

Einfluss von Landnutzung und Landschaftsstruktur auf Schmetterlinge in Agrarlandschaften: Untersuchungen auf Basis des Tagfalter-Monitoring Deutschland

Toni Kasiske

Symposium für Schmetterlingsschutz
und 28. UFZ-Workshop zur
Populationsbiologie von Tagfaltern &
Widderchen



28. Februar 2026, Leipzig

Landnutzungswandel



Zeit



Insect decline, an emerging global environmental risk

Jeroen P. van der Sluijs^{1,2,3} ✉

Essay

The insect apocalypse, and why it matters

Dave Goulson

The majority of conservation efforts and public attention are focused on large, charismatic mammals and birds such as tigers, pandas and penguins, yet the bulk of animal life – whether measured by biomass, numerical abundance or numbers



Perspective

Scientists' warning to humanity on insect extinctions

Philip S. Barton^b, Klaus Birkhofer^c, Filipe Chichorro^a,
Johannes Hartmann^e, Caroline S. Fukushima^a, René Gaigher^d,
Johannes Hallmann^g, Matthew J. Hill^h, Axel Hochkirch^{ij},
Antonio Mammola^{a,l}, Jorge Ari Noriega^m,
Fernando Pedraza^p, James S. Pryke^d, Fabio O. Roque^{q,r},



...e evidence for the drastic

...cline in insect numbers

Leather ✉

published: 20 December 2017 | <https://doi.org/10.1111/aab.12410> | Citations: 116



PLOS ONE



OPEN ACCESS



PEER-REVIEWED

SZ

Meine SZ | SZ Plus

RESEARCH ARTICLE

Biologie

Das Insektensterben
unsere

4. November 2017

More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas

Caspar A. Hallmann ✉, Martin Sorg, Eelke Jongejans, Henk Siepel, Nick Hofland, Heinz Schwan, Werner Stenmans, Andreas Müller, Hubert Sumser, Thomas Hörrn, Dave Goulson, Hans de Kroon

Published: October 18, 2017 • <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0185809>

Entomology

Society



Access

a hidden driver of insect decline



<https://doi.org/10.1111/een.12985> | Citations: 27

Review

Worldwide decline of the entomofauna: A review of its drivers

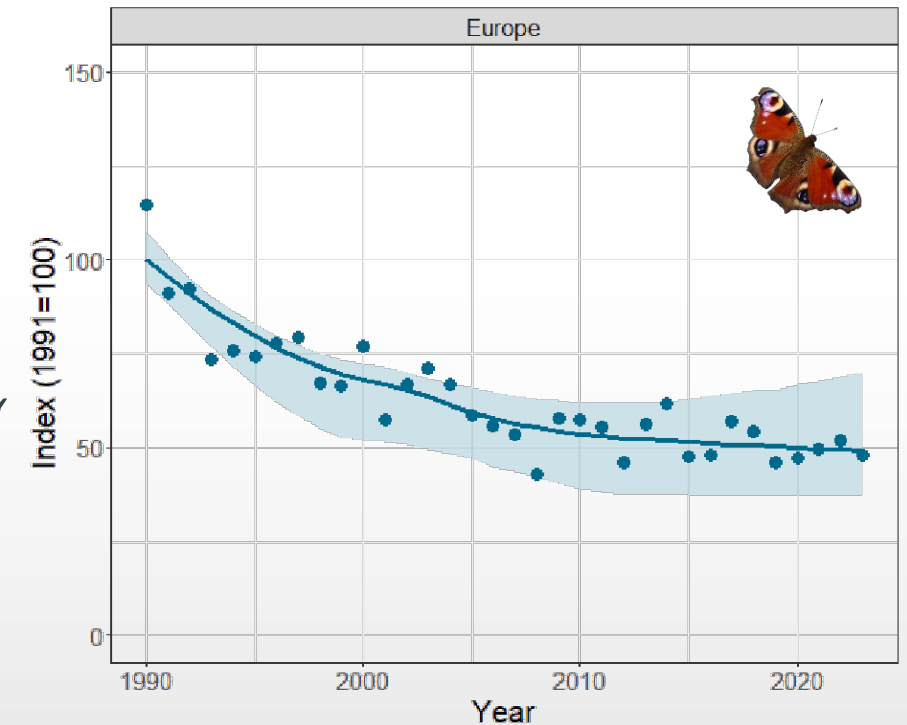
Francisco Sánchez-Bayo^a ✉, Kris A.G. Wyckhuys^{b,c,d}

...ulationsbiologie von Tagfaltern & Widderchen

Gesetz zur Wiederherstellung der Natur („Nature Restoration Regulation“)

Artikel 11: „Die Mitgliedstaaten ergreifen **Maßnahmen**, die darauf abzielen, dass **auf nationaler Ebene ein Aufwärtstrend** bei mindestens zwei der folgenden drei Indikatoren für landwirtschaftliche Ökosysteme erreicht wird, (...):

- (a) Index der Grünlandschmetterlinge;
- (b) Vorrat an organischem Kohlenstoff in mineralischen Ackerböden;
- (c) Anteil landwirtschaftlicher Flächen mit Landschaftselementen mit großer Vielfalt“



Bisherige Untersuchungen

Hohe Grünlandnutzungsintensität

- Veränderte Pflanzengesellschaften
- Erhöhte Mortalität
- Verlust von Nektar- und Futterpflanzen



Hohe Düngemittel-Zugaben

- Veränderte Pflanzengesellschaften
- Dichte Vegetationsstruktur
- Kälteres Mikroklima



Hohe Strukturvielfalt

- Hohe Ressourcenvielfalt- /
verfügbarkeit
- Erleichtert Ausbreitung
- Rückzugsorte



50 YEARS WITH
IMPACT

Journal of Applied Ecology

1913 2013
British Ecological Society
CELEBRATING 100 YEARS

Journal of Applied Ecology 2015, 52, 505–513

doi: 10.1111/1365-2664.12394

Configurational landscape heterogeneity shapes functional community composition of grassland butterflies

David Perović¹, Sagrario Gámez-Virués^{1*}, Carmen Börschig¹, Alexandra-Maria Klein², Jochen Krauss³, Juliane Steckel³, Christoph Rothenwöhrer¹, Stefan Erasmi⁴, Teja Tschardt¹ and Catrin Westphal¹

50 YEARS WITH
IMPACT

Journal of Applied Ecology

1913 2013
British Ecological Society
CELEBRATING 100 YEARS

Journal of Applied Ecology 2014, 51, 968–977

doi: 10.1111/1365-2664.12244

Grazing intensity affects insect diversity via sward structure and heterogeneity in a long-term experiment

Ina Jerrentrup^{1*}, Nicole Wrage-Mönnig², Klaus-Ulrich Röver¹ and
Isselstein¹

BIOLOGICAL
REVIEWS

Biol. Rev. (2015), 90, pp. 347–366.
doi: 10.1111/b

Grassland intensification strongly reduces butterfly diversity in the Westerwald mountain range, Germany

Journal of Insect Conservation (2021) 25:797–808
<https://doi.org/10.1007/s10841-021-00331-w>

ORIGINAL PAPER



Aber: kaum großskalige Analysen!



Research

Soil eutrophication shaped the composition of pollinator assemblages during the past century

Luísa G. Carvalho, Jacobus C. Biesmeijer, Markus Franzén, Jesús Aguirre-Gutiérrez, Lucas A. C. Avelina Helm, Denis Michez, Juha Pöyry, Menno Reemer, Oliver Schweiger, Leon van den Berg, Michiel F. WallisDeVries and William E. Kunin

Global Ecology and Conservation

journal homepage: www.elsevier.com/locate/gecco



Michiel F. WallisDeVries^{1,2} & Chris A.M. van Swaay¹

of livestock breed and grazing intensity

Received: 15 November 2019 | Accepted: 14 April 2020

DOI: 10.1111/1365-2664.13658

RESEARCH ARTICLE

Journal of Applied Ecology

BRITISH
ECOLOGICAL
SOCIETY



The relative importance of green infrastructure as refuge habitat for pollinators increases with local land-use intensity

Pengyao Li^{1,2} | David Kleijn¹ | Isabelle Badenhauer^{3,4,5} | Carlos Zaragoza-Trello⁶ |
Nicolas Gross⁷ | Ivo Raemakers⁸ | Jeroen Scheper¹



ELSEVIER

Intensity of grassland management and landscape heterogeneity determine species richness of insects in fragmented hay meadows

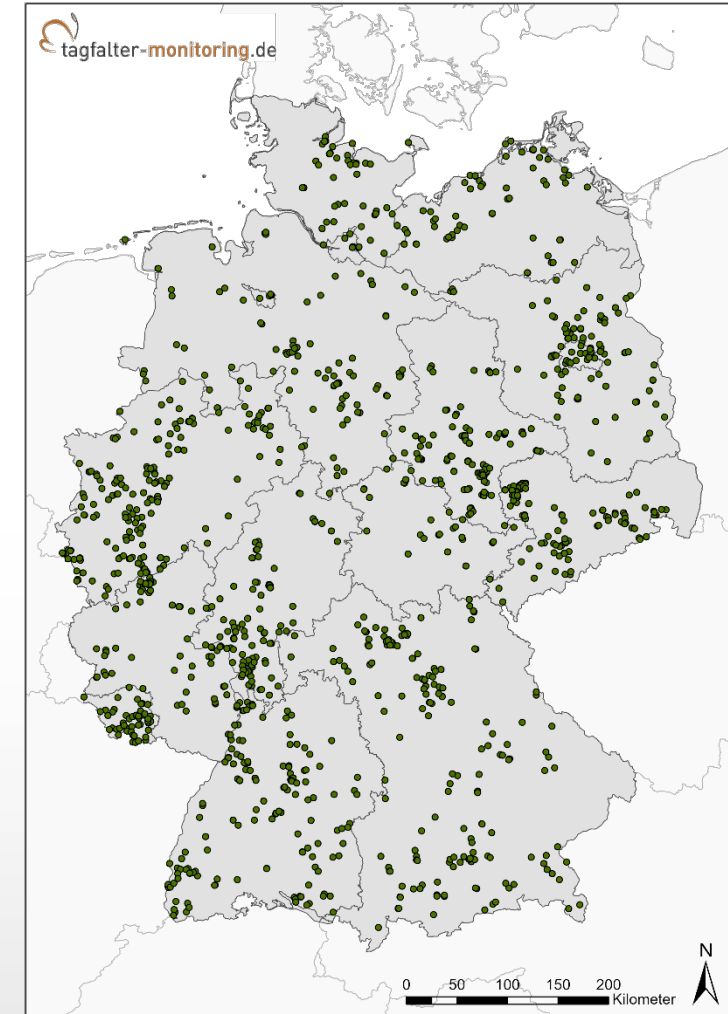
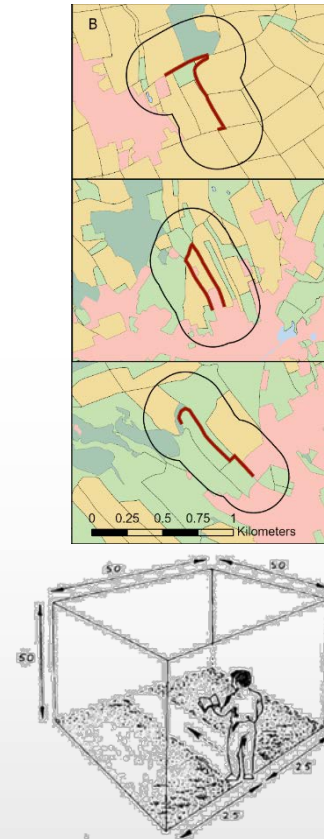
Florian Fumy^{a,*,1}, Cinja Schwarz^{a,2}, Thomas Fartmann^{a,b,3}



Deutschlandweite Tagfalter-Daten

Tagfaltermonitoring Deutschland (TMD)

- Citizen science-Projekt des Helmholtz–Zentrum für Umweltforschung(UFZ)
- Transekt-Begehungen durch Ehrenamtliche seit 2005
- Mehr als 1.200 Transekte
- Mehr als 4 mio Beobachtungen



Ziel: Kenntnis über großräumige Muster

„Lassen sich anhand der deutschlandweiten Daten des TMD großräumige Effekte der Landnutzung und der Landschaftsstruktur erkennen?“

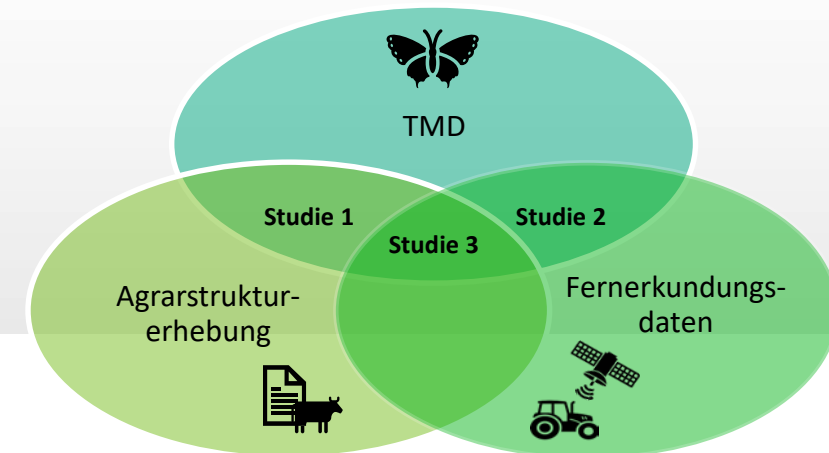


Fragestellungen

- (1) Wie beeinflusst die räumliche Verteilung der Transekte die Repräsentativität und die Aussagekraft der Untersuchungen?
- (2) Wie beeinflusst Landbedeckung, Landnutzung und Landschaftsstruktur die Tagfaltergemeinschaften in Agrarlandschaften?

