

Hypothesen-Pipeline

Testbare Experiment-Designs für unkonventionelle Steuerungs-Hebel synanthroper Populationen

Autor: Thomas Schüller **Marke:** Syntagma Forschung · Wien **Kontakt:** forschung@tschueller.com
ORCID: 0009-0003-9799-6747 **Ablage:** forschung.tschueller.com · Plattform: syntagma-science.com
Werk: FORSCH-PROV0464 **Status:** Unabhängig, kein eigenes Rechtssubjekt; privat finanziert **Version:** v0.2, Oktober 2026 (Erstentwurf April 2026, Autor-Block auf Syntagma-Marke nachgezogen) **Lizenz:** CC BY 4.0 **Begleitdokument zu:** Vergleichende Verwilderungs-Sensorik (Schüller 2026)

Vorbemerkung

Dieses Dokument operationalisiert die fünf Hebelpunkt-Hypothesen aus dem Forschungspapier in konkrete, testbare Experiment-Designs. Es ist ausdrücklich keine Anleitung zur Eigendurchführung am Balkon, sondern ein methodisches Vorgehensmodell für eine systematische empirische Untersuchung. Die Designs orientieren sich an forschungsethischen Standards (kein Schaden, kein Stress über das in der Beobachtungsforschung übliche Maß hinaus, keine Eingriffe in Reproduktion oder Gesundheit) und an open-science-konformen Methodikkriterien (Falsifizierbarkeit, Vorregistrierung-fähig, Replikation möglich).

Jeder Eintrag enthält: Hypothese, abgeleitete Vorhersage, Messoperationalisierung, Mindest-Setup, Datenerfassungs-Architektur, statistische Analysestrategie, Mindeststichprobe, Laufzeit, Validitätsrisiken und ethische Überlegungen.

Pipeline-Übersicht

ID	Hypothese	Mindestlaufzeit	Hardware-Komplexität	Wissenschaftlicher Reifegrad
H1	Variabilität reduziert Habituation	12 Wochen	mittel	gut belegt – Bestätigungsstudie
H2	Predator-Feld verschiebt Sub-Pop-FID	16 Wochen	hoch	belegt für RobotFalcon, offen für statische Cues
H3	Generations-Inokulation wirkt überproportional	24 Wochen	mittel-hoch	wenig erforscht, hochinteressant
H4	Olfaktorische Predator-Marker stören Mental-Map	8 Wochen	niedrig-mittel	spekulativ, neuartig
H5	Niche-Reduktion dominiert alle anderen Effekte	24 Wochen	niedrig (Beobachtung)	gut belegt – Bestätigungsstudie

H1 — Variabilitäts-Hypothese

Hypothese: Habituation an einen aversiven visuellen Reiz ist primär eine Funktion der Stimulus-Vorhersagbarkeit. Reize mit randomisiert variierender Wellenlänge, Frequenz, Zeitpunkt und Intensität führen zu signifikant langsamerer Effektivitäts-Abnahme als statische Reize gleicher mittlerer Intensität.

Vorhersage: Über einen Beobachtungszeitraum von 12 Wochen wird ein hochvariabler Reiz mehr als 60% seiner initialen Wirkung beibehalten, während ein statischer Reiz auf unter 20% zurückfällt. Die Differenz ist statistisch signifikant ($p < 0.05$, mit $n \geq 30$ pro Gruppe).

Messoperationalisierung

Primäre Outcome-Variable: Anzahl Tauben-Landungen pro Tag in einem definierten Zielareal (z.B. Balkon-Geländer oder Sims).

Sekundäre Variablen: - Verweildauer pro Landung (Sekunden) - Wiederbesuchsrate (gleicher Tag, Folgetag) - Anteil aborted approaches (Anflug ohne Landung)

Mindest-Setup

Komponente	Beschreibung
Standorte	Mindestens drei vergleichbare Balkons in derselben urbanen Subpopulation (gleiche Häuserblock-Charakteristik)
Bedingungen	Statisch (Kontrolle), Niedrig-Variabel (Kontrolle 2), Hoch-Variabel (Test) – randomisierte Zuordnung
Hardware	Pro Standort: RPi 5 + Kamera (24/7 Detektion) + LED-Array (464nm + 633nm) + GPIO-Steuerung
Software	YOLOv8n fine-getuned auf Tauben, Logging in SQLite
Reiz-Variabilität	Hoch: Wellenlänge alterniert randomisiert zwischen 460-470nm und 625-640nm; Pulsfrequenz randomisiert 0.5-15 Hz; Stimulus-Delay nach Detektion randomisiert 0.3-6 s
Reiz-Statistisch	633nm, 2 Hz, sofortige Auslösung

