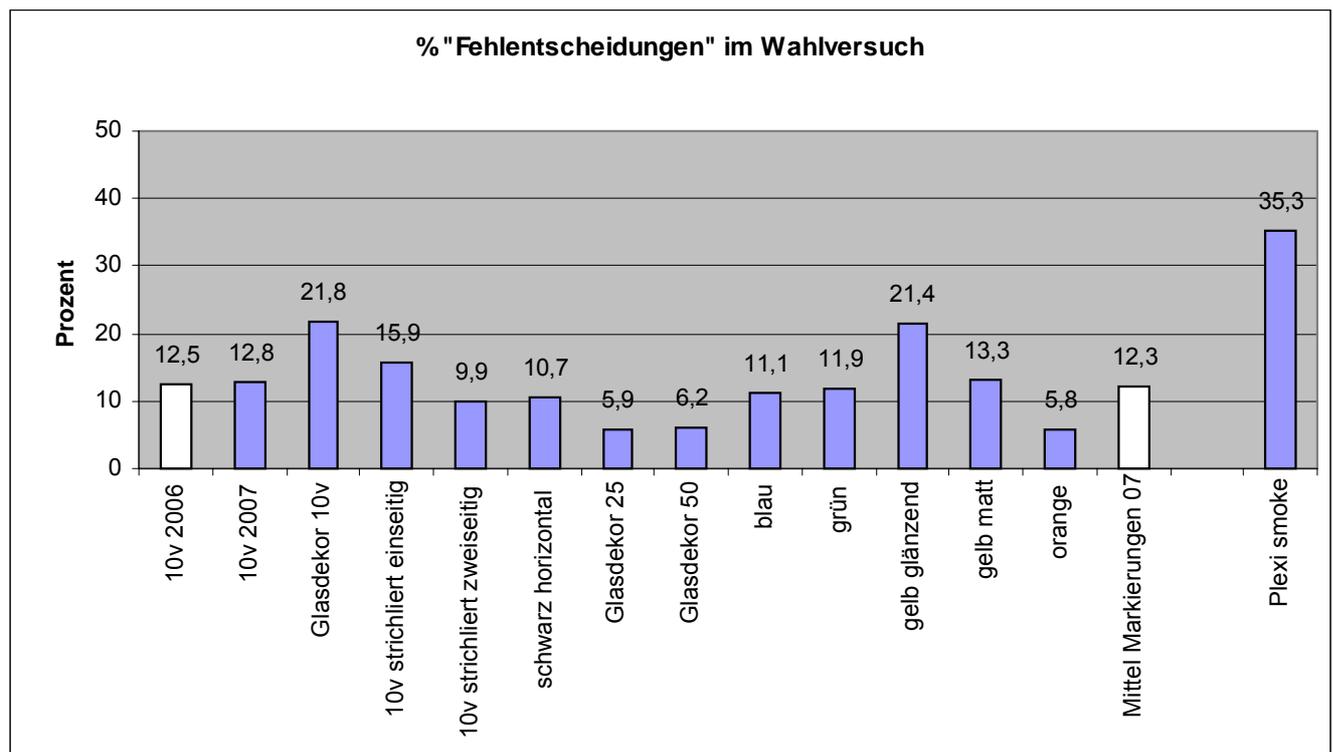


Abbildung 9: Relative Häufigkeit von „Fehlentscheidungen“ (Anflüge an markierte Glasscheiben) im Wahlversuch mit unmarkierter Referenzscheibe.

Die statistische Analyse der Ergebnisse für die untersuchten Markierungen (ohne „Plexi smoke“) zeigt eine hochsignifikante Abweichung von der Gleichverteilung (Pearson  $\chi^2=25,13$ ;  $n=1004$ ,  $p<0,009$ ), die v. a. auf die Ergebnisse für „Glasdekor 10 v“ ( $res_{adst}=2,6$ ) und „gelb glänzend“ ( $res_{adst}=2,4$ ) zurückgehen.

Ein Vergleich der Farben untereinander (Tab.4) zeigt signifikante Unterschiede (Pearson  $\chi^2=9,719$ ,  $n=418$ ,  $p<0,05$ ). Die Residualanalyse zeigt eine signifikante Abweichung nach oben von „gelb glänzend“ ( $res_{adst}=2,3$ ). Die Residuen der „Fehlentscheidungen“ von „orange“ weichen deutlich nach unten ab ( $res_{adst}=-1,8$ ).

Tabelle 4: Vergleich der Wirksamkeit färbiger Streifen ( $n=418$ ). Häufigkeiten (obere Zeile) und standardisierte Residuen (untere Zeile) „falscher“ und „richtiger“ Entscheidungen im Wahlversuch.

Markierungen	Falsch	Richtig	Summe
blau	9	72	81
	-,4	,2	
gelb glänzend	18	66	84
	2,3	-,9	
gelb matt	11	72	83
	,1	-,1	
grün	10	74	84
	-,2	,1	
orange	5	81	86
	-1,8	,7	
<b>Summe</b>	<b>53</b>	<b>365</b>	<b>418</b>

### 3.3 Versuchsergebnisse unter Berücksichtigung der Lichtverhältnisse

Da nicht auszuschließen ist, dass bestimmte wirksame Markierungen bei bestimmten Lichtverhältnissen weniger gut oder auch deutlich besser wahrgenommen werden und es eventuell möglich wäre, für bestimmte Standorte spezielle Eignungen zu finden und spezielle Empfehlungen zu geben, sollen die Ergebnisse nach Beleuchtungsverhältnissen differenziert dargestellt werden. Es stellen sich folgende Fragen:

- Ist die Wirksamkeit bestimmter Markierungen abhängig von den Lichtverhältnissen?
- Sind bestimmte Markierungen z. B. in der Dämmerung wirksamer als andere?

Welche Markierungen eignen sich am besten, wenn im Hintergrund nur wenig Vegetation und viel Himmel sichtbar ist?

Die Messwerte der Lichtverhältnisse sind in Kap.2.6 dargestellt. Wie im Vorjahr wird nach drei Kategorien untersucht:

- Globalstrahlung
- Lichtintensität im Hintergrund der Scheiben
- klarer Himmel (Sonne) / Bewölkung (diffuse Lichtverhältnisse)

Durch eine Messlücke am 06.08.2007 gibt es für 28 Versuche und vier Kontrollen keine Messwerte. Dadurch gehen auch 15 fehlerlose Versuche mit der Markierung 10 v strichliert zweiseitig nicht in die Auswertung ein.