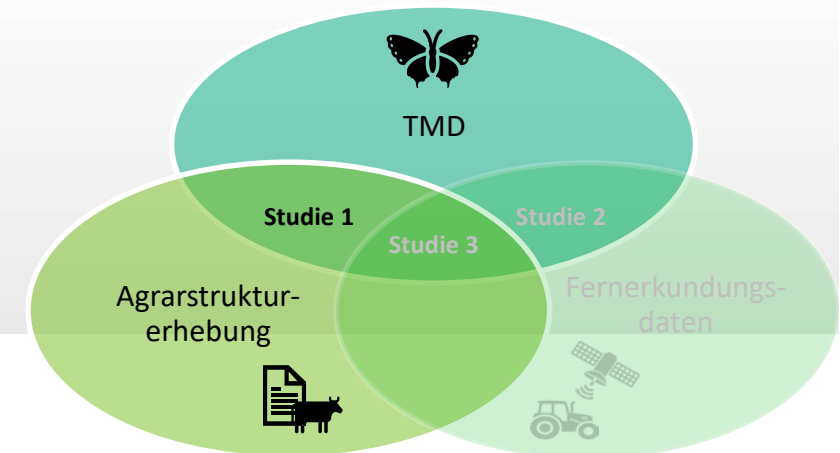
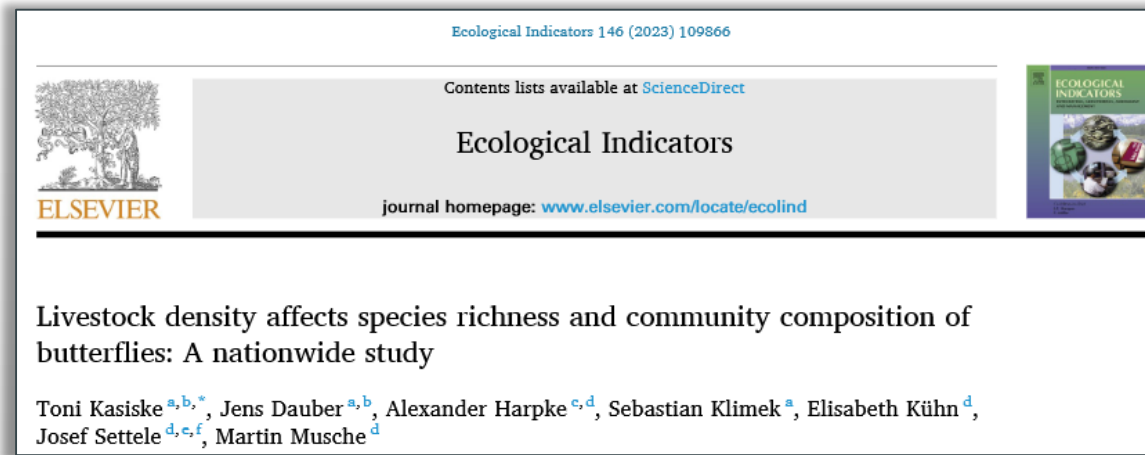
Studien

- Studie 1: Einfluss der Viehbesatzdichte
- Studie 2: Einfluss der Mahd und der Landschaftsstruktur
- Studie 3: Cluster-Analyse der Landschaften in der Umgebung der Transekte



Studien

- Studie 1: Einfluss der Viehbesatzdichte
- Studie 2: Einfluss der Mahd und der Landschaftsstruktur
- Studie 3: Cluster-Analyse der Landschaften in der Umgebung der Transekte



1. Studie: Einfluss der Viehbesatzdichte

Landnutzungsdaten



1. Studie: Einfluss der Viehbesatzdichte Landnutzungsdaten



Landnutzungsdaten

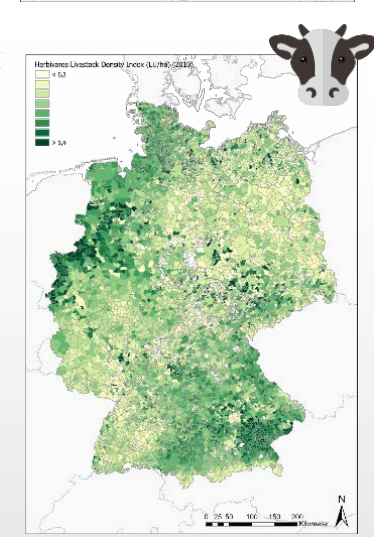
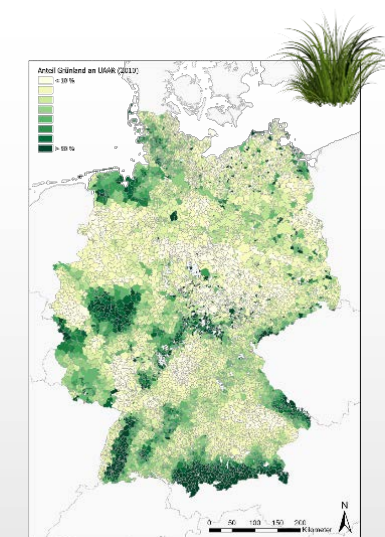
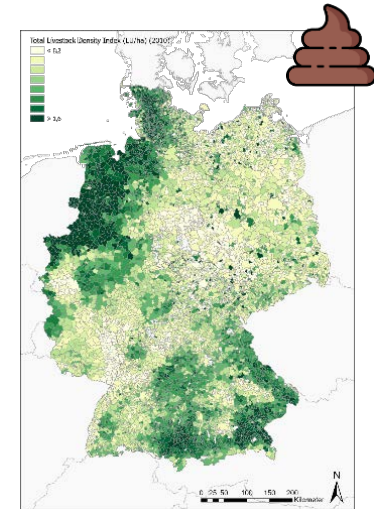
- Daten der Agrarstrukturerhebungen auf Gemeindeebene
- Erhebungsjahre: 2007, 2010, 2016
- Mittelwerte im 2 km Radius um Transekte

Indikatoren

- Grünlandanteil 
- Düngungsintensität 
- Viehbesatzdichte (Raufutterfresser) 

Methode

- Regressionsanalyse (GLMMs)



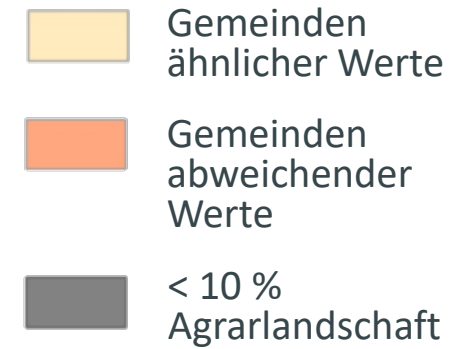
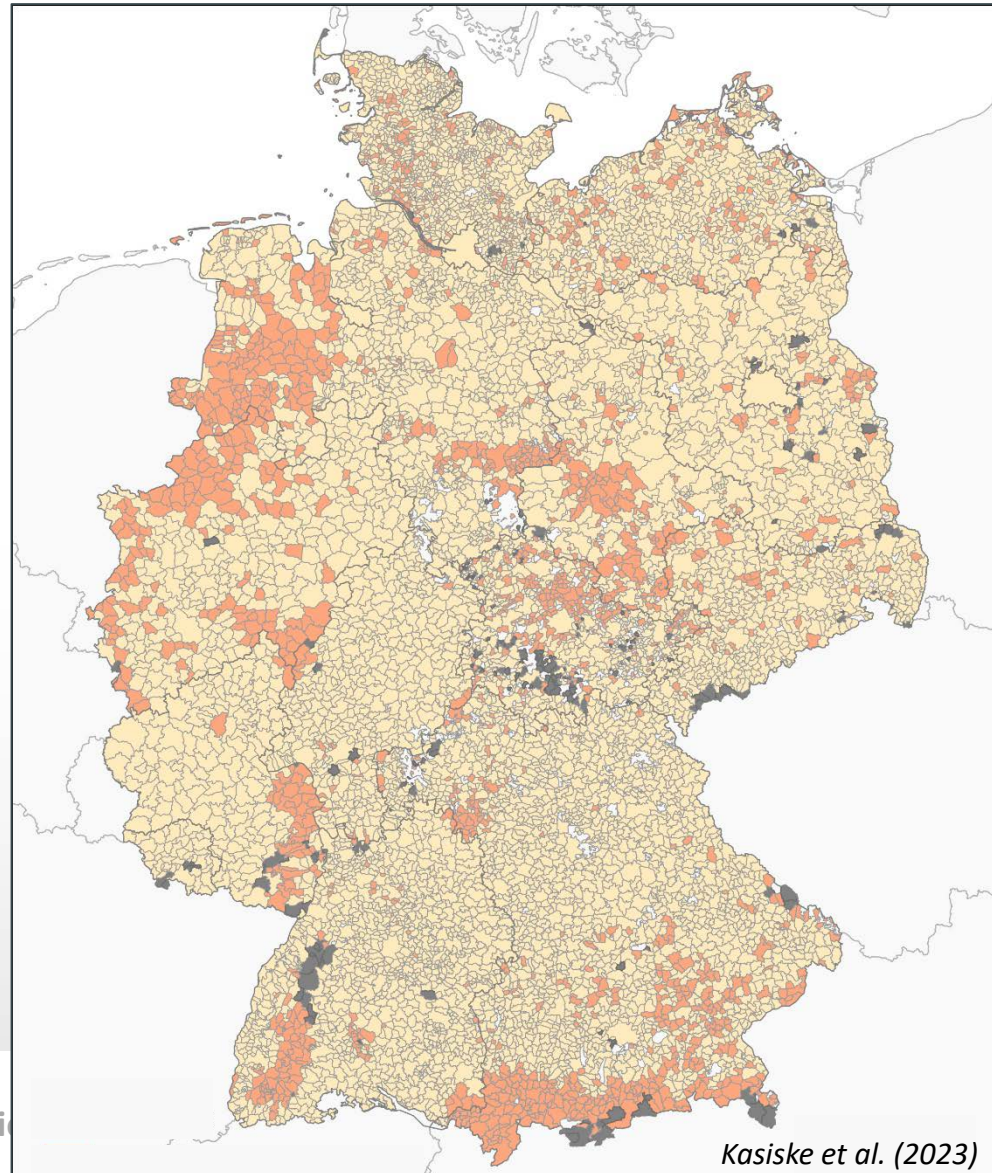
1. Studie: Einfluss der Viehbesatzdichte

Ergebnisse: Repräsentativität



Transektlandschaften

- Representativ für ca. 80 % der Gemeinden Deutschlands
- Etwas weniger intensiv als im Durchschnitt

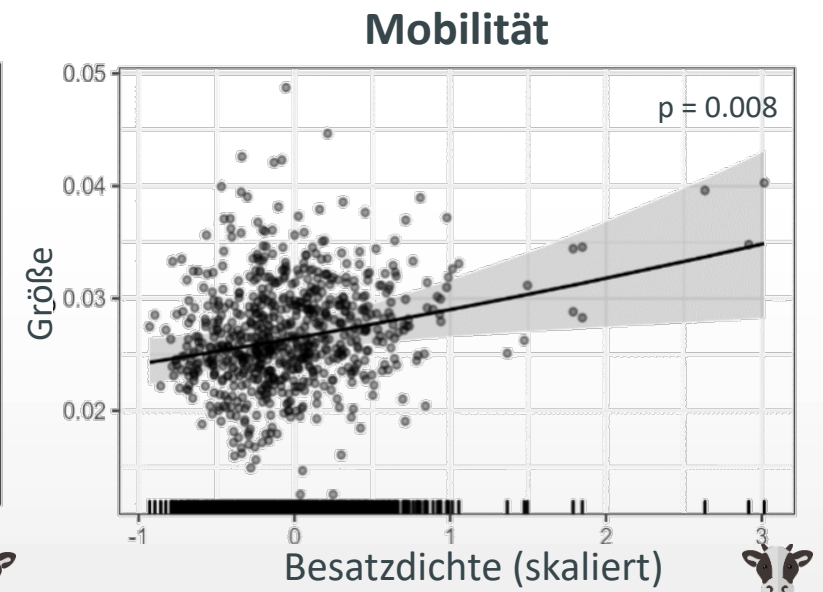
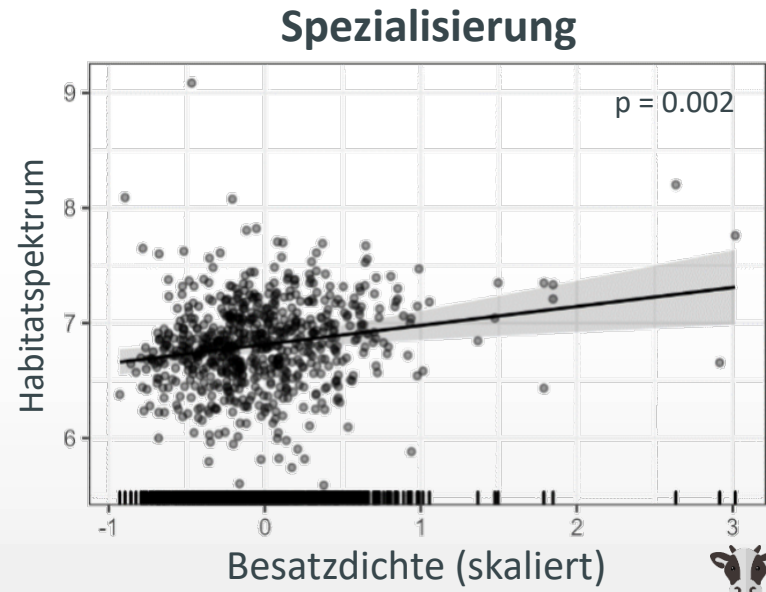
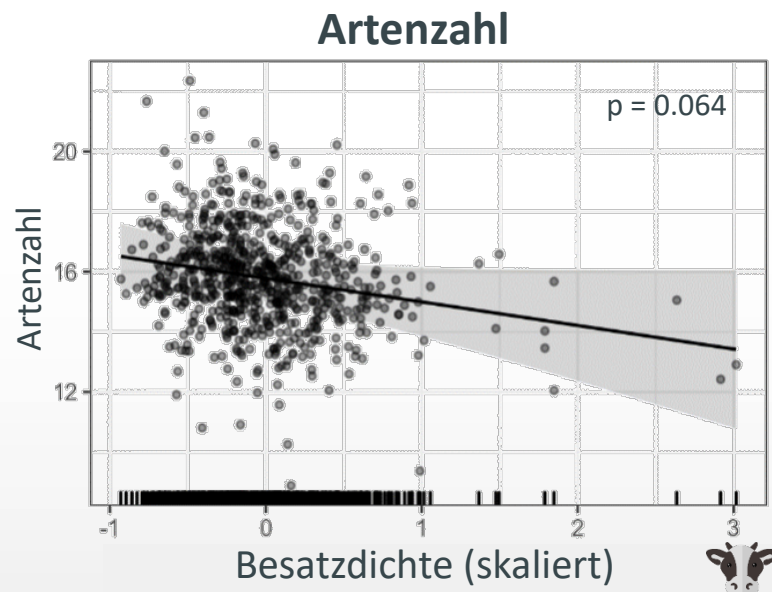


