



Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

# Abschlussbericht

## EIP – Projekt der OG „Nachhaltige Biomassenutzung“

Februar 2020

### Vorhabenbezeichnung: Entwicklung einer innovativen, nicht-invasiven Messmethode zur Bestimmung des Ertragspotenzials von Knicks und KUP in der Landwirtschaft

#### Inhaltsverzeichnis

A Kurzdarstellung.....	2
I. Ausgangssituation und Bedarf.....	2
II. Projektziel und konkrete Aufgabenstellung .....	2
III. Mitglieder der OG .....	3
IV. Projektgebiet .....	4
V. Projektlaufzeit und -dauer .....	4
VI. Budget.....	4
VII. Ablauf des Vorhabens .....	4
VIII. Zusammenfassung der Ergebnisse.....	5
B Eingehende Darstellung .....	6
I. Verwendung der Zuwendung .....	6
II. Detaillierte Erläuterung der Situation zu Projektbeginn .....	6
III. Ergebnisse der OG in Bezug auf Zusammenarbeit und Projektdurchführung.....	8
IV. Ergebnisse des Innovationsprojektes.....	13
V. Nutzen der Ergebnisse für die Praxis .....	45
VI. (Geplante) Verwertung und Nutzung der Ergebnisse.....	45
VII. Wirtschaftliche und wissenschaftliche Anschlussfähigkeit .....	45
VIII. Wo relevant: Nutzung Innovationsdienstleister (IDL).....	45
IX. Kommunikations- und Disseminationskonzept .....	45
Anhang .....	47
Fotos der Objekte .....	47
Literatur.....	51
“Naturschutzbericht” .....	52

# **A Kurzdarstellung**

## **I. Ausgangssituation und Bedarf**

Beim Knicken landwirtschaftlicher Gehölzer fällt Schwachholz an, welches typischerweise zur Energiegewinnung genutzt wird. Die Landwirte ernten entweder in Eigenregie oder beauftragen Lohnunternehmer zum Fällen (Knicken) und anschließenden Zerkleinern (Hacken) der Bäume und Sträucher in transportierbare, schüttbare Holzstückchen (Holzhackschnitzel HHS). Ihnen ist vorher aber nicht bekannt, wieviel Holzhackschnitzel von einem bestimmten Ort anfallen werden. Wenn dies bekannt ist, kann die Logistik darauf abgestimmt werden und mit detaillierten Hintergrundwissen das Pflegemanagement z.B. auf maximalen Ertrag optimiert werden. Die teilweise vorhandenen Konflikte zwischen Arbeitserleichterung bei der Pflege und gesetzlichen Auflagen bzw. Naturschutz und Landschaftsbildenden Vorgaben stellen eine Herausforderung an alle Beteiligten und sollten im Interesse aller durch wissenschaftliche Fragestellungen bearbeitet werden.

## **II. Projektziel und konkrete Aufgabenstellung**

Zur Optimierung der natur- und umweltschutzbezogenen Belange von Knicks und KUPs ist die Entwicklung einer innovativen, nicht-invasiven Messmethode zur Bestimmung des Ertragspotenzials bei landwirtschaftlich genutzten Knicks und KUPs (Agroforstsysteme) sinnvoll. Vor dem Hintergrund einer optimalen und nachhaltigen Bewirtschaftung von Agroforstsystemen bzw. der Erzeugung von Biomasse zur energetischen Nutzung auf dem landwirtschaftlichen Betrieb, stellt die Möglichkeit der Schätzung des aktuellen und zukünftigen Holzertrages die entscheidende und zur Antragsstellung noch nicht vorhandene Managementhilfe dar. Daher wird in einem Bottom-Up-Ansatz in einer Pilotregion (Kreis Plön) mit allen Beteiligten „Stakeholdern“ (Landwirte, Verband der Lohnunternehmer, NABU, Bauernverband, Landesnaturschutzbeauftragter, Hochschulen, etc.) dieser innovative Ansatz sowohl entwickelt, als auch hinsichtlich seiner Praxistauglichkeit getestet.