Im Unterschied zu RÖSSLER ET AL. (2007) wird bei der Analyse der Ergebnisse des Jahres 2007 (Kap.3.3) nur nach zwei (statt nach drei) Lichtklassen unterschieden. Ein direkter Vergleich der diesjährigen Ergebnisse mit jenen des Jahres 2006 ist daher nicht möglich. Bereits im Vorjahr wurde diskutiert, dass jede Verringerung der Stichprobengröße bereits in einen kritischen Bereich führt und nur kumulierte Betrachtungen möglich sind.

#### 3.3.1 Einfluss der Globalstrahlung

Ein Pyranometer oberhalb des Tunnels misst das auf eine horizontale Fläche einwirkende Licht. Eine Auswertung nach zwei Intensitätsklassen der Globalstrahlung (Tab.5) zeigt einen signifikanten Einfluss auf die Wirksamkeit von Markierungen (Wilcoxon-Test,  $n=12$  (ohne „Plexi smoke“),  $p<0,05$ ; ). Bei höherer Strahlungsintensität ist die Zahl der „Fehlentscheidungen“ größer, die Markierungen im paarweisen Vergleich wirken in fast allen Fällen besser bei geringerer als bei stärkerer Strahlung. Nur für „schwarz horizontal“ gilt das Gegenteil.

Tabelle 5: Verteilung von Anflügen an die markierte Scheibe („Fehlentscheidungen“) bei verschiedener Helligkeit (auf horizontaler Fläche gemessene Globalstrahlung) nach zwei Lichtklassen (bis  $250\text{Wm}^{-2}$ ,  $250\text{--}1.000\text{Wm}^{-2}$ ).

Markierung	Lichtintensität Globalstrahlung $\text{Wm}^{-2}$			
	<250		>250	
	n	% Fehler	n	% Fehler
10v	36	5,6	50	18,0
Glasdekor 10v	33	12,1	54	27,8
10v strichliert einseitig	43	7,0	31	25,8
10v strichliert zweiseitig	41	9,8	25	16,0
schwarz horizontal	34	20,6	50	4,0
Glasdekor 25	37	5,4	43	7,0
Glasdekor 50	43	4,7	38	7,9
blau	30	10,0	51	11,8
grün	26	11,5	58	12,1
gelb glänzend	30	13,3	54	25,9
gelb matt	36	11,1	47	14,9
orange	50	6,0	36	5,6
Plexi smoke	35	40,0	50	32,0
<b>Summe</b>	<b>474</b>	<b>11,6</b>	<b>587</b>	<b>16,4</b>

Tabelle 6: Verteilung von Anflügen an die markierte Scheibe („Fehlentscheidungen“) bei verschiedener Helligkeit des Hintergrundes der Versuchsscheiben ( $<90\text{Wm}^{-2}$ ,  $>90\text{Wm}^{-2}$ ); auf vertikaler Fläche gemessene diffuse Himmelsstrahlung + Reflexion von Vegetation und Boden.

Markierung	Lichtintensität Hintergrund $\text{Wm}^{-2}$			
	<90		>90	
	n	% Fehler	n	% Fehler
10v	45	11,1	41	14,6
Glasdekor 10v	43	14,0	44	29,5
10v strichliert einseitig	40	7,5	34	23,5
10v strichliert zweiseitig	31	9,7	35	14,3
schwarz horizontal	37	18,9	47	4,3
Glasdekor 25	46	4,3	34	8,8
Glasdekor 50	39	5,1	42	7,1
blau	40	10,0	41	12,2
grün	34	17,6	50	8,0
gelb glänzend	33	21,2	51	21,6
gelb matt	39	10,3	44	15,9
orange	51	5,9	35	5,7
Plexi smoke	46	39,1	39	30,8
<b>Summe</b>	<b>524</b>	<b>13,4</b>	<b>537</b>	<b>15,1</b>

### 3.3.2 Einfluss der Lichtintensität im Scheibenhintergrund

Ein Pyranometer hinter dem Tunnel misst das auf eine lotrechte, der Sonne abgewandte Fläche einwirkende Licht. Es zeigt sich bei einer Berechnung nach zwei Intensitätsklassen (Tab.6) kein Einfluss auf die Ergebnisse der Versuche (Wilcoxon-Test,  $n=12$ ,  $p<0,15$ ).

### 3.3.3 Einfluss direkter Sonnenstrahlung

Bei Sonnenschein wird Sonnenlicht gleichmäßig über die Versuchsscheiben verteilt auf die Markierungen gespiegelt. Bei diffusem Licht ist die Lichtverteilung weniger gleichmäßig. Es wurde bei den Versuchen protokolliert, ob die Sonne sichtbar oder von Wolken verdeckt war. 689 Versuche fanden bei Sonne, 400 bei bewölktem Himmel statt.

Ein Vergleich der Versuche, die bei Sonne und jenen, die bei bewölktem Himmel stattgefunden haben (Tab.7), zeigt keinen signifikanten Unterschied (Wilcoxon-Test,  $n=12$ ,  $p<0,15$ ). Allerdings zeigt „Schwarz horizontal“ ein deutlich besseres Ergebnis bei Sonne, „Blau“ ein deutlich besseres Ergebnis bei bewölktem Himmel.

Tabelle 7: Verteilung von Anflügen an die markierte Scheibe bei Sonne bzw. Bewölkung

Markierung	Sonne		keine Sonne	
	<i>n</i>	% Fehler	<i>n</i>	% Fehler
10v	51	15,7	35	8,6
Glasdekor 10v	65	23,1	22	18,2
10v strichliert einseitig	37	13,5	45	17,8
10v strichliert zweiseitig	51	7,8	30	13,3
schwarz horizontal	53	3,8	31	22,6
Glasdekor 25	54	7,4	27	3,7
Glasdekor 50	49	6,1	36	5,6
blau	53	15,1	28	3,6
grün	63	12,7	21	9,5
gelb glänzend	55	23,6	29	17,2
gelb matt	51	13,7	32	12,5
orange	43	4,7	43	7,0
Plexi smoke	64	31,3	21	47,6
<b>Summe</b>	<b>689</b>		<b>400</b>	

## 4 DISKUSSION

### 4.1 Methodische Integrität der Versuche

Eine Voraussetzung für die Integrität der Versuche besteht in der zufälligen Reihenfolge der einzelnen Versuche und in der gleichen Häufigkeit der Seite (links oder rechts), auf der die Versuchsscheiben im Wahlversuch angebracht wurden. Die Ausschlag gebenden Fragen sind:

- Waren die Versuchsscheiben gleich häufig links und rechts montiert?
- Sind die Anflüge bei den Kontrollversuche gleichmäßig auf die linke und die rechte Seite verteilt?
- Sind die Ergebnisse („richtig“/„falsch“) der Versuche gleichmäßig auf die linke und die rechte Seite verteilt?
- Unterscheiden sich die Resultate der Markierung „10 v“ aus den Jahren 2006 und 2007 von einander oder führt die Versuchswiederholung zum selben Resultat?