1. Studie: Einfluss der Viehbesatzdichte

Ergebnisse: Effekte der Landnutzung



- Keine signifikante Beziehung zum Grünland-Index  und Dünge-Index 
- Signifikante Korrelation mit Besatzdichte Raufutterfresser 



Kasiske et al. (2023)

1. Studie: Einfluss der Viehbesatzdichte

Implikationen



Repräsentativität

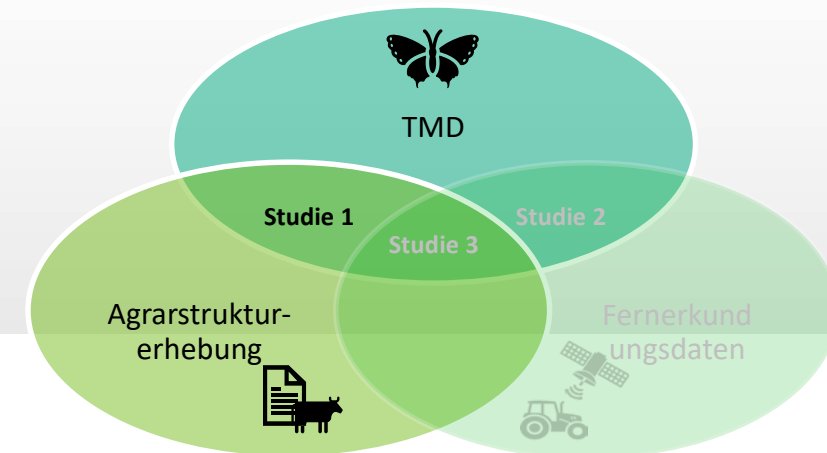
- Relativ repräsentativ (Grünland-Index, org. Düngung, Besatzdichte)

Landnutzungs-Effekte

- Artenzahl negative korreliert mit Viehbesatzdichte
- Mehr Generalisten und mobile Arten bei hoher Besatzdichte

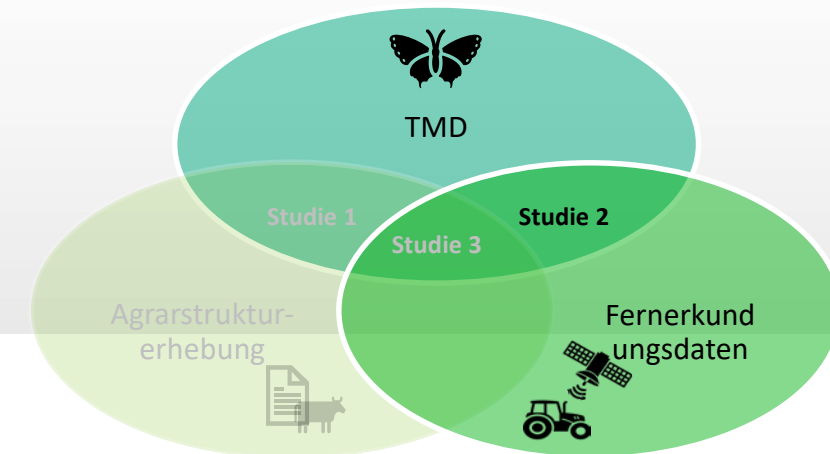
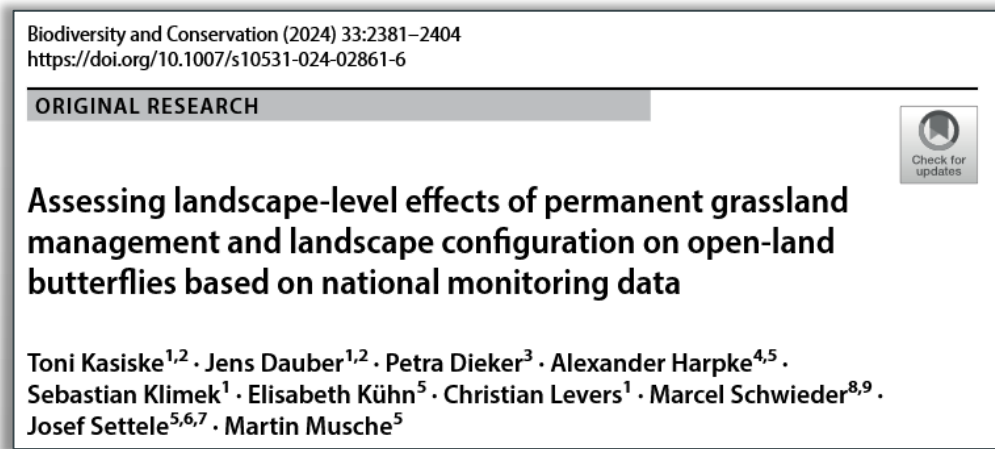
Studien

- Studie 1: Einfluss der Viehbesatzdichte
- Studie 2: Einfluss der Mahd und der Landschaftsstruktur
- Studie 3: Cluster-Analyse der Landschaften in der Umgebung der Transekte



Studien

- Studie 1: Einfluss der Viehbesatzdichte
- Studie 2: Einfluss der Mahd und der Landschaftsstruktur
- Studie 3: Cluster-Analyse der Landschaften in der Umgebung der Transekte



2. Studie: Einfluss der Mahd und der Landschaftsstruktur

Methoden



Landnutzungsdaten

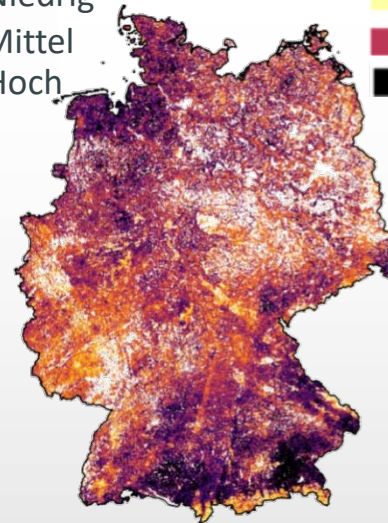
- Mahdhäufigkeit 
- Zeitpunkt erster Schnitt im Jahr 
- Randliniendichte 
- Mittel im 250 m-Puffer

Methode

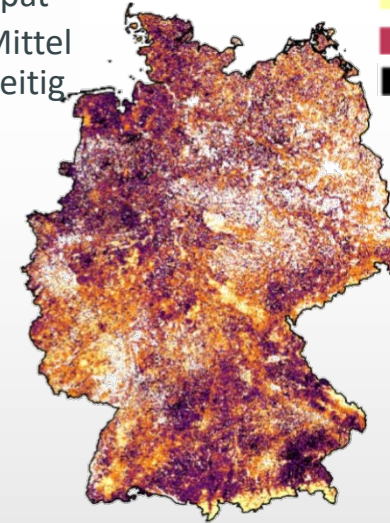
- Regressionsanalyse (GLMMs)

Grenzwert	Transekte
> 0 %	286
> 10 %	146
> 20 %	116
> 30 %	88
> 40 %	65
> 50 %	55

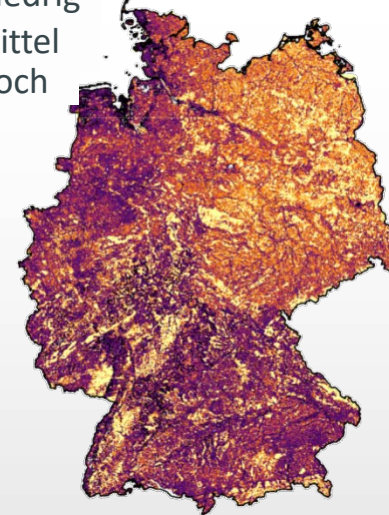
Mahdhäufigkeit 
Niedrig
Mittel
Hoch



Zeitpunkt 
Spät
Mittel
Zeitig

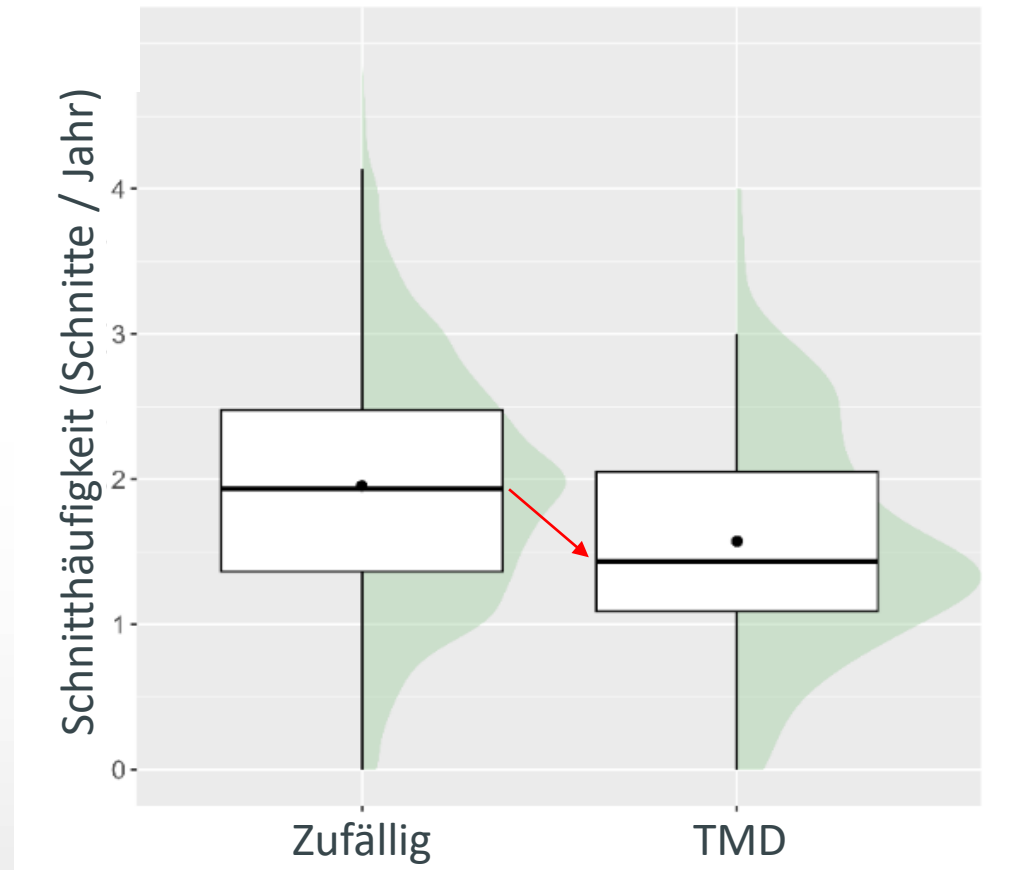


Randliniendichte 
Niedrig
Mittel
Hoch



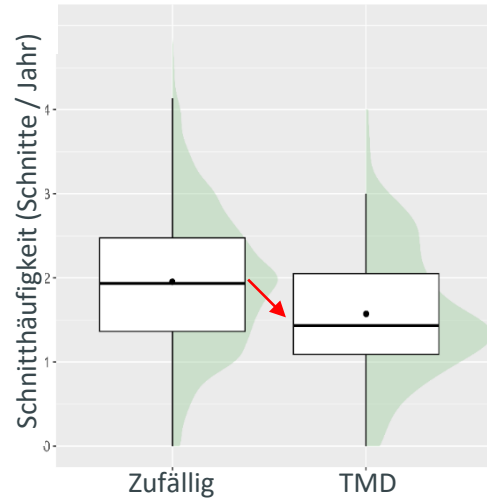
2. Studie: Einfluss der Mahd und der Landschaftsstruktur