Datenerfassungs-Architektur

```
[Kamera] → [YOLOv8n Inferenz, 5-7 FPS]
  → bei Detektion (conf > 0.7):
    → Logging: timestamp, bbox, conf
    → Trigger: Stimulus-Selektor (statisch/var)
    → Logging: stimulus_type, params
  → Verhalten 0-30s nach Stimulus tracken
  → Logging: outcome (landed / aborted / stayed)
```

Tägliche Aggregation:

- n_detections, n_landings, n_aborted
- mean dwell time
- return rate within 24h

Statistische Analysestrategie

- **Primärer Test:** Mixed-effects model mit Wochen-Effekt × Bedingung × Standort (random)
- **Vorabregistrierung:** Hypothesen, primäre Outcome, Stichprobengröße, Auswerterichtung — vor

Datenerhebung registrieren

- **Multiple Testing:** Bonferroni-Korrektur bei sekundären Outcomes
- **Effect Size:** Cohen's d für Mittelwertsdifferenzen, η^2 für Interaktionseffekte

Mindeststichprobe

Annahme moderate Effektstärke ($d = 0.5$) bei power = 0.8, $\alpha = 0.05$: $n \geq 64$ Beobachtungstage pro Bedingung. Bei drei Standorten: ≥ 22 Tage pro Standort $\times$ Bedingung. Praktisch: 12 Wochen Laufzeit mit 4-Wochen-Rotation der Bedingungen.

Validitätsrisiken

- **Confounder Wetter/Saison:** durch parallele Erhebung mit Rotation kontrollieren
- **Confounder Nachbar-Aktivität:** Daten-Logging der äußeren Faktoren (Schallpegel, Sichtfelddaten)
- **Hardware-Drift:** wöchentliche Kalibrierung der LED-Helligkeit
- **Detektion-Fehler:** manuelle Validierung an Stichproben (z.B. 5% der Detektionen)

Ethische Überlegungen

LED-Reize bei moderaten Intensitäten (< 500 lux am Tier) sind als nicht-schädlich anzusehen. Keine Auswirkung auf Reproduktion. Keine direkte Verfolgung. Forschungs-Ethikkommission-Antrag ist bei rein verhaltensbeobachtender Studie ohne Einzeltier-Markierung in Österreich i.d.R. nicht erforderlich, sollte aber vorab mit dem zuständigen Institut konsultiert werden.

H2 — Predator-Feld-Hypothese

Hypothese: Die durchschnittliche Flight Initiation Distance (FID) einer lokalen Subpopulation lässt sich durch glaubwürdige bewegliche Predator-Cues auf das Niveau wildlebender Felsentauben verschieben (von 1-2m urban auf > 10 m), und der Effekt ist subpopulations-strukturell und über Wochen stabil.

Vorhersage: Nach 8 Wochen mit periodischer (täglich 2-4 zufällig getimete) RobotFalcon- oder bewegliche-Predator-Modell-Patrouillen in einem Teststadtbereich liegt die mittlere FID gemessener Tauben um ≥ 3 m höher als in einem vergleichbaren Kontrollblock. Der Effekt persistiert mindestens 4 Wochen nach Patrouillen-Ende.

Messoperationalisierung

Primäre Outcome: FID gemessen via standardisiertem Annäherungsprotokoll (Beobachter geht mit konstantem Tempo von 0.5 m/s auf einzeln sitzende Taube zu; Distanz beim Abflug wird gemessen).