#### 4.1.1 Gleichverteilung der Versuchsscheiben auf linke und rechte Seite

Da nicht auszuschließen ist, dass unauffällige Unregelmäßigkeiten in der Tunnelsymmetrie oder im Scheibenhintergrund zu einer systematischen Bevorzugung einer der beiden Seiten (links oder rechts) führt, muss die zu prüfende Markierung gleich häufig links wie rechts angebracht werden. Tab.8 zeigt die Verteilung der Versuchsscheiben auf die Positionen links und rechts in 1.089 Versuchen mit markierten Scheiben. Die Versuchsscheiben waren gleichverteilt (Pearson-Chi<sup>2</sup> =1,544, n=1.089, n.s.).

Tabelle 8: Position der markierten Scheiben in 1.089 Wahlversuchen.

Versuchsscheibe	Links montiert	rechts montiert	Summe
10v	45	41	86
Glasdekor 10v	42	45	87
10v strichliert einseitig	41	41	82
10v strichliert zweiseitig	40	41	81
schwarz horizontal	39	45	84
Glasdekor 25	41	44	85
Glasdekor 50	43	38	81
blau	42	39	81
grün	42	42	84
gelb glänzend	44	40	84
gelb matt	43	40	83
orange	43	43	86
Plexi smoke	42	43	85
<b>Summe</b>	<b>547 (50,2%)</b>	<b>542 (49,8%)</b>	<b>1.089</b>

#### 4.1.2 Gleichverteilung der Anflüge auf linke und rechte Seite

Sofern die Versuchsanlage nicht zu einer systematischen Bevorzugung der linken oder rechten Seite führt, sollten die Kontrollversuche eine zufällige Verteilung der Anflüge (links / rechts) ergeben. Unter der Voraussetzung, dass sich die Versuchsscheiben gleich häufig links wie rechts befunden haben und durch zufällige zeitliche Verteilung der Versuche keine Abhängigkeit von Störgrößen besteht, sollte auch die Gesamtheit der gewerteten Versuche eine Gleichverteilung der Anflüge ergeben.

Sowohl die Kontrollversuche (n=129) als auch die gewerteten Versuche (n=1.089) zeigen eine Gleichverteilung der Anflüge auf die linke und die rechte Seite (Tab.9).

Tabelle 9: Verteilung der Anflüge bei 129 Kontrollversuchen (unmarkiert gegen unmarkiert) und 1.089 ausgewerteten Wahlversuchen (markiertes gegen unmarkiertes Floatglas und Acryl markiert, Acryl unmarkiert und „Luft“ gegen unmarkiertes Floatglas). Prozentwerte in Klammern.

	Anflug		Summe
	links	rechts	
Kontrollversuche	69 (53,5)	60 (46,5)	129
Versuche	543 (49,9)	546 (50,1)	1.089
<b>Summe</b>	<b>612 (50,2)</b>	<b>606 (49,8)</b>	<b>1.218</b>

#### 4.1.3 Gleichverteilung der „richtigen“ und der „Fehlentscheidungen“ auf linke und rechte Seite

Die getrennte Betrachtung der Verteilung der Anflüge nach „Fehlentscheidung“ (Anflug auf die markierte Scheibe) und „richtige Entscheidung“ (Anflug auf die unmarkierte Scheibe) zeigt in beiden Fällen (links/rechts) keine Unterschiede zur Gleichverteilung (Tab.10).

Tabelle 10: Verteilung der Anflüge der gewerteten Versuche (nur Markierungen, n=1.089) bei 153 „Fehlentscheidungen“ und 936 „richtigen Entscheidungen“. Prozentwerte in Klammern.

Anflug an	Anflug		Summe
	links	rechts	
Markierung („falsch“)	77 (50,3)	76 (49,7)	153
Referenzscheibe („richtig“)	466 (49,8)	470 (50,2)	936
<b>Summe</b>	<b>543 (49,9)</b>	<b>546 (50,1)</b>	<b>1.089</b>

#### 4.1.4 Wiederholbarkeit - Kontrollexperiment mit „10 v“ liefert exakt das selbe Ergebnis

Ausreichende Stichprobengröße und zufrieden stellende Konstanz der Einflussgrößen sollten sich in einer hohen Wiederholbarkeit der Experimente niederschlagen. Die Markierung 10 v, wurde bisher in allen vier Untersuchungsjahren getestet, um ein Maß für die Wiederholbarkeit der Experimente zu finden. Bereits im Versuchstunnel der Jahre 2004 und 2005 zeigte sich unter den damaligen Bedingungen im zweiten Jahr eine Wiederholung des Ergeb-

nisses des ersten Jahres. 2004: 83 richtige und vier Fehlentscheidungen (4,6%), 2005: 84 richtige und sechs Fehlentscheidungen (6,7%); vgl. RÖSSLER (2005).

Im Flugtunnel II stellte sich durch die dem Freiland angepassten Lichtverhältnisse ein schlechteres Ergebnis für „10 v“ ein, das aber wiederum in beiden aufeinanderfolgenden Jahren, identisch untersucht, zum selben Ergebnis führt. Tab.11 zeigt die Wiederholung des Experiments im Flugtunnel II in den Jahren 2006 und 2007. 2006: 70 richtige und zehn Fehlentscheidungen (12,5%), 2007: 75 richtige und elf Fehlentscheidungen (12,8%). Die fast identischen Zahlen sind Hinweise auf eine hohe Repräsentativität der gewonnenen Ergebnisse. Dieser Kontrollversuch wird aber auch in den Folgejahren fortgesetzt, um mit möglichst großen Stichproben die Wiederholbarkeit der Experimente zu beobachten, und eventuell eine höhere als bisher angenommene Aussagekraft der Studien zu untermauern.

Tabelle 11: Wiederholbarkeit: Vergleich der 2006 durchgeführten und 2007 wiederholten Experimente mit „10 v“.