Ergebnisse: Repräsentativität



2. Studie: Einfluss der Mahd und der Landschaftsstruktur

Ergebnisse: Repräsentativität



Transektlandschaften

- Seltener gemäht

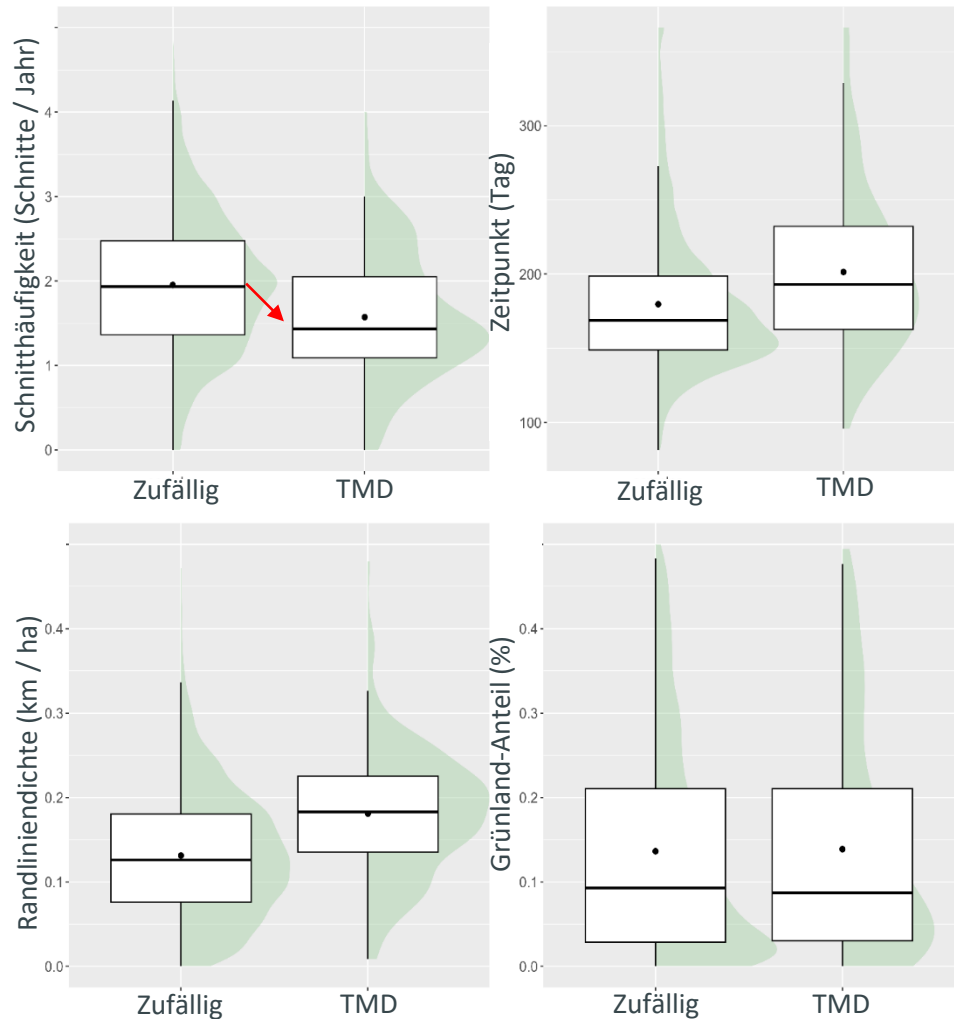
2. Studie: Einfluss der Mahd und der Landschaftsstruktur

Ergebnisse: Repräsentativität



Transektlandschaften

- Seltener gemäht



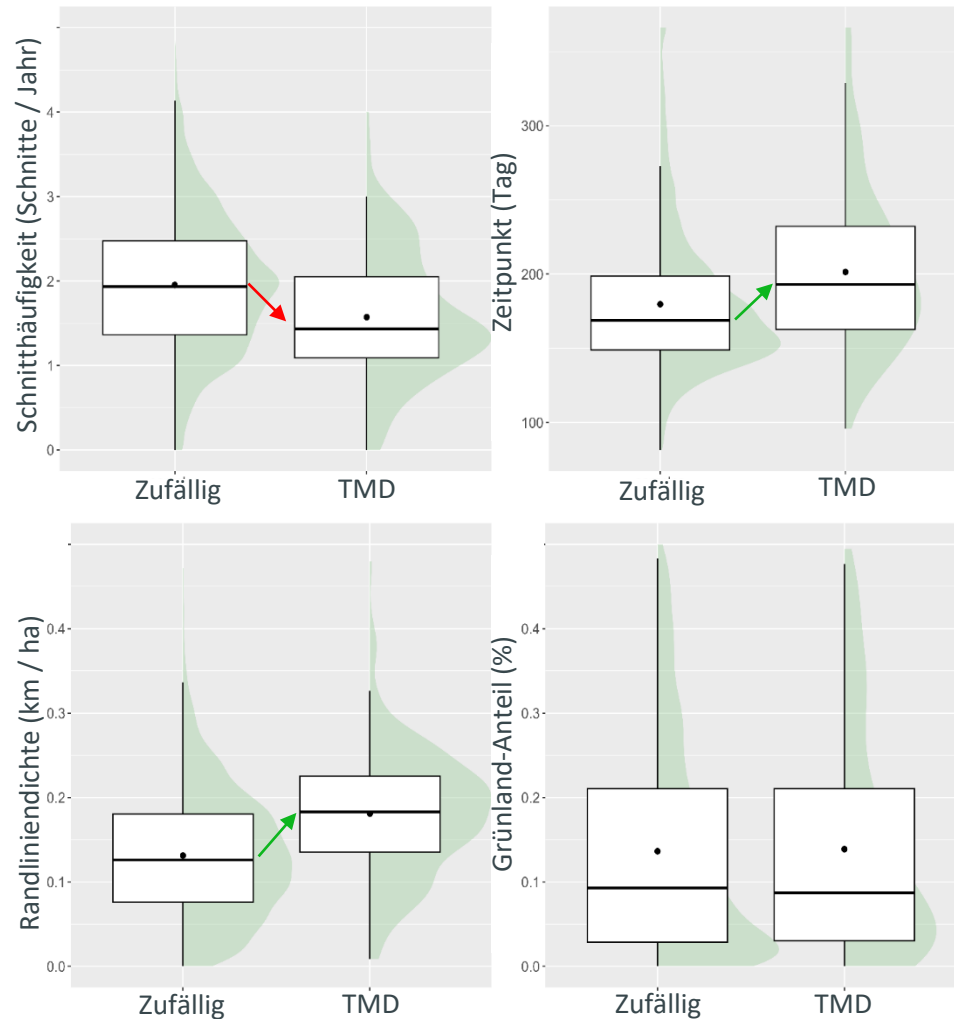
2. Studie: Einfluss der Mahd und der Landschaftsstruktur

Ergebnisse: Repräsentativität



Transektlandschaften

- Seltener gemäht
- Später gemäht
- Mehr Ränder, näher an Rändern
- Ähnlich viel Grünland