Sekundäre: - Schwarmgröße in Hauptbeobachtungspunkten - Aktivitätsmuster (Tageszeit-Verteilung) - Durchschnittliche Aufenthaltsdauer in offenen Flächen

Mindest-Setup

Komponente	Beschreibung
Standorte	Zwei Test- und zwei Kontrollblöcke, vergleichbar in Bebauung, Bevölkerungsdichte, Futterquellen
Predator-Cue	RobotFalcon (Storms et al. 2022 design, ~1.7m Spannweite) oder kommerziell verfügbare Drohne mit Falken-Silhouette
Patrouillen-Schedule	2-4 Patrouillen täglich, randomisiert in Zeitpunkt und Route, 5-15 min Dauer
FID-Messung	Wöchentliche Sessions, mindestens 30 Einzeltier-Messungen pro Block

Datenerfassungs-Architektur

Wochenzyklus:

- Tag 1-7: täglich 2-4 RobotFalcon-Patrouillen (Test) / keine (Kontrolle)
- Tag 7: FID-Messsession (30+ Tiere pro Block)
 - Standardisiertes Annäherungsprotokoll
 - Einzeltier-Beobachtung
 - Datenerfassung: Distanz (m), Tageszeit, Wetter, Tier-Klasse (single/group)

Post-Treatment Phase (Wochen 9-12):

- Keine Patrouillen
- Wöchentliche FID-Messung
- Test auf Persistenz

Statistische Analysestrategie

- **Primärer Test:** ANOVA mit Bedingung (Test/Kontrolle) × Phase (Pre/Treatment/Post) × Standort
- **Mediator-Analyse:** Wenn Effekt zeigt sich, ist die Größe abhängig von Initial-FID (Stadt vs. Vorstadt) oder gleich groß?

Mindeststichprobe

Mind. 30 Einzeltier-FID-Messungen pro Block × Phase × Woche. Bei 4 Blöcken × 12 Wochen × 30 Tiere = 1440 Datenpunkte. Plausibel mit 1-2 geschulten Beobachtern.

Validitätsrisiken

- **Beobachtereffekt:** Beobachter kennt nicht die Bedingungs-Zuordnung (Doppelblind nicht voll möglich, aber Block-Identifikation kann durch Codes erfolgen)
- **Kontaminations-Risiko:** Tauben sind mobil. Mind. 500m Abstand zwischen Test- und Kontrollblock.
- **Saisonale Effekte:** Nicht über Brutzeit-Wechsel hinweg laufen, oder als Kovariate modellieren

Ethische Überlegungen

RobotFalcon-Flüge sind in Österreich unter Drohnenrecht zu prüfen (Austro Control, Klasse je nach Gewicht). Tierschutz: keine direkten Eingriffe, kein Fang, keine Verletzung. Stress-Exposition ist kurzzeitig und entspricht natürlicher Predator-Begegnung. Studie ist im Rahmen der österreichischen Tierversuchsgesetzgebung als reine Beobachtungsstudie zu qualifizieren.

H3 — Generations-Inokulations-Hypothese

Hypothese: Konditionierung im Fledging-Fenster (ca. 6-12 Wochen post hatch) führt zu signifikant stabilerem und langlebigerem Vermeidungsverhalten als Konditionierung adulter Tiere, mit potenzieller kultureller Transmission an Geschwister-Kohorten.

Vorhersage: Tauben, die in ihrem ersten Lebensvierteljahr regelmäßig mit einem aversiven Reiz konfrontiert wurden, zeigen 6 Monate später noch eine signifikant höhere Vermeidungsreaktion auf diesen Reiz als adult-konditionierte Vergleichstiere. Effektstärke $d \geq 0.7$.

Messoperationalisierung

Diese Hypothese ist methodisch deutlich anspruchsvoller, weil sie individuelle Wiedererkennung über lange Zeit erfordert.

Primäre Outcome: Aversionsreaktion auf den konditionierten Reiz zum Nachtest-Zeitpunkt, gemessen als Latenz zur Annäherung, Anteil aborted approaches und FID gegenüber dem Reiz.