Versuchsjahr	Anflug an	
	unmarkierte Referenzscheibe („richtig“)	markierte Versuchsscheibe („falsch“)
2006	70	10 (12,5%)
2007	75	11 (12,8%)

#### 4.1.5 Methodische Integrität der Untersuchung

Aus 4.1.1 bis 4.1.4 ergibt sich, dass die 1.089 gewerteten Versuche innerhalb der für die Versuche geltenden Prämissen konsistent und gültig sind. Die Prüfung der Positionen der Versuchsscheiben zeigt keine Abweichungen von der Gleichverteilung. Die Verteilung der Anflüge auf die linke bzw. rechte Seite zeigt weder bei 129 Kontrollversuchen, noch bei der Gesamtheit der 1.089 Versuche, weder bei den „Fehlentscheidungen“ noch bei den „richtigen“ Entscheidungen Abweichungen von der Gleichverteilung. Die Wiederholung für den Referenzversuch „10 v“ liefert ein identisches Ergebnis. Methodische Integrität ist folglich vollständig gewährleistet.

## 4.2 Diskussion der Versuchsergebnisse

### 4.2.1 Vorbemerkungen

In der Besprechung der einzelnen Markierungen wird mit Hinblick auf empfehlenswerte Eignung (Kap.4.4) auf das 10%-Kriterium Bezug genommen, einem „Grenzwert“ von 10% „Fehlentscheidungen“. Dies entspricht der Entwicklung nachvollziehbarer Qualitätskriterien bzw. Kriterien, die unseren Empfehlungen zu Grunde liegen. Erläuterungen finden sich in Kap.1.2 und Kap.4.3.

### 4.2.2 „10 v“

Das Kontrollexperiment zur Ermittlung der Wiederholbarkeit der Experimente mit „10 v“ ist in 4.1.4 erläutert. Bemerkenswert ist, dass diese durch Jahre von uns empfohlene Markierung das nun angestrebte 10%-Kriterium nicht erreicht. Eine entsprechende Diskussion dieser Tatsache findet sich in Kap.4.4.2.

### 4.2.3 „10 v strichliert einseitig“ – nur mittelmäßig wirksam

Die „verdünnte Version“ von „10 v“, die Markierung „10 v strichliert einseitig“ schneidet mit 15,9% Fehlentscheidungen geringfügig schlechter ab als „10 v“ (12,8%) . Obwohl statistisch nicht signifikant, kann nicht ausgeschlossen werden, dass sich die „Verdünnung“ auf die Wirksamkeit der Markierung negativ auswirkt. Das 10%-Kriterium wird in jedem Fall verfehlt.

### 4.2.4 Körnerhof–Markierung („10 v strichliert zweiseitig“) sehr wirksam

Für die Markierung „10 v strichliert zweiseitig“ wird die soeben besprochene Markierung auf der Vorder- und der Rückseite der Glasscheibe deckungsgleich aufgebracht. Dieses Verfahren wurde am Körnerhof angewandt, um im Fall von Spiegelungen zu verhindern, dass die Markierung im Falle der Annäherung eines Vogels von der „Rückseite“ der Scheibe nicht gesehen wird. Diese Markierung ist aus unserer Sicht aber gleichzeitig ein erster Versuch, Bewegungsparallaxen zu erzeugen.

Die Versuche zeigen ein Ergebnis mit weniger als 10% Fehlentscheidungen, erfüllen also das 10%-Kriterium. Das Ergebnis spricht vorerst dafür, dass Bewegungsparallaxen tatsächlich die Wirksamkeit erhöhen können.

Tab.12 zeigt eine Zusammenstellung verschiedener Varianten der Markierung „10 v“, gereiht nach ihrer Wirksamkeit. Die Ergebnisse liegen nahe beieinander und es wäre Spekulation, die Wirkung von Deckungsgrad oder „3D-Effekten“ eindeutig zu bestimmen. Die Rangfolge ist aber plausibel und spricht für 3D-Effekte und dafür, dass die Reduktion der Linienbreite geringere Effekte haben kann als Unterbrechungen der Linien. Diese Hypothesen müssten aber mit größerer Stichprobe untersucht werden.

Tabelle 12: Anteil beklebter Fläche und „Fehlentscheidungen“ bei weißen Markierungen der Versuchsjahre 2006 und 2007.

<b>Markierung</b>		
	<b>Anteil beklebter Fläche (%)</b>	<b>Fehlentscheidungen im Wahlversuch (%)</b>
<b>10 v strichliert zweiseitig</b>	8,4 beiderseits	<b>9,9</b>
<b>10 v</b>	16,7	<b>12,5</b> (2006) <b>12,8</b> (2007)
<b>10 v // 5 w</b> (wie 10 v aber 5mm breite Linien)	4,8	<b>13,9</b> (2006)
<b>10 v strichliert einseitig</b>	ca. 5,0	<b>15,9</b>

### 4.2.5 Weiße Markierungen bei schwacher Lichtintensität besser

Nach der Untersuchung der Körnerhof-Markierungen ist eine umfassendere Betrachtung weißer Markierungen hinsichtlich ihrer Wirksamkeit bei unterschiedlichen Lichtverhältnissen interessant.

Die Auswertung nach Lichtklassen ist wegen der geringen Stichprobengröße problematisch, eine Zusammenschau der weißen Markierungen „10 v“, „10 v strichliert einseitig“ und „10 v strichliert zweiseitig“ (Tab. 13) zeigt aber, dass

bei allen weißen Markierungen die Ergebnisse bei geringen Lichtintensitäten (Globalstrahlung und Hintergrund) besser sind als bei hohen Intensitäten (vgl. auch Kap.3.3)

Tabelle 13: Lichtverhältnisse und „Fehlentscheidungen“ bei weißen Markierungen (vgl. Tab. 5,6).

Markierung	„Fehlentscheidungen“ %	
	Globalstrahlung	
	gering (<250Wm <sup>-2</sup> )	hoch (>250Wm <sup>-2</sup> )
10 v	5,6	18,0
10 v strichliert einseitig	7,0	25,8
10 v strichliert zweiseitig	9,8	16,0
	Lichtintensität Hintergrund	
	gering (<90Wm <sup>-2</sup> )	hoch (>90Wm <sup>-2</sup> )
10 v	11,1	14,6
10 v strichliert einseitig	7,5	23,5
10 v strichliert zweiseitig	9,7	14,3

#### 4.2.6 Glasdekorfolien sehr gut, wenn mit Folie nicht gespart wird

Glasdekorfolie steht als „graue“ Markierung (vgl. Abb.4) zwischen weißen und schwarzen Markierungen. Die Folie wirkt milchglasartig, die vertikalen Streifen sind in geschwungene Formen aufgelöst, vermutlich wird das Erscheinungsbild als sanft und daher gefällig empfunden. „Glasdekor 25“ und „Glasdekor 50“ werden, wie ein „Feldversuch“ im Amtshaus der Stadt Wien (Muthgasse) ergeben hat, auch bei einem hohen Anteil beklebter Fläche (25%, 50%) positiv aufgenommen.