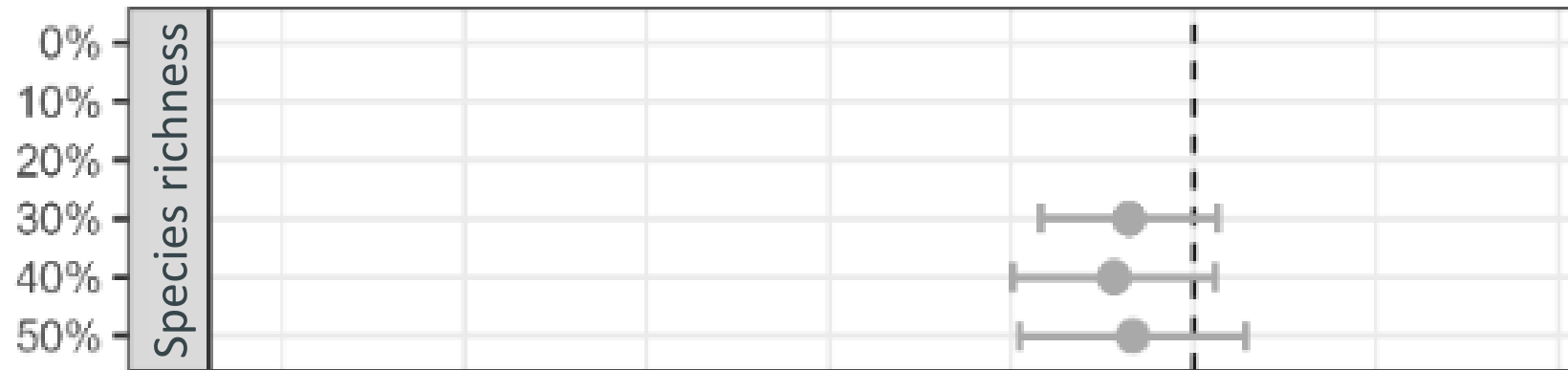


2. Studie: Einfluss der Mahd und der Landschaftsstruktur

Ergebnisse: Effekte der Mahd

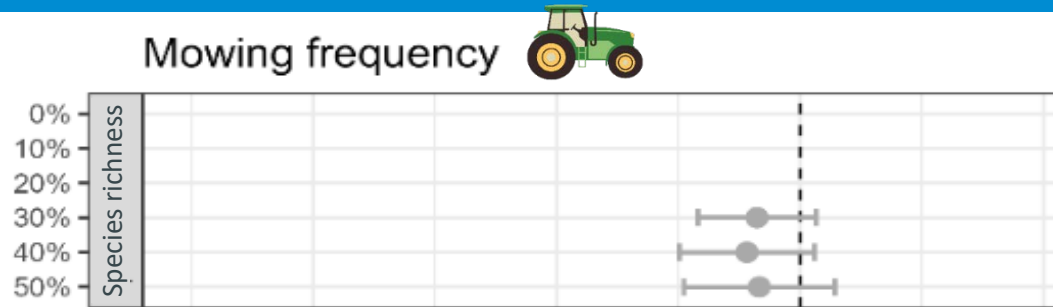


Mowing frequency



2. Studie: Einfluss der Mahd und der Landschaftsstruktur

Ergebnisse: Effekte der Mahd



2. Studie: Einfluss der Mahd und der Landschaftsstruktur

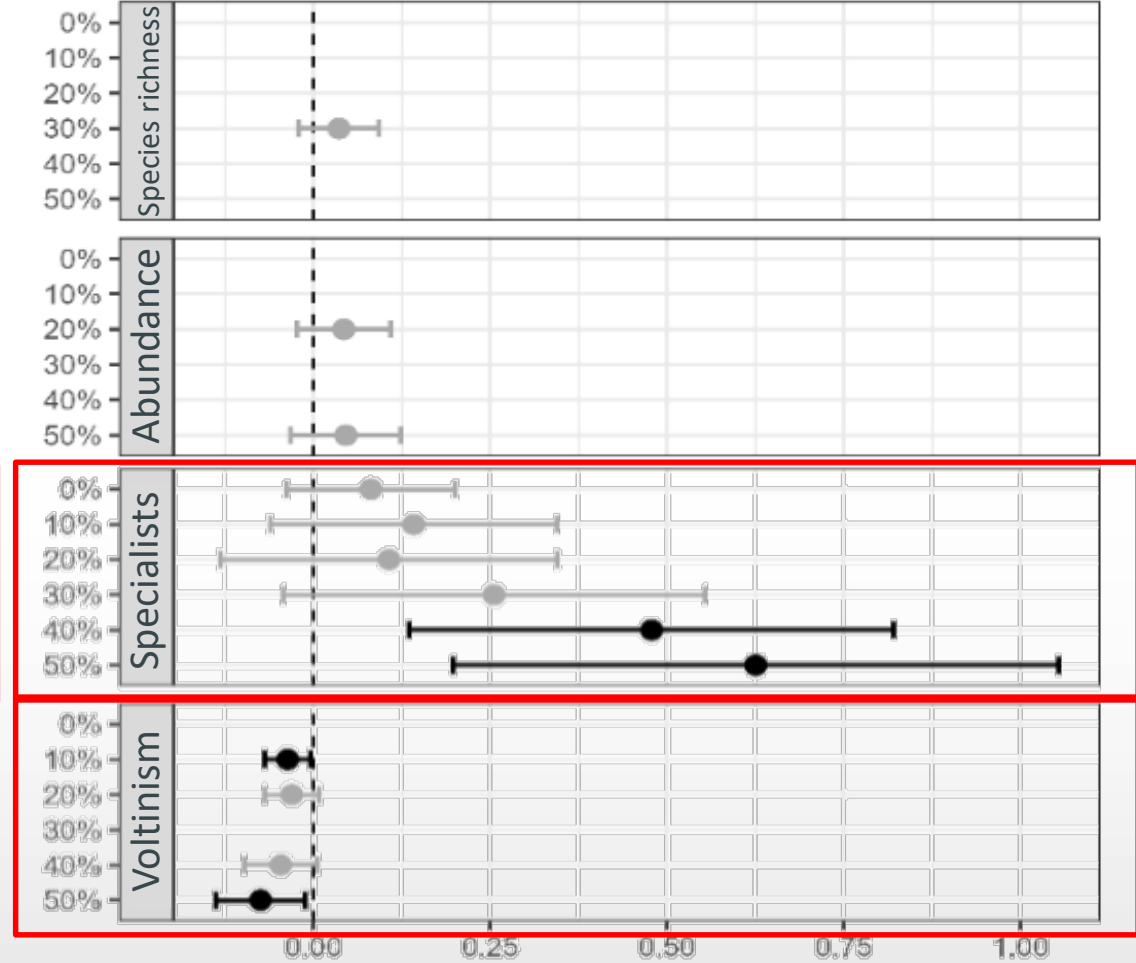
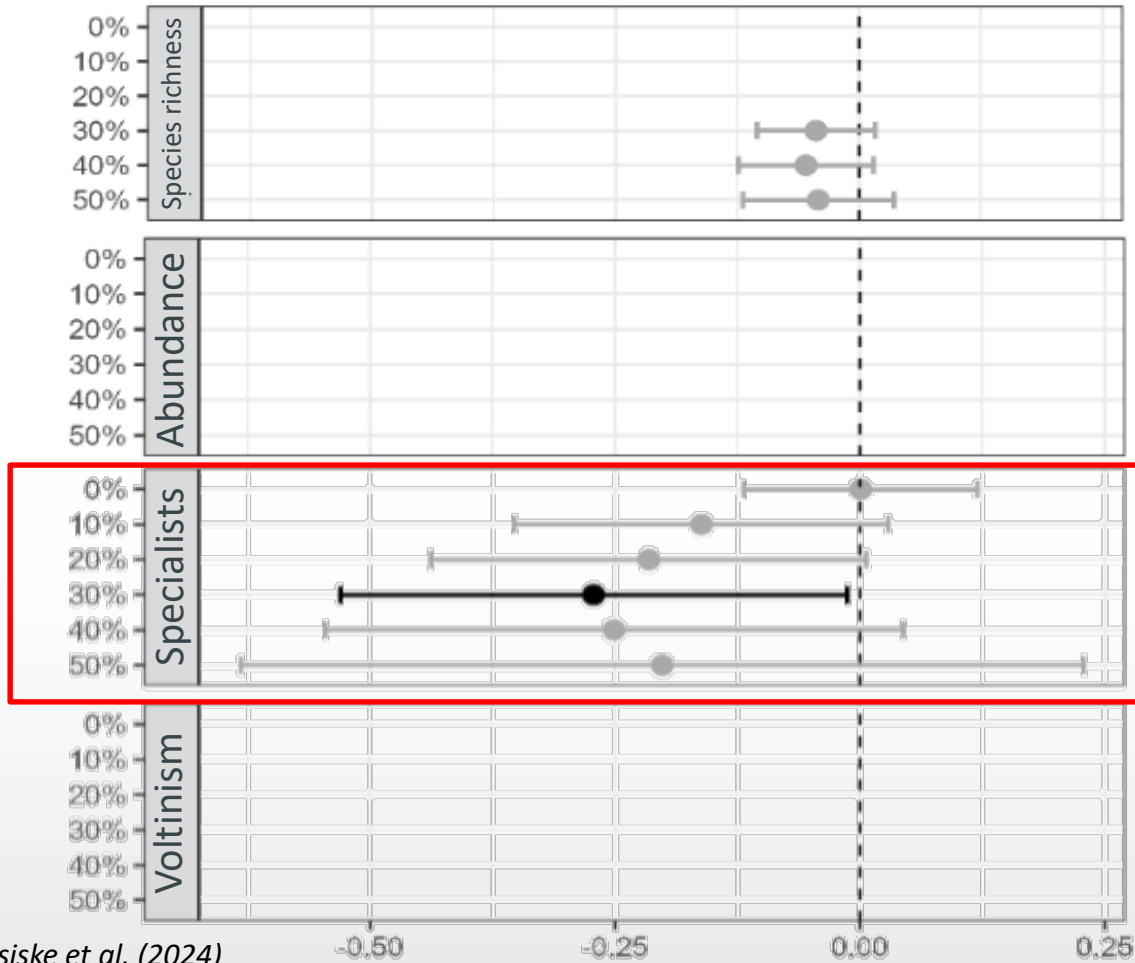
Ergebnisse: Effekte der Mahd



Mowing frequency



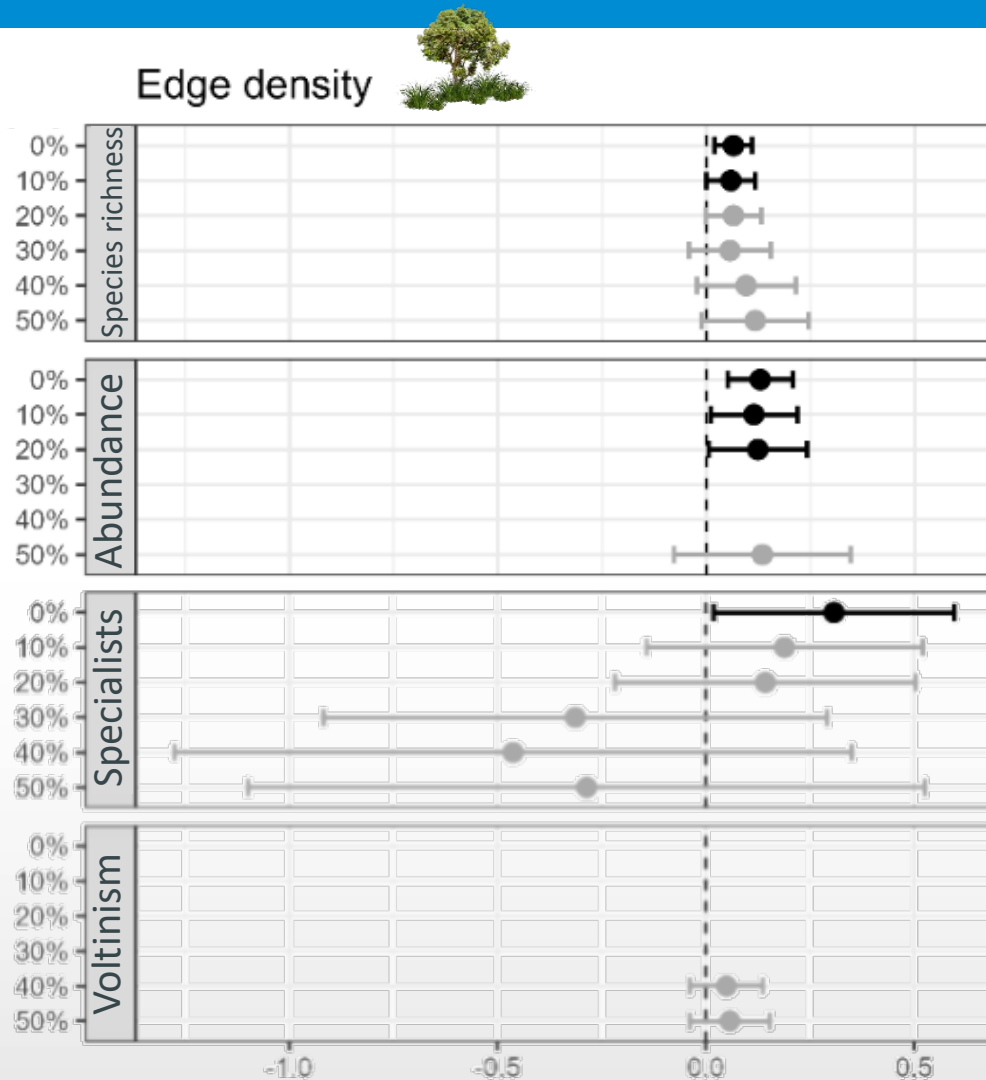
Timing of mowing



Kasiske et al. (2024)

2. Studie: Einfluss der Mahd und der Landschaftsstruktur

Ergebnisse: Effekte der Randliniendichte



Kasiske et al. (2024)



© T. Kasiske

2. Studie: Einfluss der Mahd und der Landschaftsstruktur

Implikationen



Repräsentativität

- Mehr Transekte in selten gemähten Landschaften mit hoher Landschaftsstruktur
- Zusätzliche Transekte in grünlandreichen Landschaften und in größerer Distanz zu Rändern empfohlen

Landnutzungseffekte

- Wenig Schnitte besonders für Spezialisten wichtig
- Ränder als Rückzugsorte bei geringer Ressourcenverfügbarkeit

Schlussfolgerungen

Fragestellungen

- (1) Wie beeinflusst die räumliche Verteilung der Transekte die Repräsentativität und die Aussagekraft der Untersuchungen?
- (2) Wie beeinflusst Landbedeckung, Landnutzung und Landschaftsstruktur die Tagfaltergemeinschaften in Agrarlandschaften?

Fragestellungen

- (1) Wie beeinflusst die räumliche Verteilung der Transekte die Repräsentativität und die Aussagekraft der Untersuchungen?
 - Gute räumliche Abdeckung und Repräsentativität
 - Dennoch gewisse Limitierungen
 - Zusätzliche Transekte und Anpassungen empfohlen
- (2) Wie beeinflusst Landbedeckung, Landnutzung und Landschaftsstruktur die Tagfaltergemeinschaften in Agrarlandschaften?

Fragestellungen

- (1) Wie beeinflusst die räumliche Verteilung der Transekte die Repräsentativität und die Aussagekraft der Untersuchungen?
- (2) Wie beeinflusst Landbedeckung, Landnutzung und Landschaftsstruktur die Tagfaltergemeinschaften in Agrarlandschaften?
 - Positive Effekte von extensivem Grünlandmanagement
 - Große Bedeutung von Strukturvielfalt
 - Relevanz des Landschaftskontext
 - Effekte abhängig von Arteigenschaften

- TMD als besondere Gelegenheit, Indikatorarten über große Skalen hinweg zu analysieren
- Limitierungen zeigen Anpassungsbedarf und Potenziale zukünftiger Arbeiten
 - Landnutzungsgradienten und Transektplatzierung optimieren
 - Weitere (z.B. unstrukturierte) Daten einbinden
 - Zusätzliche Landnutzungsdaten einbinden (z.B. Pestizide)

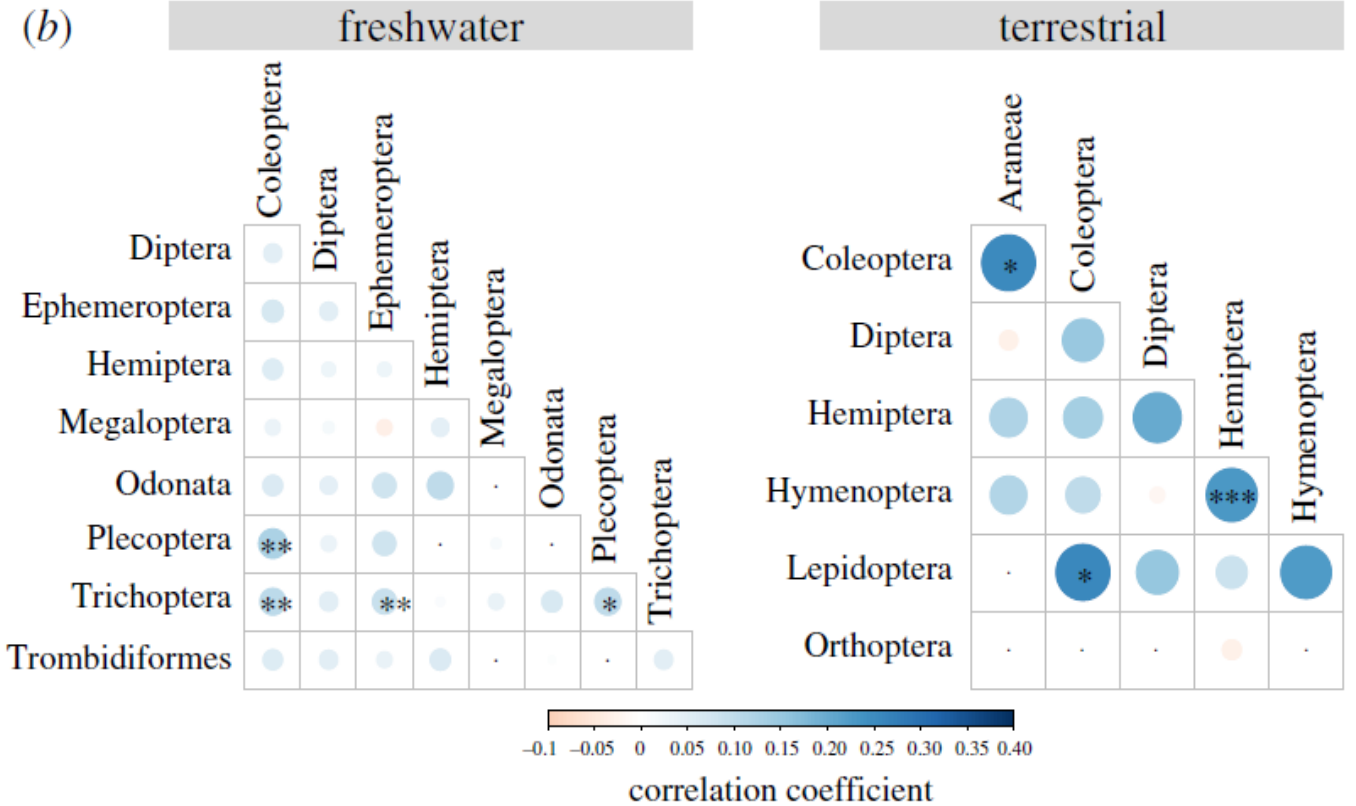
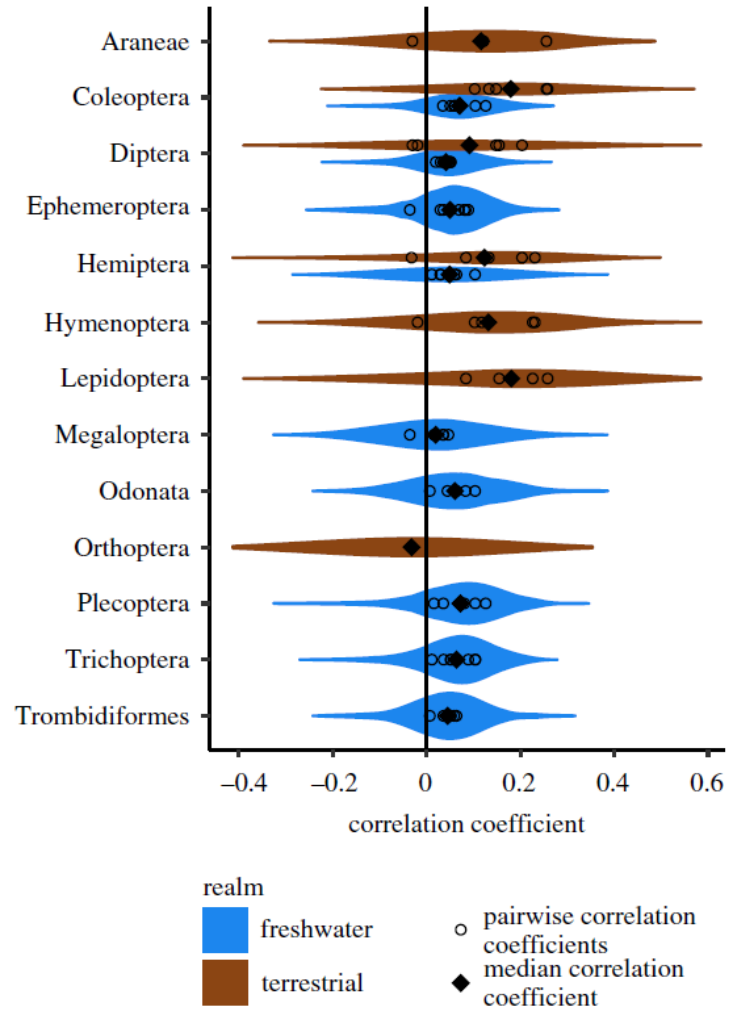
Vielen Dank für eure Aufmerksamkeit!

