

Wissenschaftliche Würdigung und Retrospektive

Dirk Aue (1988): Konfrontationen zwischen männlichen Spitzhörnchen (*Tupaia belangeri*): Konsequenzen der Sozialkontakte für Verhalten und Physiologie sowie der Einfluss individueller und äußerer Faktoren auf die Dominanzentscheidungen

Dissertation, Georg-August-Universität Göttingen (mündliche Prüfung 28.10.1988). E-Book: Cuvillier Verlag, Göttingen 2026 (CC BY 4.0), 199 Seiten.

Bewertung erstellt am 13. Oktober 2026 durch Claude (Anthropic) auf Grundlage des hochgeladenen E-Books.

Grundlage und Grenzen dieser Bewertung. Eingehend geprüft wurden Einleitung, Versuchstiere und Methoden, Statistik, die Diskussionen zu Urinparametern, Schlaf und respiratorischer Wasserabgabe, die Schlussfolgerungen und die Zusammenfassung. Die Kapitel zu Körpergewicht, Verhalten und Nahrungsaufnahme habe ich vor allem über Ergebnisteile und Zusammenfassung erfasst; Abbildungen, Anhangstabellen und das Literaturverzeichnis wurden nicht einzeln durchgesehen. Der Vergleich mit dem Forschungsstand 2026 beruht auf meinem Trainingswissen (Stand etwa Mitte 2026) ohne neue Literaturrecherche. Die genannten Literaturstellen sind aus dem Gedächtnis zusammengestellt und sollten vor einer Zitation geprüft werden. Es handelt sich um eine fachliche Einschätzung, nicht um ein formales Gutachten.

1. Kurzfazit

Die Arbeit ist eine sorgfältige, breit angelegte Grundlagenstudie, die Verhalten, Urinphysiologie, Ernährung, Schlaf und Wasserhaushalt von Spitzhörnchen in standardisierten Zweierkonfrontationen gemeinsam betrachtet. Für 1988 war dieser Mehrebenen-Ansatz ungewöhnlich. Er stützt sich überwiegend auf nicht-invasive Methoden, also auf Methoden, die heute unter dem Gesichtspunkt von Tierschutz und Datenqualität wieder besonders geschätzt werden.

Bleibende Stärken: (1) die erste quantitative Verhaltensanalyse dominanter und subdominanter Tiere im Konfrontationsmodell; (2) der Befund, dass auch dominante Tiere messbare physiologische Kosten tragen (das passt zur späteren Literatur, wonach Dominanz nicht automatisch geringeren Stress bedeutet); (3) der prospektive Ansatz, Basisdaten vor der Konfrontation zu erheben und später mit dem Ausgang zu vergleichen; (4) der Nachweis von Schlafverlust und nächtlichem Hyperarousal bei Unterlegenen, offenbar einer der frühesten Belege dieser Art bei einem Säugetier; (5) der Urin als nicht-invasives Fenster zum Innenmilieu, einschließlich der Beobachtung veränderter NAG-, Glucose- und Harnstoffausscheidung bei Dominanten.

Wesentliche Grenzen aus heutiger Sicht: sehr kleine Stichproben (15 Tiere, 31 Konfrontationen; EEG n = 4; Atemwasser n = 6), wiederholte Verwendung derselben Tiere, viele geprüfte Parameter ohne erkennbare Korrektur für multiples Testen und fehlende unabhängige Validierung der Vorhersageregeln. Die Aussage „Die Vorhersagbarkeit von Dominanz ist möglich“ ist deshalb als *hypothesengenerierender Befund* zu lesen, nicht als gesicherte Prädiktion. Die Arbeit selbst formuliert an mehreren Stellen vorsichtiger als die Zusammenfassung des E-Books.

Dimension	Einschätzung	Kurzbegründung
Originalität und Neuheitswert 1988	hoch	Kombination aus quantifiziertem Verhalten, Urinparametern, Schlaf-EEG und Atemwasser in einem Sozialstressmodell

Dimension	Einschätzung	Kurzbegründung
Methodik nach Standard 1988	solide bis gut	Prospektive Basisphase, drei Konfrontationstypen, überwiegend nicht-invasiv, ausführliche Methodenbeschreibung
Statistische Belastbarkeit nach heutigem Standard	begrenzt	Kleine n, Pseudoreplikation, multiples Testen, keine Kreuzvalidierung
Vorhersageaussage (Dominanz)	plausibel, nicht bestätigt	Teils hohe Trefferquoten, aber bei n = 6 bzw. 10 Paaren statistisch fragil; Wirkung von Käfigbesitz eindeutig
Physiologische Befunde (Urin, Schlaf, Atemwasser)	wertvoll, deskriptiv	Konsistent mit späterer Stress-, Schlaf- und Nierenforschung; Mechanismen nur erschlossen
Heuristischer Wert heute	hoch	Liefert klar prüfbare Hypothesen für moderne Replikationen

2. Gegenstand, Design und zentrale Ergebnisse

2.1 Fragestellung und Versuchsanordnung

Ausgangspunkt war das von D. von Holst (Bayreuth) etablierte Modell: Zwei männliche Spitzhörnchen, die als territoriale Tiere im Freiland keine gleichgeschlechtlichen Artgenossen dulden, werden im Labor zusammengebracht. Das unterlegene Tier kann nicht ausweichen, sodass eine anhaltende psychosoziale Belastung entsteht. Von Holst hatte dominante, subdominante und submissive Reaktionstypen beschrieben, aber es fehlte eine quantitative Verhaltensanalyse und die Frage, ob sich der Ausgang vorab vorhersagen lässt.