Mindest-Setup

Komponente	Beschreibung
Studienpopulation	Stadttauben mit identifizierbaren Nestplätzen (z.B. Kirchturm, Industriegebäude – kooperative Eigentümer notwendig)
Identifikation	Kombination aus Computer-Vision-basiertem Plumage-Hashing (Deep Re-Identification) und ggf. Beringung (durch lizenzierten Beringer) – letzteres ethisch sensibler
Reiz	Kontrollierter Stimulus an Nestplatz-Region, standardisiert in Wellenlänge/Frequenz
Schedule	Tägliche Reiz-Exposition während Fledging-Phase (Wochen 6-12) für Test-Kohorte; keine Exposition für Kontroll-Kohorte gleicher Population
Nachtest	Reiz-Exposition mit gleichen Parametern in Wochen 24-30 (also 12-22 Wochen nach Inokulationsende)

Datenerfassungs-Architektur

Phase 1 (Identifikation, Wochen 1-5): ML-basierte Plumage-Identifikation aller Nestplatz-besuchenden Adulttiere Re-Id-Modell trainieren
Phase 2 (Inokulation, Wochen 6-12): Test-Kohorte: tägliche Reiz-Exposition für markierte Juveniles Kontroll-Kohorte: keine Exposition Logging: jede Detektion, ID, Reaktion
Phase 3 (Pause, Wochen 13-23): Keine Reiz-Exposition Routine-Re-Id
Phase 4 (Nachtest, Wochen 24-30): Reiz-Exposition mit Logging der Reaktion pro identifiziertem Individuum Vergleich Test vs Kontrolle
Phase 5 (Optional, Transmission, Wochen 31-50): Test, ob Geschwister-Kohorten ohne direkte Inokulation Aversion zeigen

Statistische Analysestrategie

- **Primärer Test:** Logistische Regression der Aversionsreaktion mit Kohortenzugehörigkeit, Alter bei Erstexposition, Anzahl Expositionen, Zeit seit letzter Exposition

- **Survival Analysis:** Time-to-extinction der Aversion (Cox-Modell)
- **Multilevel:** Verschachtelte Random Effects (Tier in Kohorte in Population)

Mindeststichprobe

Mind. 20 individuell identifizierte Juveniles pro Kohorte. Bei realistischer ID-Erfolgsrate (~60-70% bei Outdoor-Re-Id auf Tauben): Initial-Sample ~30-35 pro Kohorte, ≥4 Standorte.

Validitätsrisiken

- **Re-ID-Fehler:** Konfusion zwischen ähnlichen Individuen. Validierung durch parallele Beringung an Subset notwendig.
- **Mortalität:** Stadtauben haben hohe Erst-Lebensjahr-Mortalität (~50-70%). Kohorten-Schrumpfung einplanen.
- **Migration:** Junge Tauben können dispersieren. Standortwahl mit guter Nestplatz-Treue (z.B. geschlossene Kirchen) reduziert.
- **Drittvariablen-Effekte:** Konditionierungs-Zeitfenster überlappt mit weiteren Lernerfahrungen — Effekte schwer eindeutig zuzuordnen.

Ethische Überlegungen

Diese Studie ist die ethisch sensibelste der fünf. Beringung erfordert Lizenz und tierschutzrechtliche Genehmigung. Reiz-Exposition während kritischem Lernfenster bedarf besonderer Begründung — sie bietet aber gleichzeitig hohes wissenschaftliches Erkenntnispotenzial. Antrag bei einer Tierversuchskommission in Österreich nach §8 TVG ist erforderlich.

Alternative ohne Beringung: rein verhaltens-bobachtungs-basiertes Design mit ML-ID, was als nicht-invasiv gilt.

H4 — Olfaktorische-Habitat-Marker-Hypothese

Hypothese: Da der olfaktorische Apparat der Taube entwicklungsphysiologisch zentral für Navigation ist, könnten chronische olfaktorische Marker mit Predator-Assoziation eine andere kognitive Verarbeitungstiefe erreichen als generische pflanzliche Repellenzien.

Vorhersage: Über 8 Wochen Exposition zeigt eine olfaktorische Predator-Marker-Mischung (synthetisch hergestellte Komponenten von Marder- oder Greifvogel-Sekreten) signifikant geringere Habituation und höhere Nesting-Vermeidung als pflanzliche Standard-Repellenzien (Pfefferminz/Citronella).

Messoperationalisierung

Primäre Outcome: Anzahl der Nest-Bauversuche pro Standort × Woche.