toni.kasiske@thuenen.de

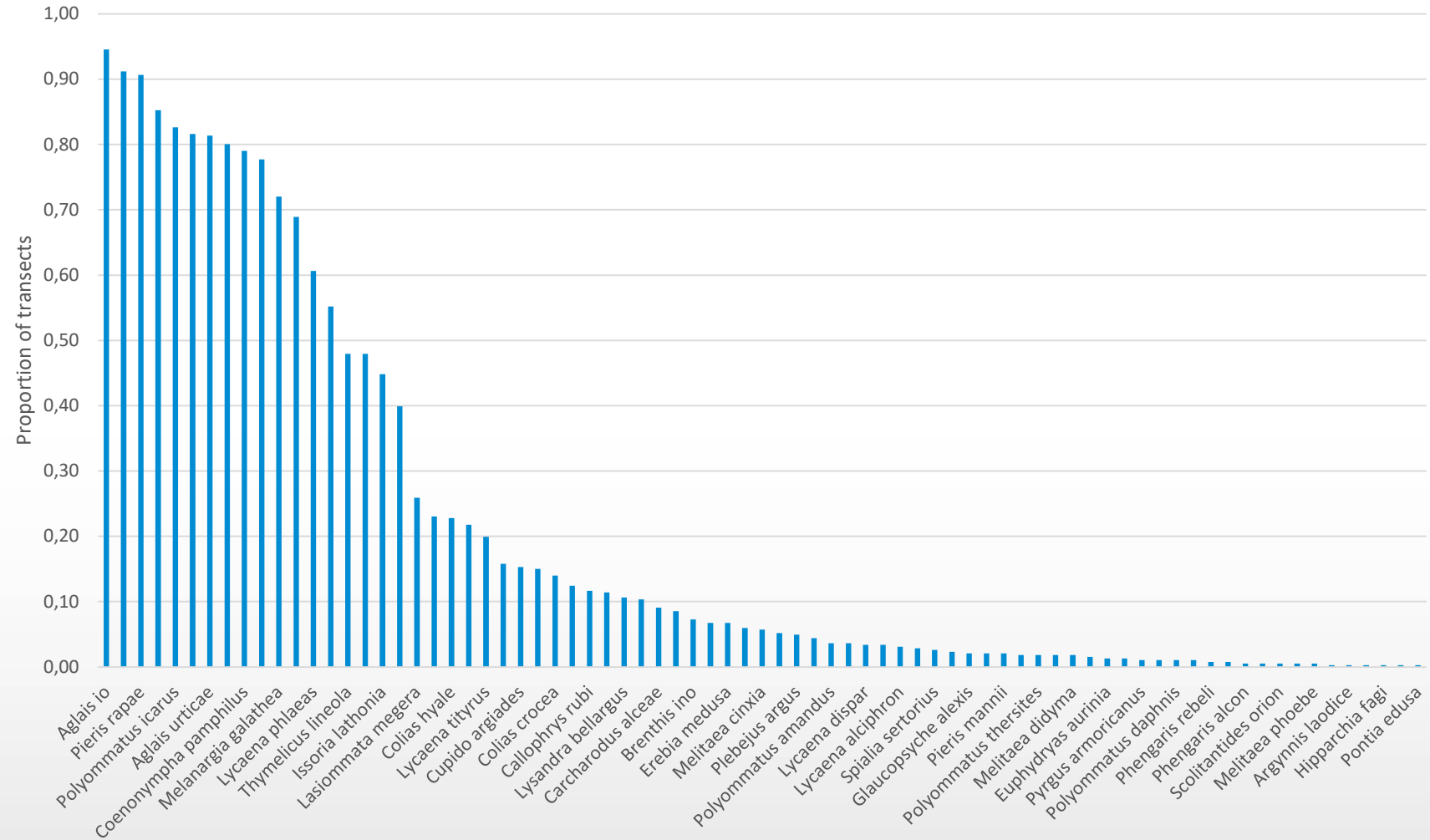
...Und vielen Dank an die zahlreichen Ehrenamtlichen, die Tagfalter-Daten erheben, und an die Koordinatoren des TMD!



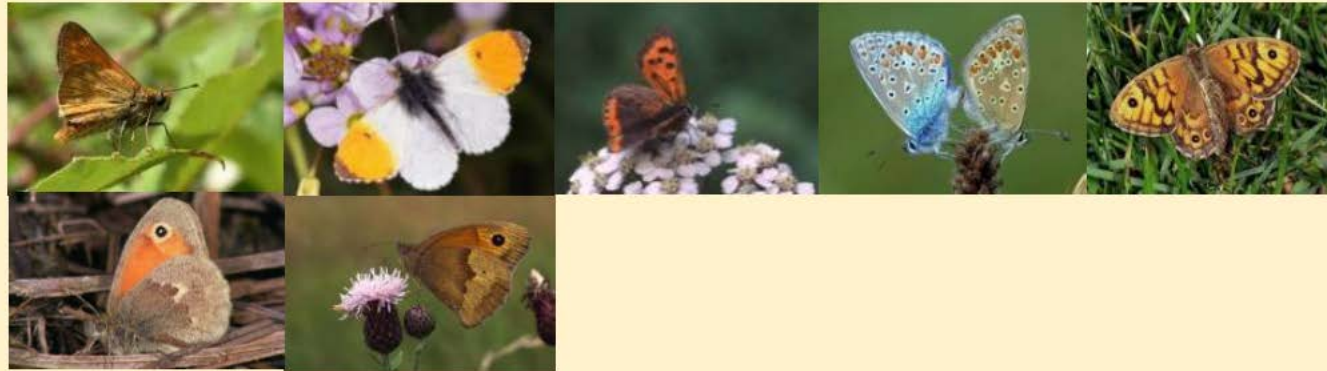
Butterflies as indicator species



Observed butterflies



EU Grassland Butterfly Index



Widespread species: *Ochloides sylvanus*, *Anthocharis cardamines*, *Lycaena phlaeas*, *Polyommatus icarus*, *Lasiommata megera*, *Coenonympha pamphilus* and *Maniola jurtina*



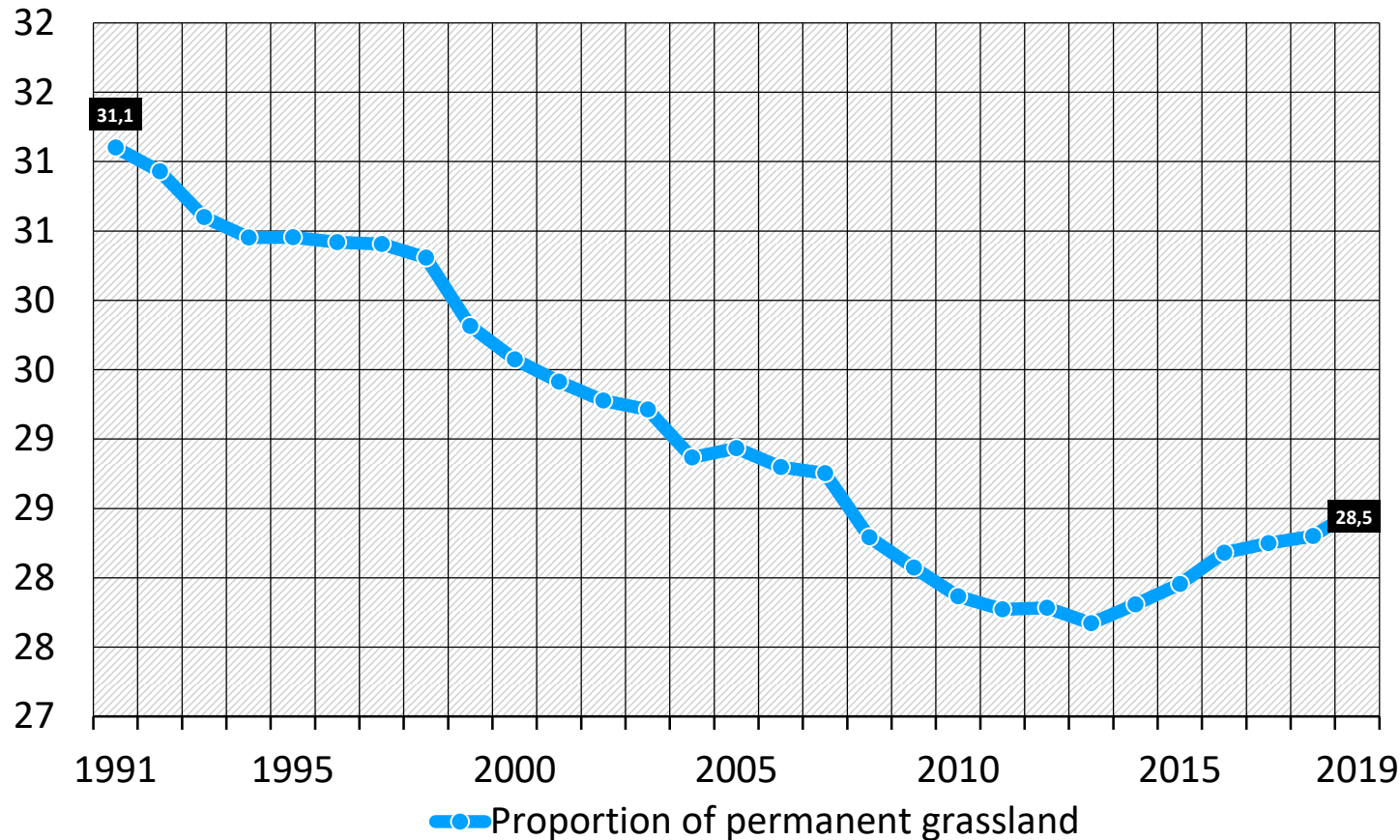
Specialist species: *Erynnis tages*, *Thymelicus acteon*, *Spialia sertorius*, *Cupido minimus*, *Phengaris arion*, *Phengaris nausithous*, *Lysandra bellarqus*, *Cyaniris semiarqus*, *Lysandra coridon* and *Euphydryas aurinia*

German Insect Monitoring

	Monitoring häufiger Insekten		Monitoring seltener Insekten			
			Monitoring von Insekten seltener Lebensräume		Monitoring aus Naturschutzsicht wertvoller Insekten	
Bausteine des Minimalprogramms	1A: Tagfalter und Widderchen auf der Landschaftsebene	1B: Heuschrecken im Grünland	2aA: Tagfalter und Widderchen in Kalkmagerrasen (FFH-LRT 6210); Wildbienen in trockenen Heiden (FFH-LRT 4030)	2aB: Xylobionte Käfer in naturnahen Wäldern	2bA: Behaarter Kurzflügler (<i>Emus hirtus</i>)	2bB: Silberfleck-Perlmutterfalter (<i>Boloria euphrosyne</i>)
	1C: Laufkäfer und bodenlebende Spinnen in Grünland, Acker und Wald	1D: Xylobionte Käfer im Wald			2bC: Ockerbindiger Samtfalter (<i>Hipparchia semele</i>)	2bD: Gestreifte Quelljungfer (<i>Cordulegaster bidentata</i>)
	1E: Wildbienen in Siedlungen	1F: Libellen in/an eutrophen Seen (Kleingewässer des FFH-LRT 3150)				
Erweiterungsbausteine	1G: Flugaktive Insekten im Offenland	1H: Wasserkäfer in eutrophen Seen (Kleingewässer des FFH-LRT 3150)	2aC: Flugaktive Insekten im naturschutzfachlich wertvollen Offenland	2aD: Libellen in/an dystrophen Stillgewässern (FFH-LRT 3160)	2bE: Insektenarten der FFH-Richtlinien-Anhänge (FFH-Monitoring)	
	1I: Wasserinsekten in Fließgewässern (WRRL-Monitoring)	1J: Heuschrecken in Flachland-Mähwiesen (FFH-LRT 6510); Laufkäfer und bodenlebende Spinnen in Flachland-Mähwiesen (FFH-LRT 6510)	2aE: Nachtfalter in Übergangs- und Schwingrasenmooren (FFH-LRT 7140)	2aF: Schwebfliegen in Moorwäldern (FFH-LRT 91D0*)		
			2aG: Nachtfalter in Orchideen-Buchenwäldern (FFH-LRT 9150); Xylobionte Käfer in bodensauren Eichenwäldern (FFH-LRT 9190)	2aH: Heuschrecken in Berg-Mähwiesen (FFH-LRT 6520); Laufkäfer und bodenlebende Spinnen in Berg-Mähwiesen (FFH-LRT 6520)		
			2aI: Tagfalter und Widderchen in Pfeifengraswiesen (FFH-LRT 6410); Laufkäfer und bodenlebende Spinnen in Calthion-Wiesen	2aJ: Zikaden in Borstgrasrasen (FFH-LRT 6230*)		