Die Markierungen „Glasdekor 25“ und „Glasdekor 50“ haben hervorragend abgeschnitten. Das hat mit dem hohen Anteil beklebter Fläche und nicht und nicht mit einer besonderen Eignung von Glasdekorfolie zu tun, wie das Begleitexperiment mit „Glasdekor 10 v“ zeigt: vergleicht man „Glasdekor 10 v“ mit „10 v“, also idente Muster, einmal in 2cm breiten Streifen Glasdekorfolie, das andere Mal in 2cm breiten weißen Streifen ausgeführt, zeigt sich ein deutlicher Unterschied (Abb.9). „Glasdekor 10 v“ ist signifikant schlechter als der Durchschnitt der untersuchten Markierungen. Man kann also davon ausgehen, dass der Anteil beklebter Fläche am hervorragenden Abschneiden von „Glasdekor 25“ und „Glasdekor 50“ hohen Anteil hat.

Tab.14 fasst den Anteil beklebter Fläche und die Ergebnisse der Versuche mit Glasdekorfolien zusammen. Es zeigt sich, dass sich der Unterschied zwischen 16% und 25% beklebter Fläche in der Wirksamkeit sehr stark niederschlägt, aber keine weitere Verbesserung durch eine weitergehende Verdichtung der Markierung auf 50% der Fläche erzielt werden kann.

Tabelle 14: Anteil beklebter Fläche und „Fehlentscheidungen“ bei Glasdekorfolien.

	Anteil beklebter Fläche (%)	Fehlentscheidungen im Wahlversuch (%)
Glasdekor 10 v	16,7	21,8
Glasdekor 25	25,0	5,9
Glasdekor 50	50,0	6,2

In allen Fällen, bei „Glasdekor 10 v“ deutlicher als bei „Glasdekor 25“ und „Glasdekor 50“, ist die Anzahl der „Fehlentscheidungen“ im Wahlversuch bei schwachem Licht und Bewölkung geringer, die Wirksamkeit also höher, als bei starkem Licht und Sonnenschein (Tab.15).

Tabelle 15: Lichtverhältnisse und „Fehlentscheidungen“ bei Glasdekorfolien (vgl. Tab. 5,6,7).

Markierung	„Fehlentscheidungen“ %	
	Sonne	
	nein	ja
Glasdekor 10v	18,2	23,1
Glasdekor 25	5,6	6,1
Glasdekor 50	3,7	7,4
	Globalstrahlung	
	gering (<250Wm <sup>-2</sup> )	hoch (>250Wm <sup>-2</sup> )
Glasdekor 10v	12,1	27,8
Glasdekor 25	5,4	7,0
Glasdekor 50	4,7	7,9
	Lichtintensität Hintergrund	
	gering (<90Wm <sup>-2</sup> )	hoch (>90Wm <sup>-2</sup> )
Glasdekor 10v	14,0	29,5
Glasdekor 25	4,3	8,8
Glasdekor 50	5,1	7,1

#### 4.2.7 „Schwarz-horizontal“ bestätigt und präzisiert „Acryl horizontal“ (2006)

Der 2005 und 2006 untersuchten Versuchscheibe „Acryl horizontal“ (PLEXIGLAS SOUNDSTOP ®, vgl. RÖSSLER ET AL. 2007) wurde „Schwarz horizontal“ nachempfunden, um zu untersuchen, ob sich die überraschend guten Werte der Plexiglasscheibe mit eingelagerten schwarzen Polyamidfäden mit den Materialien Glas und Klebefolie reproduzieren ließen. Die Ergebnisse weichen geringfügig von einander ab, der Unterschied beträgt 3%-Punkte, statistisch nicht signifikant. Das Ergebnis bestätigt, dass schwarze horizontale Markierungen, wenn die horizontalen Linien in ausreichend geringem Abstand aufgetragen werden (<3cm), besser wirksam sein können als „10 v“.

Ein Vergleich des Ergebnisses von „Acryl horizontal“ aus dem Jahr 2006 (damals nach drei Lichtintensitätsklassen, nun nach zwei Klassen) mit „Schwarz horizontal“ aus dem Jahr 2007 zeigt, dass die beiden Kandidaten nicht in einen Topf geworfen werden dürfen (Tab.16). Während die Acrylscheibe mit schwarzen eingelagerten Polyamid-Fäden nur gering unterschiedliche Werte zeigt, sind die Unterschiede bei der Glasscheibe mit Folienstreifen sehr groß, schlechte Ergebnisse bei geringer Lichtintensität, gute Ergebnisse bei hoher Lichtintensität – sowohl Globalstrahlung als auch Hintergrund.

Was für beide Kandidaten aber gilt: sie sind hervorragend für sehr helle Standorte und sehr helle Hintergründe geeignet. „Schwarz horizontal“ ist bei hoher Globalstrahlung und bei hellem Hintergrund die Markierung mit den besten Ergebnissen (vgl. auch Tab. 5 und 6).

Tabelle 16: Lichtverhältnisse und „Fehlentscheidungen“ bei schwarzen Markierungen.

Markierung	„Fehlentscheidungen“ %	
	Globalstrahlung	
	gering (<250Wm <sup>-2</sup> )	hoch (>250Wm <sup>-2</sup> )
Acryl horizontal (2006)	8,8	5,9
Schwarz horizontal (2007)	20,6	4,0
	Lichtintensität Hintergrund	
	gering (<90Wm <sup>-2</sup> )	hoch (>90Wm <sup>-2</sup> )
Acryl horizontal (2006)	7,3	6,8
Schwarz horizontal (2007)	18,9	4,3

#### 4.2.8 Farben: Orange stellt alles in den Schatten

Die Untersuchung der Farben Blau, Grün, Gelb und Orange stellt einen ersten Versuch dar, Antworten auf die zahlreichen Anfragen zu finden, ob bestimmte Farben für Markierungen zur Verhinderung von Vogelanprall geeignet sind und ob es Unterschiede zwischen den Farben gibt.

Alle Farben wurden mit vertikalen Linien bei nur 4,8 % Anteil markierter Fläche getestet, dem Minimum bisher untersuchter Markierungen. Von Seiten der verwendeten Materialien mussten sich die Untersuchungen nach Verfügbarkeit richten. „Blau“ und „Grün“ wurden mit handelsüblichen Isolierbändern getestet, „Gelb“ wurde mit zwei handelsüblichen Folien (glänzend bzw. matt) getestet, für „Orange“<sup>1</sup> wurde zur Spraydose gegriffen (vgl. Tab.1).