Sekundäre: - Anflug-Häufigkeit insgesamt - Verweildauer - Saisonale Stabilität (entscheidend, da Olfaktorik durch Wetter stark moduliert wird)

Mindest-Setup

Komponente	Beschreibung
Standorte	4 vergleichbare Nestnischen-Bereiche
Bedingungen	(a) Kontrolle ohne Behandlung, (b) Pfefferminz/Citronella, (c) Synth. Predator-Marker, (d) Predator-Marker rotiert (alle 2 Wochen)
Substanzen	Forschungs-Grade chemische Standards (z.B. 2,4,5-trimethylthiazol als Predator-Marker – bei Mäusen wirksam, bei Tauben unerforscht)
Applikation	Mikro-Diffusoren mit konstanter Abgaberate, wöchentliche Erneuerung

Datenerfassungs-Architektur

Pre-Treatment (Wochen 1-2): Baseline-Beobachtung

Treatment (Wochen 3-10): Substanzen aktiv

 Tägliche Beobachtung: Anflüge, Landungen, Nestbau-Aktivität

 Wöchentliche chemische Analyse der Restkonzentration

Post-Treatment (Wochen 11-12): Substanzen entfernt

 Beobachtung Erholung

Statistische Analysestrategie

- **Primärer Test:** Poisson-Regression der Nest-Bauversuche mit Bedingung × Woche × Standort
- **Survival Analysis:** Time-to-first-nest pro Bedingung

Mindeststichprobe

$n = 4 \text{ Standorte} \times 4 \text{ Bedingungen} \times 12 \text{ Wochen Beobachtung} = 192 \text{ Standort-Wochen}$. Bei plausiblen Effektstärken ausreichend für $d \geq 0.6$.

Validitätsrisiken

- **Wetter:** Olfaktorische Marker werden durch Regen und Wind stark abgeschwächt. Standorte sollten überdacht/geschützt sein.
- **Konzentrations-Drift:** Wöchentliche chemische Validierung der Restkonzentration
- **Andere Tierarten:** Predator-Marker können andere Vogelarten ebenfalls vertreiben. Standort-Auswahl mit minimaler Nicht-Ziel-Diversität ist ratsam.
- **Spekulativität:** Diese Hypothese hat die schwächste Vor-Evidenzbasis. Negative Ergebnisse sollten erwartet und akzeptiert werden.

Ethische Überlegungen

Synthetische Predator-Marker in Forschungsmenge sind chemisch-ethisch unbedenklich. Tierschutz: keine direkten Eingriffe.

H5 — Niche-Entzug-Hypothese

Hypothese: Strukturelle Reduktion der Ressourcen-Attraktivität (Futtermittelverfügbarkeit, Nistplatz-Geometrie) ist in jeder mathematischen Modellierung des Kosten-Nutzen-Theorems wirksamer als jede aversive Maßnahme bei gleichbleibender Ressourcenlage.

Vorhersage: In einem Häuserblock mit koordinierter Maßnahme (Fütterungsverbots-Aufklärung, Müll-Management, Brutkontrollverfahren mit Eieraustausch nach Basel-Modell) sinkt die Tauben-Population innerhalb von 24 Wochen um $\geq 40\%$ gegenüber einem Kontrollblock.

Messoperationalisierung

Primäre Outcome: Standardisierte Tauben-Zählungen an festen Beobachtungspunkten und Tageszeiten.

Sekundäre: - Geschätzte Brutpaar-Anzahl - Beobachtete Fütterungs-Ereignisse durch Anwohner - Müll-Indikatoren

Mindest-Setup

Komponente	Beschreibung
Standorte	2 vergleichbare Häuserblöcke (Test + Kontrolle)
Maßnahme Test	(a) Aufklärungs-Kampagne Anwohner; (b) Müll-Management-Optimierung mit der zuständigen Stelle; (c) Brutkontrolle: regelmäßige Inspektion zugänglicher Nester, Eieraustausch durch lizenzierte Person
Datenerfassung	Zählungen morgens/mittags/abends an je 5 Punkten pro Block

Datenerfassungs-Architektur

Pre-Phase (Wochen 1-4): Baseline-Census in beiden Blöcken

Treatment Phase (Wochen 5-24): Maßnahmen im Test-Block

 Wöchentliche Census in beiden Blöcken

 Monatliche qualitative Erhebung Anwohner-Verhalten

Post-Phase (Wochen 25-32): keine weiteren Maßnahmen

 Persistenz-Erhebung

Statistische Analysestrategie

- **Primärer Test:** Differenz-in-Differenzen-Analyse (DiD) der Populationsentwicklung
- **Sekundär:** Mediator-Analyse: Wie viel des Effekts kommt von welcher Komponente (Aufklärung/Müll/Brutkontrolle)?