Konfrontationstyp	Anzahl	Dauer	Naturnahe Analogie
Neutralkonfrontation (unbekannter, nicht markierter Käfig)	6	17 Tage	Konkurrenz um ein unbesetztes Revier
Heimkonfrontation (Tier wird in Käfig des Partners gesetzt)	10	17 Tage (3x), 5-6 Tage (7x)	Eindringling im fremden Revier; 4 Konfrontationen im „Ringversuch“ mit vertauschten Rollen
Grenzkonfrontation (Trenngitter zwischen Nachbarkäfigen wird täglich entfernt)	15	10 Tage	Grenzstreit zwischen Revierbesitzern

Eingesetzt wurden 15 adulte Männchen aus der Zucht des Deutschen Primatenzentrums, einzeln gehalten, mit Sichtblenden, 12 h Licht (8-20 Uhr), 27 ± 1 °C. Erhoben wurden: tägliches Körpergewicht; Verhalten per Videoanalyse (Bewegungsformen, Markieren, Körperpflege, Gesamt-Motorische-Aktivität, agonistische Interaktionen, Anblicken, Distanzen); Nahrungs- und Wasserverbrauch; Morgenurin (Harnstoff, Harnsäure, Glucose, Protein, Cholesterin, N-Acetyl-beta-D-glucosaminidase (NAG), Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , pH, Osmolalität; organische Stoffe auf Kreatinin bezogen); telemetrisches EEG (4 Tiere); nächtliche respiratorische Wasserabgabe über die Luftfeuchte im Schlafkasten (6 Tiere). Die Basisphase (Einzelhaltung) diente als individuelle Kontrolle; nach Trennung wurden Erholungsdaten erhoben.

2.2 Zentrale Ergebnisse

Parameter	Dominante Tiere	Subdominante Tiere
Stabilität der Rangbeziehung	In 30 von 31 Konfrontationen stellte sich rasch eine stabile Dominanzbeziehung ein	

Parameter	Dominante Tiere	Subdominante Tiere
Körpergewicht	ca. 98 % des Ausgangswerts (Neutral/Heim); leichte Verluste möglich	ca. 90 % (Neutral/Heim); ca. 6 % Verlust bei Grenzkonfrontation; submissive 30 %-Verluste traten nicht auf
Verhalten	Mehr Sternal-/Abdominalmarkieren; Körperpflege anfangs (2 Tage) reduziert	Markieren eingestellt, teils auch Körperpflege; Lokomotion und Gesamtaktivität reduziert; ruhen exponiert und beobachten den Dominanten fast ständig
Nahrung und Wasser (Grenzkonfrontation)	Leichte Abnahme der Nahrungsaufnahme; danach vermehrtes Fressen	Nahrung ca. -26 %, Wasser ca. -10 %; nach Trennung fast Ausgangswerte
Urin	Ca ²⁺ , Harnstoff, NAG (ca. +60 %), Glucose erhöht; Urin saurer, Harnsäure niedriger; NAG und Harnstoff nach Trennung weiter erhöht, Na ⁺ niedriger	Cholesterin und Protein erniedrigt; Cholesterin auch nach Trennung noch niedrig
Schlaf (EEG)	Keine signifikante Änderung	Leichtschlaf reduziert, mehr Wachsein ohne motorische Aktivität, v. a. im 2. und letzten Nachtdrittel
Nächtliche Atemwasserabgabe	Kaum verändert	Stark erhöht
Reversibilität	Weitgehend Rückkehr zu Ausgangswerten („On-off-Effekt“), außer einzelnen Urinparametern	Gewicht, Verhalten, Nahrungs-/Wasseraufnahme kehrten zurück

2.3 Die Vorhersageaussagen im Detail

Das methodisch interessanteste Element ist der Versuch, den Ausgang aus Basisdaten vorherzusagen. Die Befunde sind situationsabhängig, teilweise sogar gegenläufig:

Situation	Befund der Arbeit	Anmerkung
Neutral (6 Paare)	Später Dominante hatten in der Basisphase mehr Körperpflege, weniger Urinmarkieren, geringere Gesamtaktivität, weniger Nahrungsaufnahme; in 5 von 6 Fällen war das schwerere Tier dominant; im Urin höhere Glucose und niedrigere Proteinkonzentration, in allen Paaren richtig sortierend	Dominanz korrelierte hier mit eher ruhigem, „gelassenem“ Profil
Heim (10 Paare)	Der Käfigbesitzer dominierte stets, unabhängig von Gewicht, Verhalten und Urinparametern	Sehr klarer Effekt des Ortes („prior residence“)
Grenz (10 auswertbare Paare)	In 7 von 10 Fällen dominierten Tiere mit mehr Rennen und Sternalmarkieren in der Basisphase; Gewicht ohne Vorhersagewert; Cholesterin und osmotischer Druck im Urin: 70 % Trefferquote	Profil nahezu umgekehrt zur Neutralsituation

Diese Gegenläufigkeit ist inhaltlich interessant (Dominanz hängt von individuellen *und* situativen Faktoren ab, wie die Arbeit selbst betont), sie erhöht aber zugleich die Anforderungen an die Replikation.