Land-use change: habitat loss

Proportion of permanent grassland on the agricultural area in Germany



Proportion of permanent grassland decreased over time

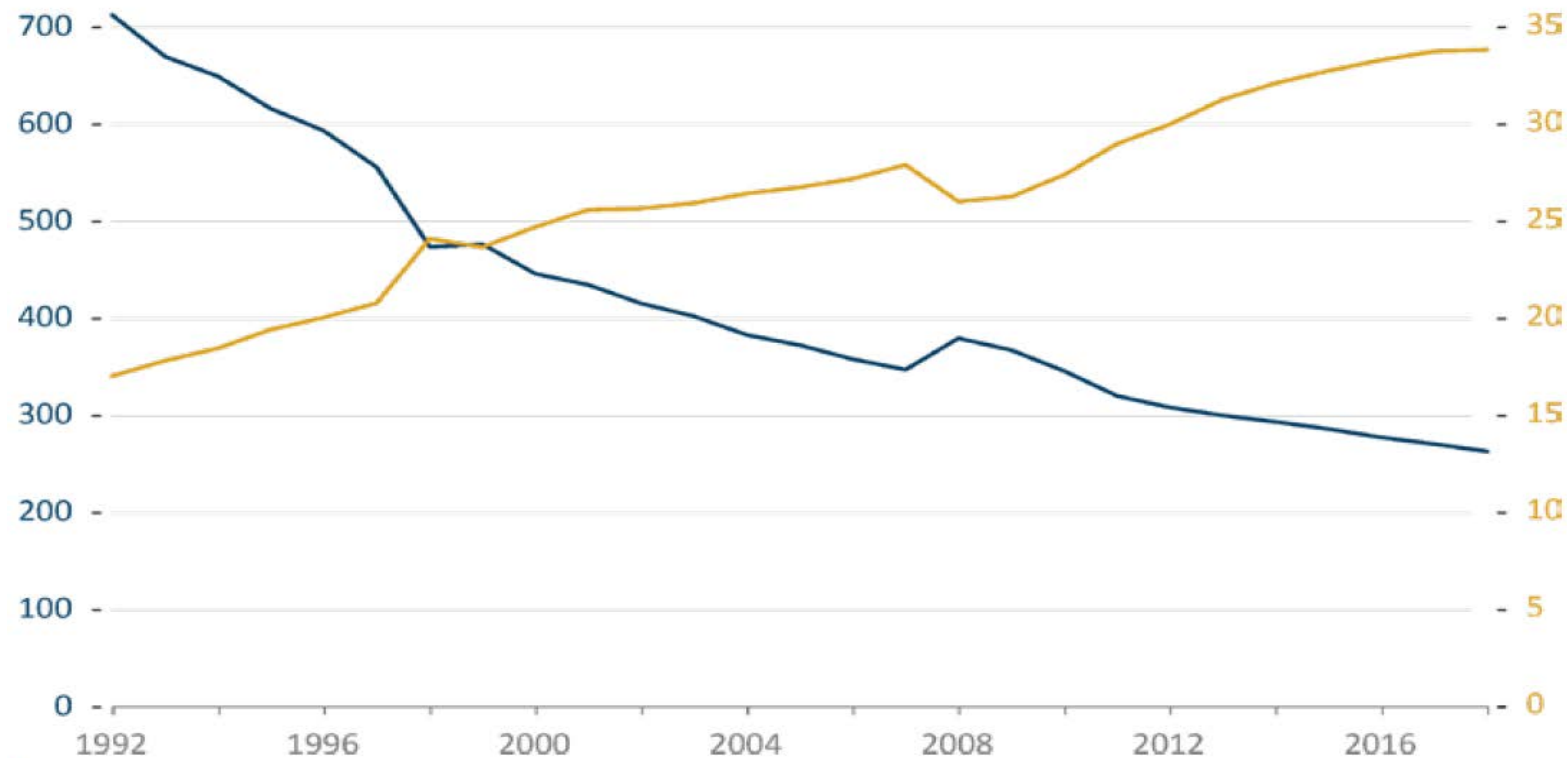


Source: Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina, acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, Union der deutschen Akademien der Wissenschaften (2020)

Land-use change: agricultural intensification and abandonment

Agricultural enterprises with livestock
(in 1,000)

Mean number of livestock units
per agricultural enterprise

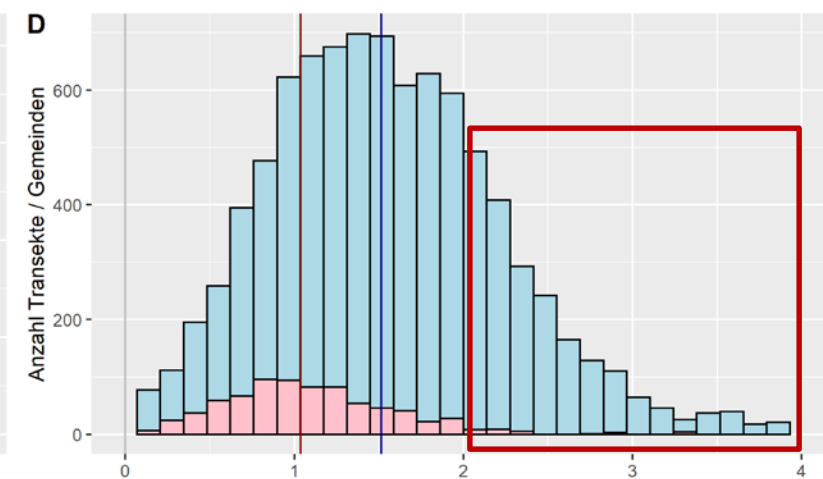
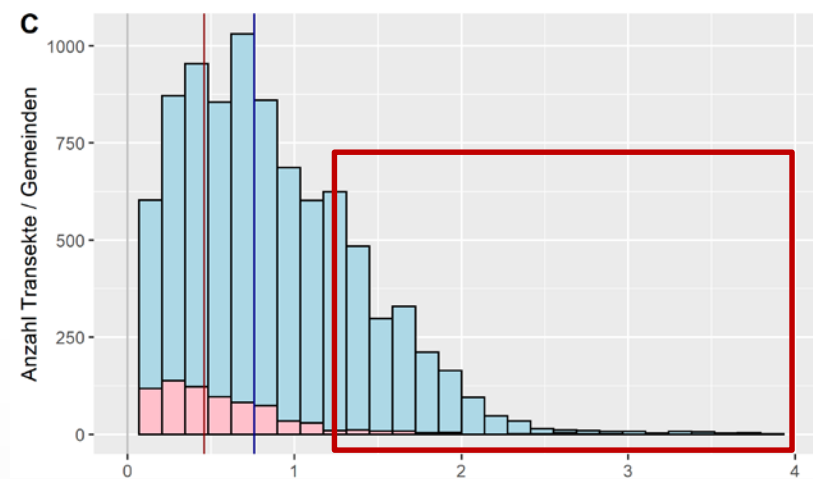


Livestock density
either increased or
vanished



Source: Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina, acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, Union der deutschen Akademien der Wissenschaften (2020)

Study 1: Municipalities vs. transects



1. Study: Impact of land-use and livestock density

Methods



Land-use Indicators

GLMM: $y \sim$ *Grassland Index*  + *Fertilization Index*  + *Herbivores Density Index*  +
n surveys + n sections + year + Natura2000 + coordinates + (1 | *transect ID*)
Covariates Random effect

Response

- Species richness
- Specialization
- Mobility

Model selection

- Backwards selection of indicators when $dAIC > 3$



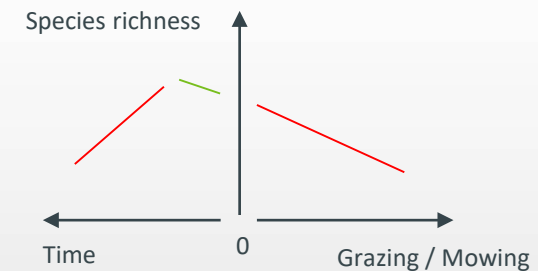
© T. Kasiske

Study 1: Additional discussion

Negative effect of Herbivores Livestock Density

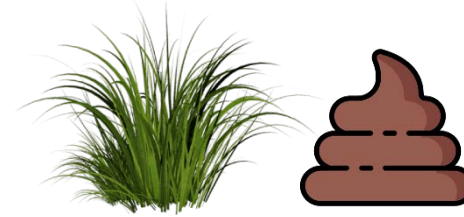


- Direct impact due to higher mortality due to grazing, mowing, trampling
- Indirect impact due to homogenization of plant communities, less flowers
- Optimum expected at very low intensities / in early successional stages



Study 1: Additional discussion

No sig. effect of grasslands and fertilization



- Effects depending on interactions (thresholds of seminatural habitats)
- Potentially missing additional important parameters, i.e. configuration of grasslands, information about synthetic nitrogen, manure transportation, deposition through the air
- Potentially long-term effects more important in regard of fertilization

Study 2: Generalized Linear Mixed Models

Mowing regime and landscape configuration

$$y \sim \text{Edge density} \text{ 🌳 } * \text{Mowing frequency} \text{ 🚜 } + \text{Timing of mowing} \text{ 📅 } + \\ n \text{ surveys} + \text{transect length} + \text{year} + \text{Natura2000} + \text{coordinates} + (1 \mid \text{transect ID})$$

Covariates Random effect

Model selection:

- Multi-model selection (best model set dAIC < 6)
- Model-averaged estimates

Response:

- Species richness
- Abundance, GBI
- Specialization
- Mobility
- Voltinism

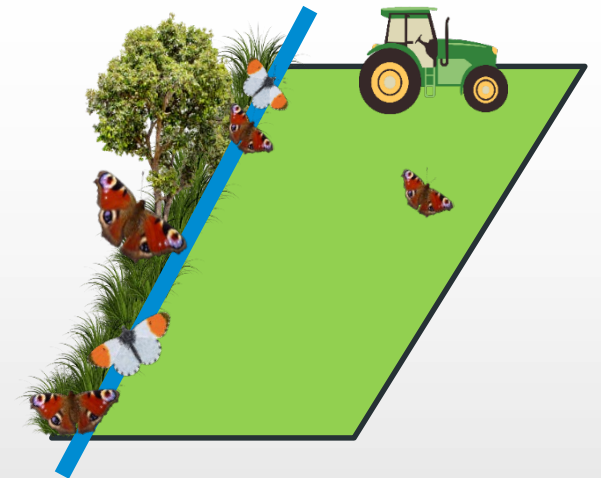


© T. Kasiske

Study 2: Effects of mowing regimes

Detecting effects of mowing regimes at a national scale proved challenging

- Important confounding factors (mowing technique, biomass production, weather) ^{1, 2}
- “Concentration effect” of butterflies in transects located along unmown edges
- Additional transects within grasslands and in larger distance to edges would be recommended





3. Study: Cluster analysis of landscapes surrounding transects

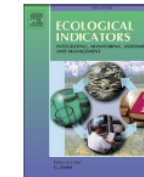
Ecological Indicators 180 (2025) 114317



Contents lists available at [ScienceDirect](https://www.sciencedirect.com)

Ecological Indicators

journal homepage: www.elsevier.com/locate/ecolind



Identifying typical patterns of land-use and landscape structure in citizen science butterfly monitoring

Toni Kasiske^{a,b,*}, Sebastian Klimek^a, Jens Dauber^{a,b}, Alexander Harpke^{d,e}, Elisabeth Kühn^e, Christian Levers^a, Marcel Schwieder^{h,i}, Josef Settele^{e,f,g}, Diana Sietz^a, Gideon O. Tetteh^h, Martin Musche^e

^a Thünen-Institute of Biodiversity, Braunschweig, Germany

^b Biodiversity of Agricultural Landscapes, Institute of Geocology, Technische Universität Braunschweig, Germany

^d Department of Community Ecology, Helmholtz Centre for Environmental Research - UFZ, Halle, Germany

^e Department of Conservation Biology and Social-Ecological Systems, Helmholtz Centre for Environmental Research - UFZ, Halle, Germany