Dazu werden mit den Mitgliedern der OG ein Anforderungsprofil an dieses Messsystem erarbeitet und konkrete Untersuchungen zu den Fragestellungen geplant. Diese sind u.a.

- Wie genau und praxistauglich ist das zu entwickelnde Messsystem und was ist mit Alternativen dazu?
- Welche Parameter können Einfluss auf die zu erwartende Holzmenge, aber auch auf die Holzqualität und die Wertigkeit des Knicks als Naturschutzelement haben?

Im Projektverlauf werden von der OG zusammen geeignete Knicks ausgewählt und diese intensiv untersucht. Dies beinhaltet vor der Ernte mit ihrer Ermittlung des Holzertrages als Referenzwert den Einsatz

verschiedenen Methoden zu zerstörungsfreier Schätzung der stehenden Holzmassen, wie Kartierung der Einzelbäume, Befliegung und Fotografieren mit Multicoptern und Alters- sowie Flächenermittlung aus Luftbilder. Begleitet werden diese Schätzverfahren von Bestimmung der Holzqualität (Brennwert und Asche), des Naturschutzwertes und der Bodenart. Dabei sollten drei Standorte in drei verschiedenen Jahren untersucht werden, um eine belastbare Aussage hinsichtlich des Vergleiches der Schätzmethoden und Anwendung auf unterschiedliche Knicktypen treffen zu können.

### **III. Mitglieder der OG**

Landwirtschaftliche Vertreter der Urproduktion:

AGRICOLA GbR, Gut Rixdorf, 24306 Rixdorf, vertreten durch Dr. Harmtho Seeth

Landwirtschaftsbetrieb, 24211 Schellhorn, vertreten durch Thomas Bock

Landwirtschaftsbetrieb Theresienhof, 24306 Theresienhof, vertreten durch Christian Sieh und Volker Hennings

NaturEnergie Konzept GmbH, 24888 Steinfeld, vertreten durch Sönke Martensen

Betriebsgemeinschaft Grünhaus GbR, 23714 Kirchnüchel, vertreten durch Henning Südel

Papke-Schumacher GbR, 23714 Malente, vertreten durch Frank Schumacher und Christian Papke

Boßmann Energie GmbH&Co.KG, 23701 Bujendorf, vertreten durch Hubertus und Christiane Boßmann

Bio Power Service GmbH & Co. KG, 24582 Bordesholm, vertreten durch Garloff Langenbeck-Waldeck

Eiderhof KG, 25774 Lehe, vertreten durch Thorben Holsteiner

Pentzlin landtechnisches Lohnunternehmen, 24329 Schönwalde, vertreten durch Klaus Pentzlin

Unternehmen des vor- und nachgelagerten Bereichs der Landwirtschaft:

Landesverband der Lohnunternehmer in Land- und Forstwirtschaft SH e.V.,

24768 Rendsburg vertreten durch Hans-Jürgen Plöhn, mittlerweile Niels Schäfer

Forschungs- und Versuchseinrichtungen:

Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Institut für Landwirtschaftliche Verfahrenstechnik, 24118 Kiel, vertreten durch Prof. Dr. Eberhard Hartung

Fachhochschule Kiel, FB Agrarwirtschaft, 24768 Rendsburg, vertreten durch Prof. Dr. Ulrich Herms

Beratungs- und Dienstleistungseinrichtungen:

Abfallwirtschaftsgesellschaft Rendsburg-Eckernförde mbH, 24794 Borgstedt, vertreten durch Ralph Hohenschurz-Schmidt

3N Kompetenzzentrum Niedersachsen Netzwerk Nachwachsende Rohstoffe e.V., 49757 Werlte, vertreten durch Dr. Marie-Luise Rottmann-Meyer

Verbände, landwirtschaftliche Organisatoren und Körperschaften des öffentlichen Rechts:

Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume (LLUR), 24220 Flintbek, vertreten durch Wolfgang Vogel

Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein, 24768 Rendsburg, vertreten durch Claus-Peter Boyens, mittlerweile Kerstin Ebke

Kreisbauernverband Plön, 24306 Plön, vertreten durch Heiner Staggen

Naturschutzbund Deutschland e.V. (NABU), Ortsgruppe Plön, vertreten durch Fritz Heydemann

Landesnaturenschutzbeauftragter des Ministeriums für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein, vertreten durch Prof. Dr. Holger Gerth

Maschinenring Eckernförde & Angeln e.V., 24340 Altenhof, vertreten durch Andreas Moll

Kreis Plön, 24301 Plön, vertreten durch Ute Runge

Schleswig-Holsteinischer Heimatbund e.V., vertreten durch Dr. Jörg Bargmann

#### **IV. Projektgebiet**

Schleswig-Holstein, im Kreis Plön befanden sich die untersuchten Flächen.

#### **V. Projektlaufzeit und -dauer**

1.9.2015-31.8.2018 verlängert bis 31.8.2019, geplante Dauer 3 Jahre, tatsächlich Dauer 4 Jahre, um wegen des verspäteten eigentlichen Projektbeginns im Frühjahr 2016 noch drei Knick- also Wintersaisons abzudecken

#### **VI. Budget**

Das bewilligte Projektbudget lag bei 441.461,15 €. Bis Projektende wurden davon 433.300,39 € verausgabt.

#### **VII. Ablauf des Vorhabens**

Durch Treffen innerhalb der OG wurden mit Hilfe des Austausches vom vorhandenen Expertenwissen und gemeinsamer Diskussion darüber, die zielführenden Arbeiten geplant. Es entstand schnell ein Konsens darüber, dass

- Untersuchungsobjekte in Form von praxisüblichen Knicks aus der Region Plön gewählt werden,
- beginnend mit der großen Auswahl des Knicknetzes in Rixdorf,

- die ausgewählten Knicks sich in vielen Ertragsentscheidenden Merkmalen (Alter, Artenzusammensetzung, Ausrichtung, Breite/Zeiligkeit) unterscheiden,
- die Erntetechnik und am besten auch der Lohnunternehmer in den Wiederholungsjahren für die Vergleichbarkeit konstant bleiben und
- das Verfahren zur Bestimmung der ökologischen Wertigkeit und die damit verbundene Datenerhebung mit der Materie vertrauten Fachleuten überlassen werden sollen.

Dementsprechend wurden mit Knick-Experten der OG das erste Jahr in Rixdorf unterschiedliche Objekte gesichtet und ausgewählt. Zur Verwendung im Projekt kamen dann aus dieser Auswahl die Knicks, welche einen gefahrenlosen und zielführenden Flug mit dem Multicopter gewährten: keine Hochspannungseile, keine Straßen zu überfliegen, keine Redder oder andere Hindernisse, um von allen Seiten ein Umfliegen und Fotografieren zu ermöglichen.

Dieses Vorgehen wiederholte sich die darauffolgenden Jahre in Drögendiek und Barkau.

Die Zwischenergebnisse wurde in einem stetigen Prozess den OG Mitgliedern auf Treffen und über die Webseite des Innovationsbüros präsentiert und daraufhin das weiter Vorgehen und die Datenanalysen geplant. Durch Tagungen und Veröffentlichungen von Teilergebnissen wurden auch nationale und internationale Interessierte in den Präsentationsprozess mit eingebunden.