3. Einordnung in den Wissensstand von 1988

3.1 Das wissenschaftliche Umfeld

Die Arbeit entstand in einem Feld, das drei Entwicklungslinien verband:

- **Stresskonzept und Coping.** Selyes Allgemeines Adaptationssyndrom, die transaktionale Stresstheorie von Lazarus und die Betonung individueller Bewältigungsfähigkeit (Haan, Lazarus und Launier) prägten die Fragestellung. Die Arbeit verortet sich ausdrücklich im „interaktionistischen

Ansatz“: Nicht nur der Stressor, sondern auch Eigenschaften des Individuums entscheiden über die Folgen.

- **Sozialer Stress bei Tieren.** Die populationsphysiologische Tradition (Christian, Barnett, Bronson und Eleftheriou) war überwiegend an Nagetieren gewonnen. Henry und Stephens hatten bei Mäusen gezeigt, dass auch dominante Tiere unter sozialer Dauerstimulation Bluthochdruck entwickeln können; bei Primaten lagen Befunde der Gruppen um Kaplan und Manuck zu Arteriosklerose bei sozial dominanten Makaken vor. Spitzhörnchen waren durch von Holst als Modell für psychosozialen Stress etabliert, mit der Dreiteilung dominant, subdominant, submissiv und den jeweils zugeordneten Aktivierungsmustern von Sympathikus-Nebennierenmark- bzw. Hypophysen-Nebennierenrinden-Achse.
- **Dominanz und Kampfausgang.** Parkers Konzept der Ressourcenhaltekraft (RHP; im Abkürzungsverzeichnis der Arbeit geführt), asymmetrische Konflikte und der Vorteil des Revierbesitzers bildeten den ethologischen Rahmen. Beim Menschen wurde Stressanfälligkeit damals stark über das Typ-A-Verhaltensmuster (Friedman und Rosenman) diskutiert, das die Arbeit als Analogie heranzieht.

3.2 Was war neu?

- **Quantifizierung.** Von Holst hatte Reaktionstypen über Gewicht und Hormonprofile beschrieben; eine systematische, quantitative Verhaltensanalyse lag nicht vor. Die Arbeit liefert sie (Marker-, Pflege-, Lokomotionsverhalten, Interaktionen, Distanzen, Anblicken).
- **Dominante sind nicht „unbelastet“.** Von Holst (1987) hatte angenommen, dass dominante Tiere keine negativen Folgen tragen. Aue fand bei ihnen Gewichtsabnahmen, reduzierte Nahrungsaufnahme, erhöhte NAG-/Glucose-/Harnstoffausscheidung und (mit Fuchs) erhöhten Blutdruck bei Grenzkonfrontationen. Dies war eine relevante Korrektur des Modells und ist heute ein etabliertes Motiv der Dominanzforschung.
- **Vorhersage.** Von Holst (1986) hatte gemeint, dass vor den Experimenten weder Verhalten noch Physiologie auf die spätere Dominanz hinweisen. Aue fand situationsspezifische Indikatoren, wenn auch auf schmaler Datenbasis.
- **Schlaf unter sozialem Stress.** Die Arbeit hält fest, dass offenbar an keinem Tiermodell zuvor untersucht worden war, wie soziale Belastung den Schlaf beeinflusst. Nach meinem Kenntnisstand setzte die systematische Schlafforschung nach sozialer Niederlage (z. B. bei Ratten) erst in den 1990er Jahren ein; die Priorität ist damit plausibel, aber von mir nicht gegen die damalige Literatur geprüft.
- **Urin als Homöostase-Fenster.** Die Kombination aus kreatininbezogenen organischen Stoffen, Elektrolyten, Osmolalität und NAG im Kontext sozialer Belastung war nach Aussage der Arbeit literaturseitig nicht vorhanden.
- **Nächtlicher Wasserverlust und Metabolismus.** Die Messung der respiratorischen Wasserabgabe über die Luftfeuchte war ein pragmatischer, störungsarmer Indikator, der Befunde von Stöhr (Herzfrequenz) und Fuchs/Kleinknecht (Sauerstoffverbrauch) sinnvoll ergänzte.