Unter Vernachlässigung der Materialinkonsistenz und unterschiedlicher Reflexionseigenschaften (Breite des reflektierten Spektralbereiches und Intensität der Reflektanz; vgl. Abb.4) waren zwei Hypothesen vorstellbar:

- Landvögel müssen im „gelb-grünen Milieu“ besonders gut wahrnehmen und differenzieren können (vgl. RÖSSLER ET AL. 2007) und werden daher bei grün und gelb bessere Resultate liefern als bei blau und orange.
- Chromatische Kontraste zwischen Hintergrund und Markierung geben den Ausschlag, Vögel werden bei Orange und Blau bessere Resultate liefern als bei Grün und Gelb.

Die Ergebnisse sprechen für die zweite These, wobei weder von der Wahrnehmung und Physiologie der Vögel noch von der Seite der physikalischen Eigenschaften her das letzte Wort gesprochen ist.

Wie immer, „Orange“ unterschreitet deutlich die 10%-Marke und steht als hervorragend geeignet außer Diskussion, sogar ein Verhältnis von 19:1 ist möglich. Auch bei der Differenzierung verschiedener Lichtverhältnisse (Kap.3.3) zeigen sich keine Schwächen, weshalb auch bei schwachen Lichtverhältnissen von einer hohen Wirksamkeit ausgegangen werden kann.

<sup>1</sup> Um häufigen Missverständnissen vorzubeugen: Es handelt sich bei Orange nicht um eine Leuchtfarbe.

„Blau“, „Grün“ und „Gelb matt“ liegen im Mittelfeld der untersuchten Markierungen. Da Verbesserungen möglich sind, sollten diese Farben nicht ohne weitere Tests ausgeschlossen werden.

Nicht einzuordnen ist derzeit das signifikant schlechtere Abschneiden von „Gelb glänzend“. „Gelb glänzend“ wurde im Zeitraum 29.06. bis 20.08. untersucht, Gelb matt im Zeitraum 31.08. bis 15.09.. Die Vegetation war möglicherweise durch Trockenheit im Frühsommer und Niederschläge im August im Zeitraum Juli/August weniger vital als danach, „grünere“ Verhältnisse und somit besserer chromatischer Kontrast zu gelb im September sind nicht ganz auszuschließen, aber nicht sehr wahrscheinlich. Spektrale Reflektanz-Messungen der Hintergrundvegetation gibt es nicht.

Ob das Ergebnis ein Hinweis darauf ist, dass matte Oberflächen der Markierungen prinzipiell besser geeignet sind als spiegelnde, kann vorerst noch nicht gesagt werden, dies ist aber nicht auszuschließen. Wie dem auch sei, Gelb wird vermutlich nie zu den best geeigneten Farben zählen, obwohl gleichzeitig festgestellt werden muss, dass Blau, Grün und „Gelb matt“ gleich gute Werte wie „10 v“ erzielten.

#### 4.2.9 Getönte Scheiben sind nicht gefährlicher als helles Floatglas

Mit der Untersuchung der getönten Plexiglasscheibe „Plexi smoke“ wurde der Frage nachgegangen, ob getönte Scheiben eher ungünstig oder eher günstig sind. Vorstellbar war eine „Schlupfloch“-Hypothese, nach der Vögel z. B. in Hecken die dunklen Stellen anfliegen. Die getestete Plexiglasscheibe tönt das Durchlicht graubraun oder rauchfarben, und obwohl nur 40- 50% des sichtbaren Lichtes transmittiert werden (Abb.5), ist der visuelle Unterschied zu Floatglas geringer als erwartet (Abb.3).

Die getönte Scheibe stellt sich im Versuch nicht als besondere Vogelfalle heraus, sie wird tendenziell sogar gemieden. Die tendenzielle Vermeidung geht nicht auf die UV-Absorption zurück, wie die Ergebnisse in RÖSSLER ET AL. (2007) zeigen. Als wirksame Maßnahme zur Vermeidung von Vogelanprall sollten getönte Scheiben aber nicht angesehen werden.

### 4.3 Das 10%-Kriterium unter Berücksichtigung des Zufallsfehlers

Aus den Hohenauer Untersuchungen leiten sich jährlich aktualisierte Empfehlungen ab. Bisher galt die Regel „signifikant besser als signifikant wirksam“, das entsprach etwa 85:15. Es zeichnete sich aber ab, dass Markierungen entwickelt werden können, die weniger als 10% „Fehlentscheidungen“ in den Wahlversuchen bedingen. Die Erfahrungen sprechen vorerst dafür, hier einen Grenzwert festzulegen und (ausschließlich) Markierungen zu empfehlen, die diesen Grenzwert unterschreiten. Da jeglicher Grenzwert den Zufallsfehler einer Stichprobe einkalkulieren muss, muss die Wahrscheinlichkeit, mit der dieser Wert unterschritten wird, herangezogen werden. Es muss mit einem statistischen Verfahren die Zugehörigkeit zur Klasse der empfehlenswerten Markierungen abgeschätzt werden.

Das zugehörige statistische Verfahren, ein einseitiger Binomialtest, geht von einem 15%-Limit aus und testet auf einem Signifikanzniveau von 95%. Dies bietet die Möglichkeit ähnliche Versuche ähnlicher Stichprobenhäufigkeit mit unseren Ergebnissen vergleichen zu können. Bei geringeren Stichproben (weniger zuverlässige Ergebnisse) muss das Gesamtergebnis besser sein, um das Signifikanzniveau von 95% zu erreichen. Bei größeren Stichproben (zuverlässigere Ergebnisse) sollte das Signifikanzniveau erhöht werden.

Wie Tab.17 und 18 zeigen, wurde das Limit im Jahr 2006 von einer Markierung, im Jahr 2007 von vier Markierungen signifikant unterschritten.

Tabelle 17: Binomialtest einseitig für 2006 (vgl. RÖSSLER ET AL. 2007). Prüfung, ob die beobachteten Ergebnisse der Wahlversuche in mehr als 85% der Fälle wahrgenommen und vermieden wurden.

Scheibe	„falsch“	„richtig“	% „falsch“	Wirkung > 85%
Acryl horizont	6	79	7,1	<b>p&lt;0,05</b>
10v //5 schwarz	11	74	12,9	n.s.
10v //5 weiß	11	68	13,9	n.s.
10v // schwarz/weiss	13	73	15,1	n.s.
10v	10	70	12,5	n.s.
15v	15	67	18,3	n.s.
10h	17	60	22,1	n.s.
Punkte	12	69	14,8	n.s.

Tabelle 18: Binomialtest einseitig für 2007. Prüfung, ob die beobachteten Ergebnisse der Wahlversuche in mehr als 85% der Fälle wahrgenommen und vermieden wurden.