## **VIII. Zusammenfassung der Ergebnisse**

Nach Ablauf des Projektes liegt ein Verfahren vor, um berührungslos den Holzmasseertrag zu bestimmen. Dieses besteht aus der Verrechnung des Gehölzvolumens – 3D modelliert durch vom Boden bis zu den äußeren Blatt-, bzw. Zweigspitzen reichenden Säulen – in den Trockenmasseertrag. Die Volumenermittlung erfolgte im Projekt u.a. durch Copterbefliegungen mit anschließender Bildanalyse. D.h. das abzuschätzende Gehölz wird mehrfach unter vielen Blickwinkeln umflogen und die dadurch in Vielzahl erzeugten Einzelbilder werden durch einen rechenintensiven sogenannten „Structure from Motion“ (SfM) Algorithmus (Mehrbild-Photogrammetrie, welche die räumliche Struktur von Objekten aufgrund korrespondierender Merkmale in Bildern erkennt) zu einem 3D Modell ausgewertet, aus welchem wiederum das Volumen bestimmt wird.

Neben der Auswertung der Copterbefliegungen in 3D wurden auch Luftbildauswertungen in 2D und manuelle Kartierung aller Bäume zur sogenannten allometrischen Auswertung zur Abschätzung der Holzmasse herangezogen und alle drei mit nachfolgender Beerntung (Referenzmethode) verglichen. Hierbei zeigte sich, dass die allometrische Erhebung einen unverhältnismäßig hohen Arbeitszeitaufwand benötigt, aber auch die höchste Genauigkeit ( $rRMSE = 9 \%$ , als durchschnittliche Abweichung von der Schätzung

zum wahren Referenzertrag) für 100 m lange Abschnitte erreicht. Die 3D SfM-Methode stellt einen guten Kompromiss zwischen benötigtem Arbeitszeitaufwand und ausreichender Genauigkeit (rRMSE = 16 %) dar. Jedoch war der benötigte Arbeitsaufwand bei der verwendeten 2D-Methode klar geringer, da hier auf die Überfliegung verzichtet und die notwendigen Luftbilder „nur“ aus der vorhandenen Datenbank geladen und anschließend ausgewertet werden mussten. Der Fehler dieser Flächenmethode liegt mit einem rRMSE von 39 % jedoch zu hoch für eine praktische Anwendung.

Außer diesen quantitativen Knickeigenschaften (Volumen, Alter, Fläche, sowie Größe und Anzahl der Bäume) zeigten sich keine signifikanten Einflüsse auf das Holzwachstum von den begleitend aufgenommenen qualitativen Randparametern. Für die untersuchten Objekte hatte die Artenzusammensetzungen, der Boden, die Ausrichtung, aber auch die Pflegemaßnahmen wie Knickzeitpunkt und seitlicher Rückschnitt keine Auswirkung auf den jährlichen flächenbezogenen Holzzuwachs. Auch die Holzqualität und der Naturschutzwert blieben unbeeinflusst von diesen Randparametern. Bei der Ermittlung des Naturschutzwertes spielte der Einfluss des Saums am Knickwall eine maßgebliche Rolle.

## **B Eingehende Darstellung**

### **I. Verwendung der Zuwendung**

Siehe Extra Anhang: „Kostenübersicht und Einzelpositionsnachweis“

### **II. Detaillierte Erläuterung der Situation zu Projektbeginn**

Knicks sind in Schleswig Holstein häufig an Feldgrenzen anzutreffen und haben einen Landschaftschützenden und -prägenden Sinn; sie sind meist historisch gewachsene und hunderte von Jahren alt. Zum Erhalt sind sie regelmäßig zu pflegen. Dazu werden die Gehölze alle 10-15 Jahre sehr kurz zurückgeschnitten („auf den Stock Setzen“, „Knicken“). Hierbei werden einzelne Bäume aus Naturschutzgründen stehen gelassen; diese sogenannten Überhälter nehmen kaum Licht weg und stören die neu aufwachsende Strauchschicht nicht. Das geerntete Holz wird vor Ort kleingehackt, abtransportiert und kann wiederum klimasinnvoll energetisch verwertet werden.