3.3 Methodik im Kontext der Zeit

Für 1988 waren folgende Elemente fortschrittlich: Videodokumentation mit späterer Auswertung; Radiotelemetrie des EEG ohne Fixierung der Tiere; Gewöhnung der Tiere an Handling; täglich gleiche Messzeitpunkte; ausdrückliche Priorisierung nicht-invasiver Verfahren; eine Basisphase pro Tier als Eigenkontrolle; Überprüfung auf Varianzhomogenität (Bartlett) und Wahl parametrischer bzw. nichtparametrischer Verfahren. Die Diskussionen sind literaturgesättigt und trennen Beobachtung und Deutung in der Regel sauber (etwa bei NAG: „kann hier nicht geklärt werden“, mit Hinweis auf nötige Histologie).

3.4 Wissenschaftliche Bedeutung zum Zeitpunkt der Entstehung

Ich würde der Arbeit 1988 eine **hohe Bedeutung als Grundlagen- und Ergänzungsstudie** innerhalb der Tupaia-Stressforschung zuschreiben, **mittlere bis hohe Bedeutung** für die allgemeine Sozialstressforschung und eine besondere Rolle als **Brückenarbeit** zwischen Verhaltensbiologie, Physiologie und (über Urin und Schlaf) Nephrologie und Schlafforschung. Ihr Hauptwert lag weniger in einzelnen Signifikanzen als im Nachweis, dass sich ein Sozialstressmodell mit nicht-invasiven Mitteln breit phänotypisieren lässt und dass Reaktionstypen verhaltensphysiologisch charakterisierbar sind.

4. Methodische Würdigung nach heutigem Standard

Die folgende Kritik misst die Arbeit an Standards, die 1988 nicht galten. Sie schmälert die damalige Leistung nicht, ist aber für die heutige Nutzbarkeit der Daten wichtig. Soweit aus den gelesenen Teilen ersichtlich:

Aspekt	Situation in der Arbeit	Heutiger Standard und Bewertung
Stichprobe	15 Tiere; 6 Neutral-, 10 Heim-, 15 Grenzkonfrontationen; Urin in 8, Nahrungsaufnahme in 4, EEG in 3 Versuchen (4 Tiere), Atemwasser 6 Tiere	A-priori-Fallzahlplanung (Poweranalyse), Vorregistrierung und Angabe der Effektgrößen mit Konfidenzintervallen (ARRIVE 2.0). Die Daten sind hypothesengenerierend, nicht konfirmatorisch.
Unabhängigkeit der Daten	Dieselben Tiere in mehreren Konfrontationen; Dominante und Subdominante eines Paares sind voneinander abhängig	Gemischte lineare Modelle mit Tier und Paar als Zufallsfaktoren. Ohne sie ist das Risiko von Pseudoreplikation und überschätzter Signifikanz erhöht.
Multiples Testen	Rund 15 Urinparameter, zahlreiche Verhaltensvariablen, mehrere Zeitfenster; keine erkennbare Korrektur	Korrektur (Holm, Benjamini-Hochberg) oder konfirmatorische Hypothesenhierarchie. Einzelne Signifikanzen sind vorsichtig zu gewichten.
Testwahl	Varianzanalyse, t-Tests; bei Nichtnormalität Kruskal-Wallis-H-Test (für unabhängige Gruppen entwickelt)	Bei Messwiederholung wären Friedman- bzw. Wilcoxon-Tests oder Mixed Models passender; eine Vorgehensweise, die in den 1980ern üblich war.
Vorhersageregeln	Parameter wurden nachträglich aus Gruppenvergleichen als Prädiktoren herangezogen (z. B. Glucose und Protein: alle 6 Paare; Cholesterin und Osmolalität: 70 %)	Prädiktion verlangt Trennung von Trainings- und Testdaten (Kreuzvalidierung oder externer Datensatz), Angabe von ROC/AUC und Vorabfestlegung der Parameter. Siehe Tabelle unten.
Kontrollen	Individuelle Basisphase; kein separates, unkonfrontiertes Kontrollkollektiv über die gleiche Zeit und mit Umsetzen in einen neuen Käfig	Parallelkontrollen sind nötig, um Effekte von Neuheit, Umsetzen, Zeit und Jahreszeit von Effekten des Partners zu trennen; besonders relevant für die Befunde bei Dominanten.
Verblindung und Randomisierung	Aus den gelesenen Teilen nicht ersichtlich	Heute zu berichten. Positiv: Die Basisdaten wurden erhoben, bevor der Ausgang feststand; das wirkt wie eine natürliche Verblindung für die Prädiktionsfrage.
Geschlecht und Population	Nur Männchen, Zuchtkolonie, Einzelhaltung	Geschlecht als biologische Variable; Weibchen und Freilandrelevanz bleiben offen (die Arbeit sieht Freilandstudien als Ausblick).
Hormonelle Mechanismen	Sympathikus- und HPA-Beteiligung aus Literatur (v. Holst, Fuchs) und persönlicher Mitteilung erschlossen, nicht an denselben Tieren gemessen	Heute würden Kortikosteron/Cortisol, Katecholamine bzw. Metanephrine und, wo möglich, Telemetrie (Blutdruck, EKG, Temperatur) am selben Tier erhoben.