Scheibe	„falsch“	„richtig“	% „falsch“	Wirkung > 85%
10v	11	75	12,8	n.s.
Glasdekor 10v	19	68	21,8	n.s.
10v strichliert einseitig	13	69	15,9	n.s.
10v strichliert zweiseitig	8	73	9,9	<b>p&lt;0,05</b>
Schwarz horizontal	9	75	10,7	n.s.
Glasdekor 25	5	80	5,9	<b>p&lt;0,01</b>
Glasdekor 50	5	76	6,2	<b>p&lt;0,05</b>
Blau	9	72	11,1	n.s.
Grün	10	74	11,9	n.s.
Gelb glänzend	18	66	21,4	n.s.
Gelb matt	11	72	13,3	n.s.
Orange	5	81	5,8	<b>p&lt;0,01</b>
Plexi smoke	30	55	35,3	n.s.

Statistisch betrachtet (vgl. 4.3) ist weder für „10 v“ noch für „10 v strichliert einseitig“, wohl aber für „10 v strichliert zweiseitig“ gesichert, dass der kritische Wert unterschritten wird. Glasdekorfolien unterschreiten den kritischen Wert im Falle von 25% markierter Fläche. Die Wirkung der Farben „Blau“, „Grün“ und „Gelb matt“ liegt nahe bei der Wirkung von „10 v“, und verfehlen die Gruppe der besten Markierungen. „Orange“ hingegen bringt ein hoch signifikantes Ergebnis.

Die Wirksamkeit einer Markierung als Ergebnis der beschriebenen Wahlversuche ist wichtiger Bestandteil des letztlich im Freiland auftretenden Kollisionshäufigkeit. Spiegelungen an der Oberfläche, seitliche Anflugsrichtungen, und andere Faktoren, die zweckmäßigerweise im Experiment ausgeschlossen werden, können das Kollisionsrisiko verschärfen. Andererseits sind die Versuchsbedingungen im Flugtunnel sehr strikt – hoher Stress, räumliche Enge

und das generelle Fehlen einer Ausweichmöglichkeit. Die relativen Unterschiede zwischen zweidimensionalen Markierungen, die auf der Oberfläche einer Glasscheibe angebracht sind, lassen jedenfalls eindeutige Aussagen über einzelne solcher Markierungen im Vergleich zu anderen zu.

## 4.4 Aktualisierte Empfehlungen

### 4.4.1 Empfohlene Markierungen

Aus dem vorangehenden Kapitel wird ersichtlich, dass

- **Glasdekorfolien**, die hohe öffentliche Akzeptanz versprechen, empfohlen werden können. Der Anteil beklebter Fläche soll aber 25% nicht unterschreiten. Eine besondere Eignung besteht für schattige Standorte oder beschattete oder dunkle Hintergründe.
- die Empfehlung von **Acryl horizontal** (PLEXIGLAS SOUNDSTOP®) voll aufrecht bleibt. Eine besondere Eignung besteht an hellen Standorten und vor hellen Hintergründen.
- die Farbe **Orange** vorerst als einzige hervorragend geeignete Farbe aus der Untersuchung hervorgegangen ist und sowohl bei starkem als auch bei schwachem Licht wirksam ist. Daher wird Orange als Möglichkeit einer färbigen Markierung empfohlen. Da die Wirkung vermutlich auf chromatischen Kontrasten beruht, muss davon ausgegangen werden, dass sie ihre Wirkung verliert, wenn Rot-Komponenten im Hintergrund vertreten sind.
- die bereits sehr prominent realisierte **Körnerhof-Markierung** („10 v strichliert zweiseitig“) das Limit signifikant unterschreitet. Dazu muss noch angemerkt werden, dass die Markierung in unseren Versuchen einen geringeren Anteil markierter Fläche aufweist als die realisierte Markierung.

Weitere Versuche sollen weitere Informationen über Erzeugung und Wirkung von Bewegungsparallaxen oder „3D-Effekten“ bringen.

**Wichtig:** Für alle diese Empfehlungen gilt, dass die in den Jahren 2004 bis 2006 herausgearbeiteten Ansprüche an die Form einer Markierung berücksichtigt werden müssen, insbesondere:

- Horizontalabstand einzelner Elemente soll 10cm nicht überschreiten
- Vertikalabstand einzelner Elemente soll 3cm nicht überschreiten

Nach weiteren Versuchen spricht nichts dagegen, dass bei Linienmarkierungen die **Linienbreite** bis auf 0,5cm reduziert werden kann (Ausnahme: Glasdekor).

### 4.4.2 Weniger geeignete Markierungen

Alle getesteten Farben mit Ausnahme von Orange scheiden vorerst als ungeeignet im Sinne des 10%-Kriteriums aus. Ebenso wenig erreichen schwarze horizontale Linien auf Glas („Schwarz horizontal“) das Limit, wirken aber hervorragend bei hohen Lichtintensitäten; hier ist das letzte Wort noch nicht gesprochen. „10 v strichliert einseitig“ rangiert in der Kategorie der im Vorjahr noch empfohlenen Markierung „10 v // 5 weiß“ (vertikalen Streifen mit 0,5cm Breite, RÖSSLER ET AL. 2007).

„10 v“ gehört nun nicht mehr zu den besten und kann von uns konsequenter Weise nicht mehr empfohlen werden. Nach heutigem Wissen ist es also besser, mit viel Glasdekorfolie, mit Acryl horizontal (PLEXI SOUNDSTOP ®) oder mit oranger Farbe zu markieren. Natürlich wird es einige Zeit brauchen, um diese Erkenntnisse zu etablieren und an ihrer Akzeptanz zu arbeiten. Daher soll das Kind nicht mit dem Bade ausgeschüttet werden, und es ist unserer Ansicht nach weiterhin vertretbar, „10 v“ als eine Markierung, die bereits im öffentlichen Bewusstsein als wirksame Markierung angekommen ist, anzuwenden. Derzeit werden immer noch Greifvogelsilhouetten appliziert oder es wird auch an sensiblen Standorten gar nicht markiert. „10 v“ ist in dieser Situation bereits eine wesentliche Verbesserung. Daraus sollte jetzt aber nicht abgeleitet werden, dass alle in diesem Bericht als ähnlich wirksam erkannten Markierungen eingeführt werden sollten. Langfristig soll „10 v“ durch die wesentlich wirksameren Alternativen, die in diesem Bericht empfohlen werden, oder durch weitere bessere Markierungen in der Zukunft liegender Entwicklungen ersetzt werden.