Die so anfallenden (Ernte-)Mengen an Holzhackschnitzeln unterliegen jedoch starken lokalen Schwankungen und sind vor der Ernte nicht bekannt. Für das Management der Energienutzung, sowie der Knickpflegeplanung ist es daher sinnvoll, das Ertragspotenzial im Vorfeld abzuschätzen zu können. Zu diesem Zwecke soll eine UAV (Unmanned Aerial Vehicle) gestützte Bilderfassung d.h. eine nicht-invasive Messmethode entwickelt und an einzelnen Standorten kalibriert werden. Eine Kalibrierung steht hier für den

Zusammenhang der indirekten Messwerte (Volumen, Durchmesser, Baumart, ...) von nicht-invasiven Messmethoden (wie z.B. Bildanalyse) zu der eigentlichen Holzmasse (Trockenmasse) als Referenzwert.

Es ist vorgesehen, mehrere indirekte nicht-invasive Methoden zur Abschätzung des Holztrags nebeneinander an verschiedenen Knicks im Vergleich zum durch eine Holzernte bestimmten Referenzertrag zu testen. Stichproben dieser Gehölze sind die Studienobjekte in diesem Projekt und werden zu Untersuchungszwecken in Segmente aufgeteilt, um eine statistische Analyse zu ermöglichen. Der Hauptteil dieses Projektes ist die Durchführung und der Vergleich dieser Methoden; es sollen aber auch Begleitparameter der Objekte erhoben werden, wie Lage und Ausrichtung, Bodenart und -nährstoffe, Baumarten, -alter und -größen, Holzeigenschaften wie Asche und Brennwert und Saumeigenschaften. So können die Objekte miteinander verglichen werden, um evtl. Unterschiede zu berücksichtigen; aus einigen Parameter wird u.a. ein Naturschutzwert gebildet, um auch Aussagen auf die Wechselwirkung zwischen Holztrag und Ökologie zu treffen.

### Methodenauswahl

Es gibt zurzeit noch keine Erkenntnisse, wie aus linearen Gehölzen wie z.B. Knicks der Ertrag vorhergesagt werden kann. (Literaturrecherche 2016 und Dittmann, Thiessen und Hartung, 2017). Deswegen wurden mehrere Ansätze zur Ertragsabschätzung verfolgt, um ein Vergleich in der Genauigkeit und im Aufwand unterschiedlicher Methoden zu gewinnen. Es ist für die Zukunft nach einer „praktikablen“ Möglichkeit zu suchen; die Definition der Praxisreife wird sich nach dieser Studien der möglichen Verfahren richten.

Durch die Befliegung mit einem UAV ist eine Holzmassebestimmung über die **3D Modulierung** des Gehölzes angedacht. Dabei gibt es den photogrammetrischen Ansatz über einzelne Fotos die Gehölzpunkte zu rekonstruieren oder direkt durch einen Laserscanner Positionen der Reflektionspunkte zu bestimmen. Letztere ist nicht nur kostenintensiver als eine Kamera, sondern erfordert auch sehr hohe Genauigkeiten in puncto Positionsbestimmung und Lasterfassung des Copters. Deswegen wurde hier der Ansatz über Fotos gewählt, bei dem es wegen der hohe Punktdichte sich lohnt zu überprüfen, ob einzelne Äste modellierbar sind und somit direkt das Starkholzvolumen gemessen werden kann.

Für Einzelbäume ist es üblich anhand des Durchmessers in Brusthöhe von 1,3 m (BHD) das Holzgewicht abzuschätzen. Diese Methode wird in der Forstwirtschaft zusammen mit Baumanzahlschätzungen mit Erfolg eingesetzt, da die Baumstruktur im Wald meist bekannt und relative homogen ist. Knicks bestehen jedoch neben einigen Einzelbäume aus strauchartigen Gehölzen und Baumgruppen, sodass die forstwirtschaftliche Methode nicht direkt übernommen werden kann. Wegen der Heterogenität der Knicks ist eine stichprobenhafte Größenermittlung in puncto Repräsentativität unsicher, so dass für die Studie die arbeitsintensive Komplettermittlung aller Bäume und Sträucher je Segment gewählt wurde. Zur

Zeiteinsparung wurde sich auf die Messung der BHD erst ab 10 cm Durchmesser und der Berücksichtigung von Stockausschläge über 1m Höhe bei Sträuchern beschränkt. Diese Daten zu Art, Anzahl und Größe aller Pflanzen dienen einerseits zur Kalibrierung sogenannter **allometrischer Gleichungen** in Analogie zur Forstmethode, andererseits sind sie Grundlage zur Ermittlung des Naturschutzwertes.