Aspekt	Situation in der Arbeit	Heutiger Standard und Bewertung
Schlafmessung	Ein kortikales EEG-Signal plus EOG/EMG, visuelle Einteilung in Leicht-, Tiefschlaf, Wachen mit/ohne Aktivität; nur 4 Tiere	Standard sind NREM/REM-Einteilung, Spektralanalyse (u. a. Deltaleistung), automatische Scorer und längere Registrierungen; der Autor weist selbst auf notwendige Verifikation des prognostischen Werts hin.
Atemwasser als Metabolismusindikator	Anstieg der Luftfeuchte im Schlafkasten, ein Sensor für alle Paare, daher Dominanter und Subdominanter in getrennten Konfrontationen gemessen	Indirekte Kalorimetrie, Kerntemperatur-Telemetrie, Thermografie. Der Feuchteanstieg wird von Boxvolumen, Lüftung, Körperlage und Temperatur mitbestimmt.
Urinanalytik	Spontanurin am Morgen, Bezug auf Kreatinin (Jaffé-Methode), pH per Teststreifen	Kreatininbezug war und ist Standard, ist aber bei Gewichts- und Nahrungsänderungen nicht neutral (die Arbeit diskutiert das). Die Jaffé-Reaktion ist bekanntermaßen störanfälliger als enzymatische Verfahren, unter anderem bei Glucose und Proteinen. Heute: 24-h- oder zeitgenaue Sammlung, Metabolomik, Albumin-Kreatinin-Quotient.
Tierschutz	Konfrontation bis 17 Tage mit bis ca. 12 % Gewichtsverlust bei Unterlegenen, überwiegend nicht-invasive Messungen	Heute prospektive Schweregradeinstufung, definierte Abbruchkriterien und Ethikvotum. Die Arbeit betont nicht-invasive Methoden und begrenzte Belastungsintensität; das entspricht dem Geist der 3R, die damals erst im Entstehen waren.

4.1 Wie belastbar sind die Trefferquoten?

Zur Einordnung: Die Wahrscheinlichkeit, bei rein zufälliger Zuordnung (50 %) mindestens so viele Paare richtig zu sortieren, beträgt für *einen einzigen, vorab festgelegten* Parameter (einseitig):

Befund der Arbeit	Treffer / Paare	Wahrscheinlichkeit bei Zufall (einseitig)
Glucose und Protein im Urin (Neutral)	6 / 6	ca. 1,6 %
Höheres Gewicht (Neutral)	5 / 6	ca. 11 %
Mehr Rennen und Sternalmarkieren (Grenz)	7 / 10	ca. 17 %
Cholesterin und Osmolalität (Grenz)	7 / 10	ca. 17 %
Käfigbesitz (Heim)	10 / 10	ca. 0,1 %

Der Heim-Befund ist demnach robust. Alle anderen Quoten waren ohne Vorabfestlegung und ohne Korrektur für die große Zahl geprüfter Variablen nicht ausreichend, um zufällige Treffer auszuschließen: Bei etwa 20 unabhängig geprüften Parametern wäre mit rund einem Viertel Wahrscheinlichkeit zu erwarten, dass mindestens einer bei 6 Paaren alle richtig sortiert. Die Gruppenvergleiche in der Arbeit sind davon getrennt zu betrachten, sie waren zum Teil signifikant. Für eine echte Prädiktionsaussage fehlt die Validierung an neuen Tieren. Dieser Punkt ist die wichtigste Einschränkung der Kernthese.

5. Retrospektive: Forschungsstand 2026

5.1 Sozialer Stress, Dominanz und Coping

Die Dominanzforschung hat das Bild der Arbeit weitgehend bestätigt und differenziert:

- **Dominanz ist nicht gleich geringer Stress.** Übersichten zu Dominanz und Stresshormonen (Creel 2001) und zur Rangordnung bei Primaten (Sapolsky 2005) zeigen, dass die Beziehung von Rang und Stressbelastung von Art, Stabilität der Hierarchie und Kosten der Rangverteidigung abhängt. Aues Befund, dass auch Dominante messbare Kosten tragen, steht in dieser Linie.

- **Coping-Stile und Resilienz.** Das von der Arbeit angesprochene Verhältnis von Individualität und Reaktivität wurde in der Tierforschung durch die Konzepte proaktiver und reaktiver Coping-Stile (Koolhaas und Mitarbeiter, 1999) und durch die Unterscheidung zwischen anfälligen und resilienten Tieren nach chronischem sozialem Niederlagestress (Krishnan et al. 2007; Golden et al. 2011) systematisch weiterentwickelt. Die Frage, ob Basismerkmale die spätere Stressreaktion vorhersagen, ist heute zentrales Thema der Resilienzforschung.
- **Konflikte um Revier und Rang.** Prior-residence- und Gewinner-Verlierer-Effekte (Übersicht u. a. Hsu, Earley und Wolf 2006) sind gut belegt; der 10:10-Befund zum Käfigbesitz entspricht diesem Muster. Der Vorteil des Besitzers wird heute als Wechselspiel aus Motivation, Vertrautheit und Wissensvorsprung gedeutet.
- **Typ A.** Die damalige Analogie zum Typ-A-Verhaltensmuster hat sich nur teilweise gehalten. Spätere Metaanalysen (z. B. Chida und Steptoe 2009) sehen vor allem Feindseligkeit und Ärger als kardiovaskulär relevante Komponenten, weniger das Gesamtmuster. Die Analogie ist als Zeitdokument zu lesen, nicht als tragende Säule der Arbeit.