^f iDiv - German Centre for Integrative Biodiversity Research, Leipzig, Germany

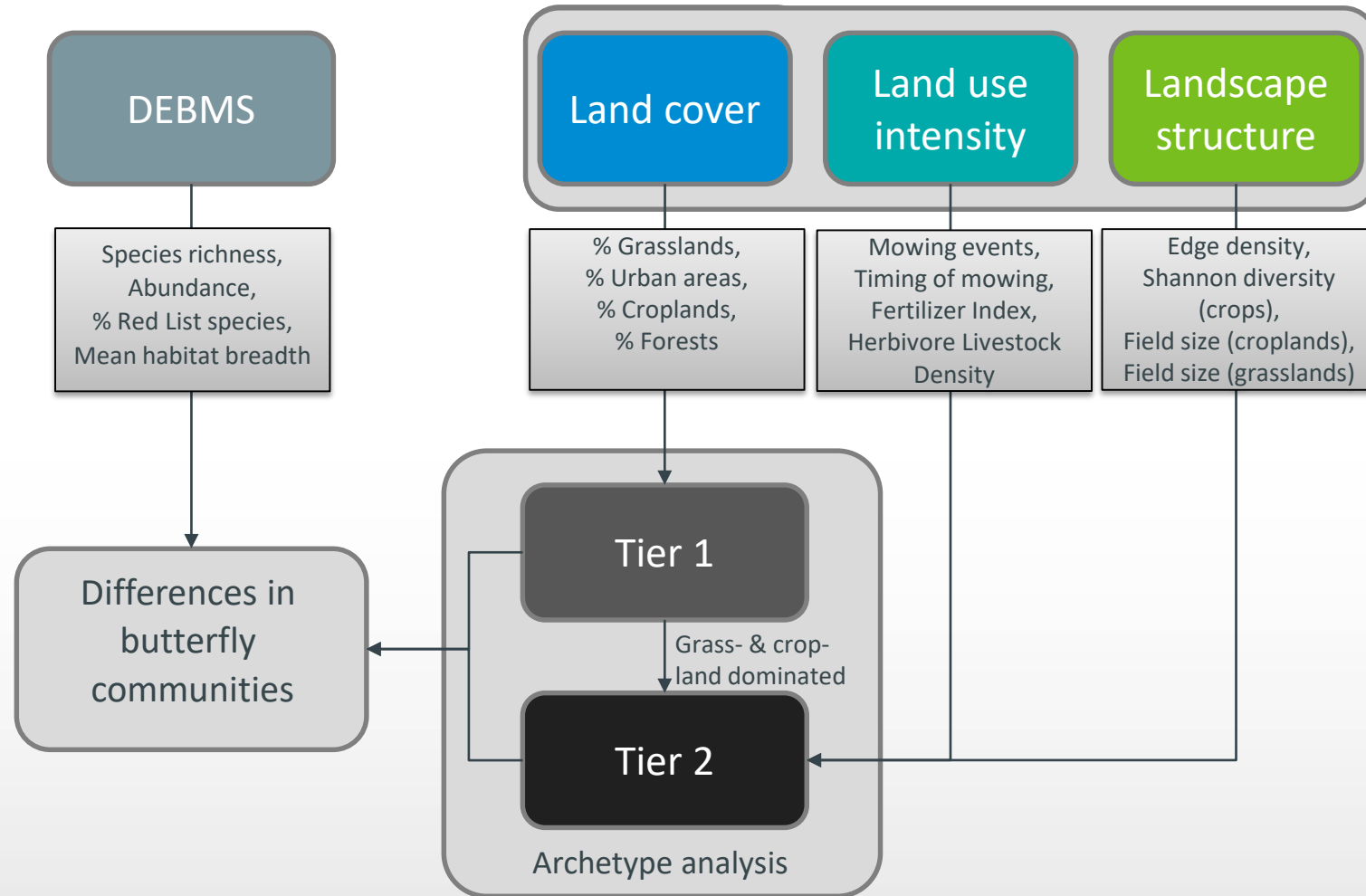
^g Institute of Biological Sciences, University of the Philippines Los Baños, College, Laguna, Philippines

^h Thünen-Institute of Farm Economics, Braunschweig, Germany

ⁱ Department of Geography, Humboldt-Universität zu Berlin, Berlin, Germany

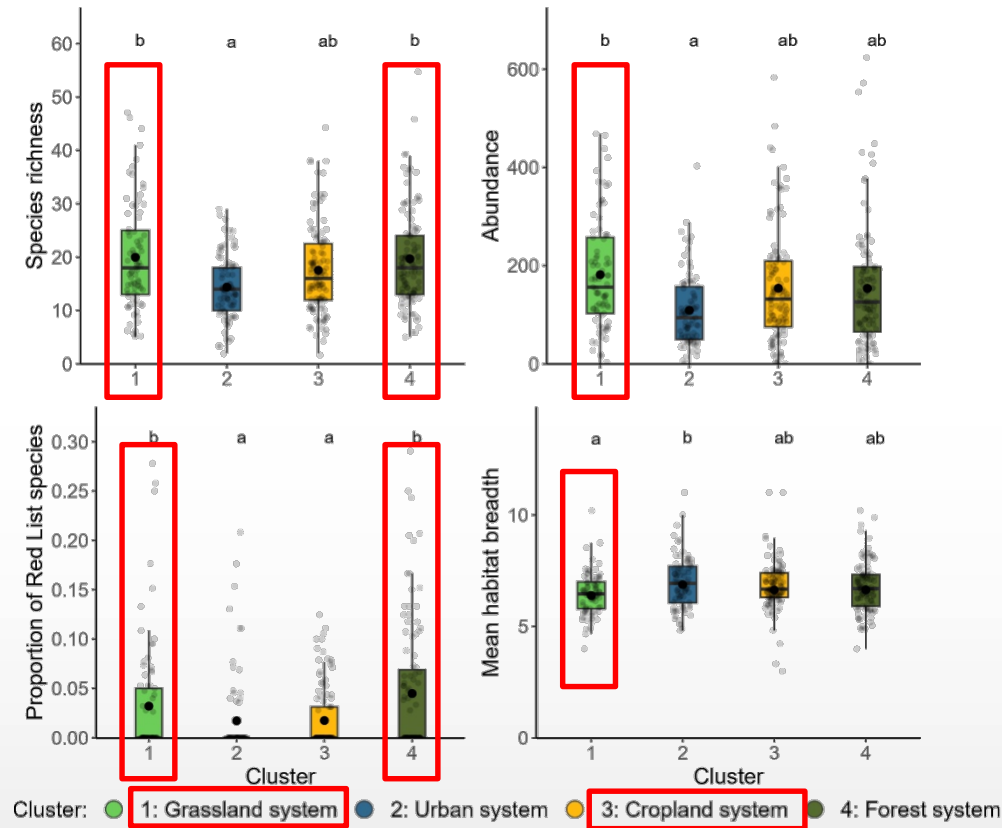
3. Study: Cluster analysis

Methods

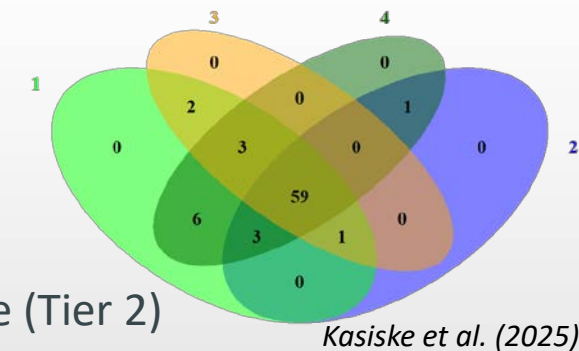


3. Study: Cluster analysis

Results: Tier 1 – Land cover



- Most species present in each cluster
- Nearly all species found in grassland-dominated landscapes
- No species exclusive to one cluster
- Significantly more (endangered) species in grassland- and forest-dominated landscapes
- Significantly higher abundances and more specialists in grassland-dominated landscapes



Repeated clustering based on land use (Tier 2)

3. Study: Cluster analysis

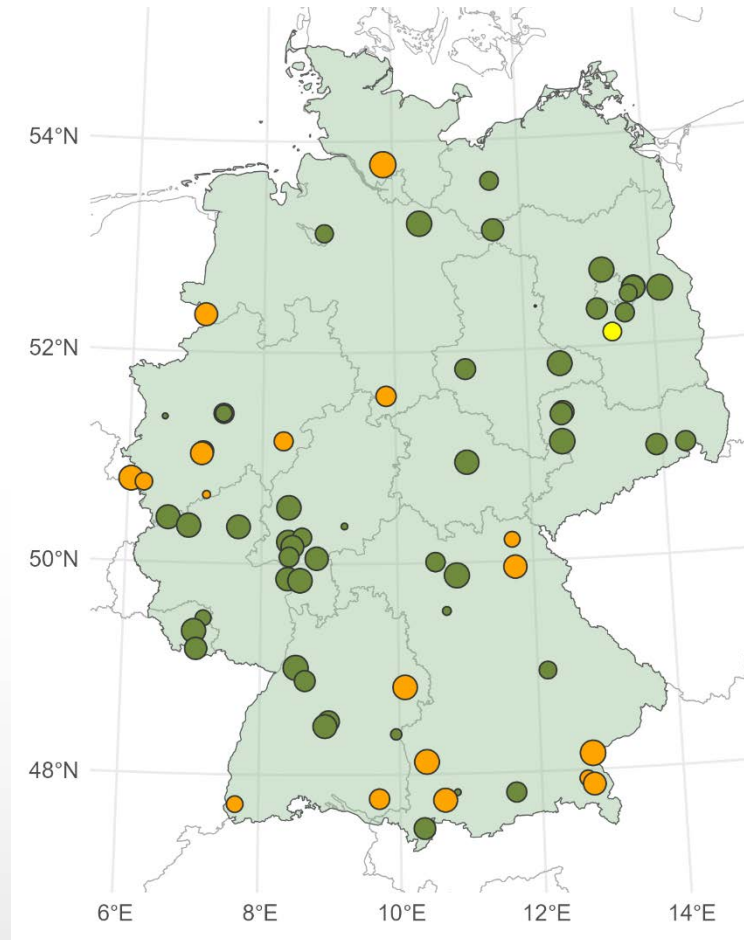
Results: Tier 2 – Grassland dominated landscapes



Low-intensity grassland systems (49 transects)

High-intensity grassland systems (19 transects)

Grassland systems with large parcels (4 transects)



- Importance of land-use intensity
- Most transects in low-intensity grassland systems
- Spatially biased clusters
- No significant effects on butterflies

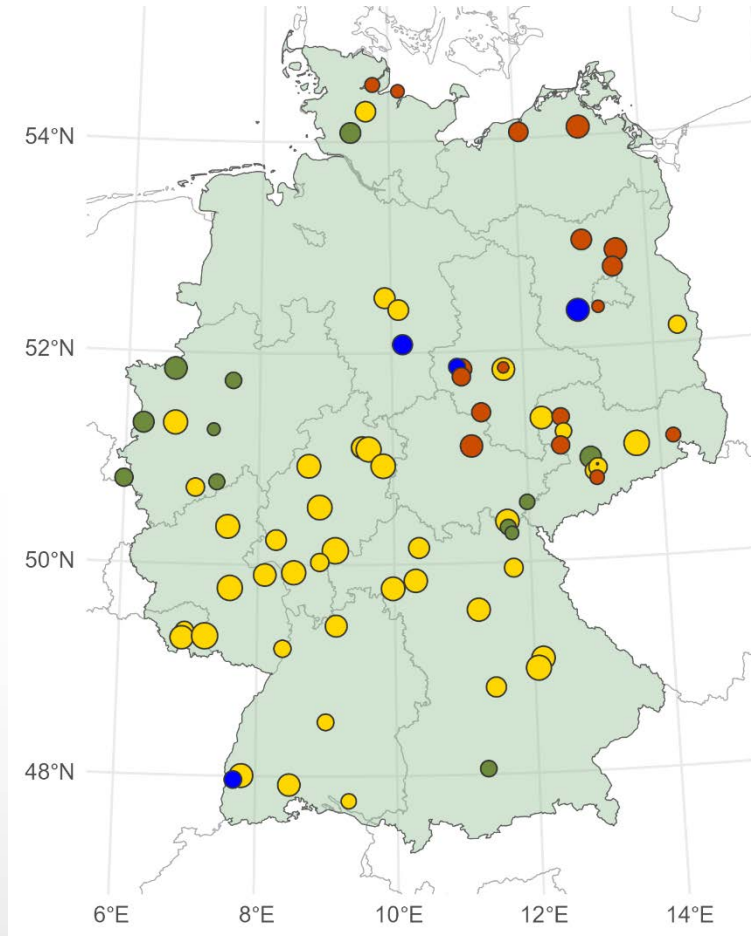
Kasiske et al. (2025)

3. Study: Cluster analysis

Results: Tier 2 – Cropland dominated landscapes



- High-diversity cropland systems (44 transects)
- Homogeneous cropland system (18 transects)
- Cropland system with high-intensity grasslands (14 transects)
- Cropland system with low-intensity grasslands (5 transects)



- Importance of landscape structure
- Most transects in high-diversity cropland systems
- Spatially biased clusters
- No significant effects on butterflies

Kasiske et al. (2025)

3. Study: Cluster analysis

Implications



- Land-cover share has the strongest relation to butterfly community composition
- Even small habitat patches can maintain species in the landscape
- In grassland-dominated landscapes, management intensity is key
- In crop-dominated landscapes, structural diversity plays a greater role
- Future studies should increase sample size and improve transect distribution across German landscapes

Possibilities for future work

Expand monitoring to underrepresented landscapes

- Implement data from stratified monitoring (e.g., national insect monitoring scheme by the BfN)
- Possibly implement unstructured data (e.g., GBIF / collections)

Implement additional land-use data

- IACS data (e.g., egri-env. schemes)
- Data on modelled pesticide applications (e.g. Porta et al. 2024)

Deepen research questions

- Structural Causal Models
- Power analysis (Grassland Butterfly Indicator)