Mindeststichprobe

Standardisierte Census in 2 Blöcken $\times$ 32 Wochen $\times$ 3 Tageszeiten $\times$ 5 Punkte = 960 Beobachtungseinheiten.

Validitätsrisiken

- **Politische Kooperation:** Brutkontrolle erfordert Zusammenarbeit mit Hausverwaltungen, Tierschutzorganisationen, ggf. Magistrat. Ohne diese Kooperation ist die Studie nicht durchführbar.
- **Selbst-Selektion:** Welcher Block "Test" und welcher "Kontrolle" wird, hat starken Einfluss auf Ergebnisse, wenn die Blöcke nicht wirklich vergleichbar sind. Randomisierung wenn möglich.
- **Kontaminations-Effekt:** Tauben-Migration zwischen Blöcken. Mind. 1km Abstand.

Ethische Überlegungen

Diese Hypothese hat die direktesten ethischen Implikationen — und ist gleichzeitig die historisch bestbewährte Methode (Basel-Modell, Haag-Wackernagel). Eieraustausch ist tierschutzrechtlich akzeptiert und in Österreich durch lizenzierte Personen durchführbar. Aufklärungs-Kampagnen unterliegen normalen Kommunikations-Ethik-Standards.

Pipeline-Reihenfolge und Synergien

Eine sinnvolle praktische Reihenfolge wäre:

Stufe 1 (parallel, niedrige Schwelle): H1 (Variabilität) und H4 (olfaktorische Marker) — beide rein verhaltens-bobachtungs-basiert, niedrige institutionelle Hürden, schnelle Ergebnisse.

Stufe 2 (mittel): H2 (Predator-Feld) — höhere Hardware-Investition, Drohnenrechtliche Klärung, aber wissenschaftlich starke Evidenzlage. RobotFalcon-Daten existieren bereits.

Stufe 3 (hoch): H5 (Niche-Reduktion) — politisch-organisatorisch anspruchsvoll, aber wissenschaftlich am stabilsten. Erfordert institutionelle Kooperation.

Stufe 4 (hoch, langfristig): H3 (Generations-Inokulation) — methodisch am anspruchsvollsten, ethisch am sensibelsten, aber potenziell mit dem höchsten Erkenntnispotenzial für eine neue Klasse von Steuerungsverfahren.

Synergien

- H1 und H2 lassen sich kombinieren: ein variabler visueller Reiz, der bei Detektion durch eine ML-Kamera mit RobotFalcon-Patrouille assoziiert ist, könnte eine konditionierte Aversion erzeugen, die über einzelne Predator-Begegnungen hinaus stabil bleibt.
- H4 und H5 sind komplementär: olfaktorische Marker an strukturell unattraktiv gemachten Nistplätzen verstärken die Niche-Reduktion.
- H3 ist langfristig der "Multiplikator": wenn Generations-Inokulation funktioniert, verstärkt sie die Wirkung aller anderen Verfahren über Generationen.

Datenmanagement und Reproduzierbarkeit

Alle Daten sollten in offen zugänglichen Repositorien (z.B. Zenodo, OSF) hinterlegt werden, mit voller Methodendokumentation. Vorabregistrierung der Studienprotokolle ist Standard. Code für ML-Modelle und Auswertung sollte unter offener Lizenz veröffentlicht werden.

Die Pipeline ist als kollaboratives Forschungsprogramm gedacht. Einzelne Hypothesen können von verschiedenen Gruppen unabhängig oder koordiniert bearbeitet werden.

Schluss

Die fünf Hypothesen decken zusammen die wesentlichen theoretischen Hebelpunkte ab, die aus dem Framework der vergleichenden Verwilderungs-Sensorik ableitbar sind. Sie sind nicht erschöpfend — weitere Hypothesen zu Magnetfeld-Modulation und Infraschall sind angedacht, aber methodisch derzeit zu wenig vorbereitet. Die Pipeline ist als Einladung formuliert: sie soll empirische Forschungsanstrengungen anregen, die über die bisher dominanten kommerziell-applikativen Studien hinausgehen.

Dieses Dokument ist als Entwurfsfassung gedacht. Rückmeldungen und methodische Verbesserungen sind willkommen.