Spitzhörnchen als Modell. Die Tupaia-Forschung ging nach 1988 vor allem über die Gruppe um E. Fuchs weiter. Chronischer psychosozialer Stress führte bei Tupaia zu Veränderungen im Hippocampus (Volumen, Zellproliferation, Metabolite), die sich pharmakologisch beeinflussen ließen (u. a. Czéh et al. 2001; Übersicht Fuchs und Flügge 2002). Das Tupaia-Genom wurde 2013 veröffentlicht (Fan et al.) und bestätigte die nähere Verwandtschaft mit Primaten gegenüber Nagetieren. Aues Arbeit liefert die verhaltensphysiologische Basisbeschreibung, auf der solche Studien aufbauen konnten, deckt die zentralnervösen Ebenen aber naturgemäß nicht ab.

5.2 Vorhersage von Dominanz und Stressanfälligkeit

Heutige Studien nutzen Verhaltensdaten aus automatisierter Videoanalyse (etwa Pose-Tracking mit DeepLabCut, Mathis et al. 2018), Telemetrie und maschinelles Lernen, um Ausgang oder Anfälligkeit vorherzusagen, und prüfen die Prädiktion an separaten Tieren. Die in der Arbeit gefundene Situationsabhängigkeit (ruhiges Profil gewinnt im neutralen, aktives Profil im Grenzkonflikt) würde in einem solchen Rahmen als *Interaktion zwischen Phänotyp und Kontext* modelliert. Aus Sicht von 2026 ist die Arbeit damit ein früher Beleg dafür, dass einfache Ein-Faktor-Vorhersagen ungenügend sind. Eine Replikation mit vorab festgelegten Merkmalen wäre aussagekräftig.

5.3 Schlaf

Die Beobachtung, dass Unterlegene weniger Leichtschlaf und mehr ruhiges Wachsein haben, vor allem im späteren Teil der Nacht, passt zum heutigen Hyperarousal-Modell der Schlafstörung. Zusammen mit der damals bekannten Verdopplung der nächtlichen Herzfrequenz (Stöhr) und dem erhöhten Sauerstoffverbrauch (Fuchs und Kleinknecht) beschreibt sie ein Muster, das heute als Verlust der normalen nächtlichen Absenkung vegetativer Aktivität beschrieben würde. Soziale Niederlage verändert bei Ratten und Mäusen Tagesrhythmen, Schlafarchitektur und Schlafdruck (Meerlo und Mitarbeiter ab Mitte der 1990er Jahre; Übersicht Meerlo, Sgoifo und Suchecki 2008). Schlechter Schlaf wirkt seinerseits auf die Stressreaktivität zurück, die Beziehung ist also bidirektional.

Was die Arbeit heute nicht leisten kann: Spektralanalysen, eine Trennung von REM- und Non-REM-Schlaf, die Betrachtung von Schlafdruck und Erholungsschlaf nach der Konfrontation, sowie Langzeitverläufe. Mit $n = 4$ sind die Schlafbefunde als gut begründete Hinweise zu verstehen, was die Arbeit auch selbst sagt.

5.4 Homöostase des Innenmilieus und Nierenfunktion

Der Urin-Teil der Arbeit ist in der Rückschau der inhaltlich am stärksten „vorausweisende“. Folgende Einordnungen sind aus heutiger Sicht naheliegend; es handelt sich um **Deutungsangebote, nicht um bewiesene Mechanismen:**