## 4.5 Die nächsten Schritte

Wie bereits angeklungen, existiert nun ein grober Überblick über die Wirkung einiger Farben. Da die Reflexionseigenschaften der untersuchten Markierungen ziemlich inhomogen waren (Reflektanz und Breite des reflektierten Spektrums) soll im nächsten Jahr auf Basis der vorliegenden ersten Ergebnisse ein weiterer Probelauf mit verschiedenen Farben stattfinden. Derzeit ist geplant, nach einer Vorauswahl im Lichtlabor, auf Basis der Sprühlacke weiterzuarbeiten. Der vorliegende Bericht gibt weitere Hinweis darauf, dass das Thema räumlich wirksamer Markierungen noch nicht ausgereizt ist und eventuell sehr gute Erfolge möglich sind. Auf dem Gebiet der Glasdekorfolien wird vielleicht nochmals auf die 2004 als wirksam erkannte „Koralle“ (RÖSSLER & ZUNA-KRATKY 2004) zurückgegriffen, und eventuell eine Möglichkeit der Reduktion beklebter Fläche auf unter 25% getestet werden. Glasdekorfolie ähnelt Milchglas, geätzttem oder sandgestrahltem Glas oder gebürstetem Plexiglas. Inwiefern die Reflexionseigenschaften der erwähnten Alternativen denen der Glasdekorfolie ähneln, muss im Labor geprüft werden. Auch hier muss noch Entwicklungsarbeit geleistet und im Flugtunnel getestet werden.

## 5 ZUSAMMENFASSUNG

Im vorliegenden vierten „Jahresbericht“ der seit 2004 an der Biologischen Station Hohenau –Ringelsdorf durchgeführten Experimente zum Problemfeld Vogelanprall an Glas. Die in einem Flugtunnel mit Wildvögeln getesteten Markierungen werden schrittweise weiter entwickelt, wobei auf den jährlichen Ergebnissen im Folgejahr aufgebaut wird. Im Lauf der Jahre konnte gezeigt werden, dass in vielen Fällen bereits sehr geringe Größen von Markierungselementen ausreichen, um von Vögeln wahrgenommen zu werden. Markierungen dürfen in nicht zu großen Abständen über die gesamte Scheibe verteilt sein, ansonsten werden „Schlupflöcher“ zwischen den Markierungen erkannt.

Für den vorliegenden Bericht wurde erstmals die Eignung verschiedener Farben untersucht. Es zeigte sich, dass mit orangen Markierungen unabhängig von den herrschenden Lichtverhältnissen die besten Ergebnisse erzielt werden. Vorerst wird von der Verwendung anderer Farben abgeraten. Weiters wurde eine in Wien auf einer großen Lärmschutzwand angewendete Markierung nachträglich experimentell untersucht. Dies ist ein erstes Experiment zur Wirkung von Bewegungsparallaxen. Die Markierung kann empfohlen und positive Effekte durch „Scheinbewegung“ können nicht ausgeschlossen werden. Glasdekorfolien bilden einen weiteren Schwerpunkt. Es wurde deutlich, dass der Anteil beklebter Fläche bei halbtransparenten Folien höher sein muss als bei nicht transparenten Markierungen, dass unter bestimmten Voraussetzungen aber sehr hohe Effektivität erreicht wird. Dies gilt für alle und besonders für schlechte Lichtverhältnisse. Nach zwei Untersuchungsjahren mit weißen und schwarzen Markierungen zeigt sich, dass weiße Markierungen immer bei geringen Lichtintensitäten besser abschneiden als bei hohen. Schwarze Markierungen sind besonders bei hohen Lichtintensitäten (sonnige Standorte, hell beleuchtete Hintergründe) geeignet. Schließlich wurde auch untersucht, ob von getönten Scheiben eine größere Gefahr ausgeht, als von klarem Floatglas. Dies konnte ausgeschlossen werden.

Im vorliegenden Bericht werden nur noch Markierungen empfohlen, die mit weniger als 10% „Fehlentscheidungen“ im Wahlversuch abgeschnitten haben. Es wird ein statistisches Verfahren angewendet, das auch auf andere, ähnlich angelegte Versuche umlegbar ist. Es ist unter den gegebenen Voraussetzungen nicht mehr angeraten, in Lebensräumen, in denen Glas das Leben von Vögeln gefährdet, Markierungen zu verwenden, die in entsprechenden Wahlversuchen schlechtere Ergebnisse als 9:1 erreichen. Der bloße Nachweis, dass eine Markierung „wirksam“ ist, ist nach heutigem Kenntnisstand nicht mehr ausreichend.

## 6 LITERATUR

Klem, D. Jr. (1990): Collisions between birds and windows: Mortality and prevention. J. Field Ornithol. 61: 120 – 128.

Richarz, K (2001): Glasscheiben als Vogelfallen. In: Richarz, K., E. Bezzel & M. Hormann Hrsg.: Taschenbuch für Vogelschutz. Wiebelsheim, Aula-Verl. 630 pp.

Rössler, M. & T. Zuna-Kratky (2004): Vermeidung von Vogelanprall an Glasflächen. Experimentelle Versuche zur Wirksamkeit verschiedener Glasmarkierungen bei Wildvögeln. Wiener Umweltschutz, Wien. 40 pp. Online: [www.wien.gv.at/wua/pdf/studie-roessler-zuna.pdf](http://www.wien.gv.at/wua/pdf/studie-roessler-zuna.pdf)

Rössler, M. (2005): Vermeidung von Vogelanprall an Glasflächen. Weitere Experimente mit 9 Markierungstypen im unbeleuchteten Versuchstunnel. Wiener Umweltschutz, Wien. 27 pp. Online: [www.wien.gv.at/wua/pdf/studie-roessler.pdf](http://www.wien.gv.at/wua/pdf/studie-roessler.pdf)

Rössler, M., W. Laube & P. Weihs (2007): Vermeidung von Vogelanprall an Glasflächen. Experimentelle Untersuchungen zur Wirksamkeit von Glasmarkierungen unter natürlichen Lichtbedingungen im Flugtunnel II. Wiener Umweltschutz, Wien. 56 pp. Online: [www.wien.gv.at/wua/pdf/studie-roessler-2007.pdf](http://www.wien.gv.at/wua/pdf/studie-roessler-2007.pdf)

### Anschriften der Autoren:

korrespondierend:

DI Martin Rössler  
Matznergasse 8/28  
A- 1140 Wien  
m\_roessler@gmx.at

Ing. Wolfgang Laube  
Universität f. Bodenkultur  
Institut für Meteorologie  
Peter Jordan Str. 82  
A-1190 Wien  
wolfgang.laube@boku.ac.at