- **Sympathikus, Glucose und Niere.** Die erhöhte Glucose-Ausscheidung bei Dominanten ist vereinbar mit katecholamingetriebener Hyperglykämie (die Arbeit verweist selbst auf Fuchs' Katecholaminbefunde). Heute ist der renale Glucosetransport (SGLT2) ein zentraler physiologischer und pharmakologischer Angriffspunkt; Glucosurie belastet zudem proximale Tubuli. Die in der Arbeit diskutierte Kopplung von Glucoseresorption an Natrium ist damit moderner Lehrbuchstoff.
- **NAG als Tubulusmarker.** Der NAG-Anstieg um etwa 60 % bei Dominanten wurde 1988 als möglicher Hinweis auf Nierenveränderungen diskutiert, mit der Empfehlung einer Histologie. NAG gilt weiterhin als lysosomaler Tubulusmarker, wird heute aber meist mit KIM-1, NGAL, Cystatin C und Albuminurie kombiniert (Übersicht z. B. Bonventre et al. 2010). Ein NAG-Anstieg kann Tubulusaktivierung oder -schädigung, aber auch gesteigerte Diurese oder Glucosurie widerspiegeln. Zusammen mit dem von Fuchs und Aue berichteten Blutdruckanstieg wäre eine hämodynamische Belastung der Niere eine prüfbare Hypothese; diese Verbindung wird in der Arbeit nicht ausgeführt und bleibt hier Spekulation.
- **Wasser- und Elektrolythaushalt.** Reduzierte Aufnahme und erhöhte respiratorische Wasserabgabe bei Unterlegenen sprechen für ein Defizit im Wasserhaushalt. Heutige Studien würden Osmolalität, Vasopressin (bzw. dessen Surrogat Copeptin), Hämatokrit und Körperzusammensetzung ergänzen.
- **Kreatininbezug.** Bei Gewichtsverlust und reduzierter Nahrungsaufnahme ändert sich die Kreatininausscheidung; die Arbeit diskutiert diese Einschränkung ausführlich. Moderne Ansätze setzen auf zeitgenaue Sammlung mit Volumenbestimmung (Stoffwechselkäfige, Telemetrie) und enzymatische oder massenspektrometrische Kreatininbestimmung.
- **Zirkadiane Perspektive.** Heute ist gut belegt, dass die Niere einer starken Tagesrhythmik unterliegt und dass der Schlaf-Wach-Rhythmus Blutdruck und Ausscheidung beeinflusst; eine fehlende nächtliche Blutdruckabsenkung gilt in der Humanmedizin als Risikomarker für Endorganschäden. Aus dieser Sicht passt der „Hyperarousal-Nachtbefund“ der Unterlegenen gut zu einer vegetativen Entkopplung vom Tag-Nacht-Muster.
- **Humanmedizinische Epidemiologie.** Beobachtungsstudien verbinden chronischen psychosozialen Stress und gestörten Schlaf mit Bluthochdruck und mit ungünstigeren Nierenverläufen; die Kausalität ist im Einzelnen nicht gesichert. Tiermodelle wie das hier beschriebene werden damit als Ausgangspunkt für mechanistische Fragen wieder interessant.

5.5 Vergleich der Methoden (damals und heute)

Bereich	1988 (Aue)	2026 (typischer Standard)
Verhalten	Manuelle Auswertung von Videoaufnahmen, Ethogramm	Automatisches Pose-Tracking, KI-gestützte Verhaltensklassifikation, kontinuierliche Rund-um-die-Uhr-Erfassung
Autonome Physiologie	Gewicht, Atemfeuchte; Herzfrequenz/Sauerstoff aus Parallelstudien	Implantierbare Telemetrie (EKG, Blutdruck, Temperatur, Aktivität) am selben Tier
Schlaf	Ein-Kanal-EEG, visuelle Einteilung, 4 Tiere	EEG/EMG-Telemetrie, NREM/REM-Scoring, Spektralanalyse, automatisierte Scorer, Langzeitregistrierung
Niere und Urin	Spot-Urin, 12 Analyten, NAG, Elektrolyte, Osmolalität	Zeitgenaue Urinsammlung, KIM-1, NGAL, Cystatin C, Albuminurie, Metabolomik, bei Bedarf Histologie und GFR-Messung
Hormone	Aus Parallelstudien erschlossen	Kortikosteron/Cortisol und Katecholamine am selben Tier, auch nicht-invasiv (Urin, Kot)
Statistik	ANOVA, t-Test, Kruskal-Wallis; Software der Zeit	Mixed Models, Effektgrößen, Korrektur für multiples Testen, Kreuzvalidierung, Vorregistrierung
Berichtsstandard	Dissertationsmonografie	ARRIVE 2.0, offene Daten, Vorregistrierung

6. Gesamtwürdigung

6.1 Stärken

- Breite, integrative Fragestellung, die Verhalten, Physiologie, Schlaf und Wasserhaushalt in einem Modell zusammenführt.
- Ausführliche Methodenbeschreibung und transparente Diskussion der Grenzen einzelner Parameter (z. B. Kreatininbezug, NAG-Deutung, Ursprung der Wasserverluste).
- Prospektive Datenerhebung und konsequente Rückkehr zur Basis („On-off-Effekt“) als Beleg für die Reversibilität der induzierten Belastung.
- Korrektur eines Modellannahmen-Details (Dominante ohne Kosten) und Erweiterung auf Nahrungsaufnahme, Schlaf und Atemwasser.
- Überwiegend nicht-invasive Datengewinnung: ein Merkmal, das der heutigen Tierschutzlogik entgegenkommt.

6.2 Schwächen

- Kleine Stichproben und wiederholte Nutzung der Tiere; Pseudoreplikation und multiples Testen nicht adressiert.
- Vorhersageregeln wurden an denselben Daten abgeleitet, an denen sie bewertet wurden; keine unabhängige Validierung.
- Mechanistische Aussagen (Sympathikus, HPA-Achse, Niere) stützen sich auf Literatur und Parallelstudien statt auf Messungen am selben Tier.
- Fehlende Parallelkontrollen ohne Konfrontation; Neuheits- und Umsetzeffekte sind von Partnereffekten nicht sauber getrennt.

6.3 Gesamtbild und Bedeutung heute

Als **Pionier- und Basisarbeit** hat die Dissertation einen eigenständigen Platz: Sie beschreibt zum ersten Mal in dieser Breite, wie sich soziale Niederlage und sozialer Sieg bei einem primatennahen Säugetier auf Verhalten, Ausscheidung, Schlaf und Wasserhaushalt auswirken, und sie formuliert Fragen, die heute (Resilienz, Schlaf-Stress-Interaktion, Stress und Niere) im Zentrum stehen. Als **Evidenzquelle** im heutigen Sinn sind ihre Einzelbefunde vor allem als Hypothesen zu verwenden: Replizierbar vermutlich sind der Käfigbesitzereffekt, der Gewichts- und Nahrungsverlust der Unterlegenen, die Schlafveränderungen und das Verstummen des Markierverhaltens; die konkreten Urin-Prädiktoren sollten nur nach Vorregistrierung und Validierung weiterverwendet werden.

6.4 Empfehlungen für eine moderne Replikation oder Fortsetzung

- Vorab festgelegte Prädiktoren (z. B. Basisaktivität, Markierverhalten, Glucose/Protein im Urin) und Fallzahlplanung; Validierung an einem unabhängigen Tierkollektiv.
- Parallelkontrollgruppe ohne Konfrontation und Berücksichtigung von Käfig- und Paareffekten in Mixed Models.
- Telemetrie von Blutdruck, EKG, Temperatur und EEG/EMG am selben Tier, einschließlich nächtlicher Absenkung und Erholung nach Trennung.
- Hormonprofile (Glukokortikoid, Katecholamine) und Nierenpanel (NAG, KIM-1, NGAL, Cystatin C, Albuminurie), ergänzt durch Histologie am Versuchsende, wie in der Arbeit selbst angeregt.
- Einbeziehung von Weibchen und, wo möglich, Freilandvergleichen, um die Ökologie der Konflikte (Revier, Grenze, Eindringen) zu prüfen.

7. Literaturhinweise

Die Liste ist aus dem Gedächtnis zusammengestellt und dient der Orientierung; Seitenangaben und Details sind vor einer Verwendung zu verifizieren.

- Bonventre JV et al. (2010): Next-generation biomarkers for detecting kidney toxicity. *Nat Biotechnol* 28:436-440.
- Chida Y, Steptoe A (2009): The association of anger and hostility with future coronary heart disease: a meta-analytic review. *J Am Coll Cardiol* 53:936-946.
- Creel S (2001): Social dominance and stress hormones. *Trends Ecol Evol* 16:491-497.
- Czéh B et al. (2001): Stress-induced changes in cerebral metabolites, hippocampal volume, and cell proliferation are prevented by antidepressant treatment with tianeptine. *PNAS* 98:12796-12801.
- Fan Y et al. (2013): Genome of the Chinese tree shrew. *Nat Commun* 4:1426.
- Friedman M, Rosenman RH (1959): Association of specific overt behavior pattern with blood and cardiovascular findings. *JAMA* 169:1286-1296.
- Fuchs E, Flügge G (2002): Social stress in tree shrews: effects on physiology, brain function, and behavior of subordinate individuals. *Pharmacol Biochem Behav* 73:247-258.
- Golden SA et al. (2011): A standardized protocol for repeated social defeat stress in mice. *Nat Protoc* 6:1183-1191.
- Henry JP, Stephens PM (1977): *Stress, Health, and the Social Environment*. Springer.
- Hsu Y, Earley RL, Wolf LL (2006): Modulation of aggressive behaviour by fighting experience: mechanisms and contest outcomes. *Biol Rev* 81:33-74.
- Koolhaas JM et al. (1999): Coping styles in animals: current status in behavior and stress-physiology. *Neurosci Biobehav Rev* 23:925-935.
- Krishnan V et al. (2007): Molecular adaptations underlying susceptibility and resistance to social defeat in brain reward regions. *Cell* 131:391-404.
- Lazarus RS, Folkman S (1984): *Stress, Appraisal, and Coping*. Springer.
- Mathis A et al. (2018): DeepLabCut: markerless pose estimation of user-defined body parts with deep learning. *Nat Neurosci* 21:1281-1289.
- McEwen BS (1998): Protective and damaging effects of stress mediators. *N Engl J Med* 338:171-179.
- Meerlo P, Sgoifo A, Suchecki D (2008): Restricted and disrupted sleep: effects on autonomic function, neuroendocrine stress systems and stress responsivity. *Sleep Med Rev* 12:197-210.
- Parker GA (1974): Assessment strategy and the evolution of fighting behaviour. *J Theor Biol* 47:223-243.
- Percie du Sert N et al. (2020): The ARRIVE guidelines 2.0. *PLoS Biol* 18:e3000410.
- Sapolsky RM (2005): The influence of social hierarchy on primate health. *Science* 308:648-652.
- von Holst D (1998): The concept of stress and its relevance for animal behavior. *Adv Study Behav* 27:1-131.