Die letzte Methode beinhaltet die Auswertung von **2D Luftbildaufnahmen**, wie sie großflächig und aktuell vom Landesvermessungsamt vorliegen vergleichbar mit den Satellitenkarten von z.B. Google. Zur 2D Flächenbestimmung werden die Positionen der Objekte exakt mit hochgenauem GPS eingemessen und mit einem Geoinformationssystem (GIS) ausgewertet. So soll die Kronenbreite der Segmente unter Berücksichtigung des Gehölzalters mit dem Referenzertrag verglichen werden.

### **III. Ergebnisse der OG in Bezug auf Zusammenarbeit und Projektdurchführung**

Der Hauptteil der Projektarbeit lag bei der Projektkoordination und –durchführung in Form von Methodenentwicklung und wissenschaftlichen Untersuchungen. Diese wurde vom Institut für Landwirtschaftliche Verfahrenstechnik der CAU Kiel durchgeführt. Das Vorgehen wurde mit den Praktikern aus der Landwirtschaft und den angegliederten Bereichen auf Treffen und durch Telefonaten diskutiert und geplant. Durch die breit gefächerte Aufstellung der OG konnten so viele Interessen und Aspekte berücksichtigt werden, wie z.B. die ökonomische Seite der Landwirte, die technische der Lohnunternehmer und die ökologische der Naturschutzverbände.

Konkrete Punkte waren:

- Erstes OG Treffen in Rixdorf 07.12.2015 zur Besprechung des Arbeitsplanes.
- Am 19.01.2016 wurde die Flächenauswahl mit Knickexperten der OG in Rixdorf durchgeführt.
- Am 20.10.2016 wurde in Kiel zusammen mit dem zuständigen Landwirt der OG die folgende Knickernte mit den Untersuchungen erarbeitet.
- Am 07.04.2017 wurde ein großes OG-Treffen im Seminarraum des ILV abgehalten, um die Ergebnisse des ersten Jahres zu besprechen.
- Am 25.04.2017 wurde die Flächenauswahl mit OG Mitgliedern in Drögendiek für die Saison 2017/18 wiederholt.
- Am 29.09.2018 fand in Barkau ein OG Treffen vor Ort zur Knickauswahl statt.
- Eine SWOT-Analyse durch Umfragebögen ergab eine Rückmeldung in der Form, dass im Mittel 87% der aufgegriffenen Aspekte so bleiben können. Die Vorschläge zu Veröffentlichungen, Bekanntmachungen und Praxistauglichkeit wurden teilweise umgesetzt und auf Treffen diskutiert.



- Eine Abschlussbesprechung fand am 27.11.2019 in Kiel statt, um auch die weitere Zusammenarbeit zu planen. Ergebnisse davon siehe unter Ausblick.

### Chronologischer Ablauf der Zusammenarbeit und Projektdurchführung

2015/16:

Beim ersten OG Treffen in Rixdorf wurde das Anforderungsprofil des Messsystems (Untersuchungen an ca. 100 m langen Knickabschnitten, welche jeweils in 10 m lange Segmente aufgeteilt werden, um handhabbare Holzerträge und Daten vorliegen zu haben) abgesprochen und die Eigenschaften der zu untersuchenden Knickobjekte festgelegt. Kurz danach fand eine vor Ort Begehung möglicher Knicks statt; es stellte sich aber schnell heraus, dass die von den OG Mitgliedern vorgeschlagenen Knicks sich nicht für die Methodenentwicklung eignen: Es sollte mit der Coptermethode im unbelaubten Zustand alle Stämme und dicken Ästen sichtbar auf den Bildern sein; deswegen schieden sehr breite Knicks oder gar Hohlknicks (Redder) aus. Ebenso musste aufgrund der Flugsicherheit auf Hindernisse wie Hochspannungsleitungen oder Straßen geachtet werden. Die OG Mitglieder wurden weiter nach geeigneten Flächen befragt und es konnte eine Masterarbeit mit herkömmlicher 2D Bildanalyse durchgeführt werden, welche das Ziel hatte, aus den Stamm- und Astumrissen auf den Holzertrag zu schließen; die Genauigkeit war trotz schmaler Knicks wegen auf den 2D Fotos überlappender und teilweise mit Efeu bewachsener Hölzer sehr ungenau. In der Zwischenzeit wurde der Octocopter endlich an die Universität Kiel ausgeliefert und konnte als Flug- und Messsystem an passenden Test-Objekten in der Nähe der Universität auf Flugeignung und erste 3D Auswertung getestet werden. Der unbelaubte Zustand wurde in einem Labormodell simuliert. Es stellte sich heraus, dass die Stamm- oder gar Astmodellierung mit den eingesetzten Methoden nicht möglich ist. Zudem ergaben sich beim Flugsystem „Kinderkrankheiten“ welche zusammen mit dem Hersteller behoben werden mussten. Für die ökologischen Untersuchungen konnte die AG Reck der Landschaftsökologie der CAU Kiel als Ersatz für ein geeignetes und erst dafür vorgesehenes OG Mitglied, welches aber aufgrund von Zeitmangel absagen musste, gewonnen werden.

2016/17:

Die Untersuchungsobjekte waren im Sommer 2016 leider noch nicht gefunden; es mussten Knickflächen sein, welche auch im kommenden Winter geerntet werden, damit der Holzertrag gewogen werden kann. Aber es stellte sich heraus, dass Landwirte teils erst im Spätherbst diese Flächen aufgrund logistischer und produktionstechnischer Gründe für einfache Feldbefahrbarkeit festlegen. Als endlich die Flächen fest gelegt werden konnten, mussten die Begehungen und erste Befliegungen im fast unbelaubten Zustand stattfinden, was die Artenbestimmung erschwerte, aber durch die geschulten Mitarbeiter der AG Reck erfolgreich mit viel Arbeitszeiteinsatz durchgeführt wurden.

Bei dem eigentlichen Knicken und Häckseln kam ein Lohnunternehmer aus der OG zum Einsatz, welcher auch in den darauffolgenden Jahren das einheitliche Vorgehen sicherstellen sollte. In diesem ersten Jahr wurde die Gewichtsbestimmung mit einem geliehenen Radlader mit Wiegevorrichtung an der Schaufel durchgeführt, welche aber leider nur eine Auflösung von 50 kg hatte. Die Beprobungen der Holzqualität und der Bodeneigenschaften direkt auf dem Knick wall fanden in diesem ersten Jahr sehr hochaufgelöst (je drei Einzelproben je Segment) an einem interessierenden Knick statt; lieferten aber keine weiteren Informationen, als die gröbere Probenahme (für die Segmente eine Mischprobe), welches auch in den Folgejahren praktiziert wurde. Ebenfalls nach der Ernte fanden die Bestimmungen der Überhälter und des Alters der geknickten Stämme durch die AG Reck statt. Es wurden Art und Größe (Brusthöhendurchmesser BHD) der Überhälter sowie die Anzahl der Jahresringe charakteristischer Stubben bestimmt. Der erste Vergleich der Überhälter- und Feuchtekorrigierten Holzerträge mit den Volumina, welche aus den Copterbefliegungen als einhüllendes Volumen der einzelnen Knicksegmente über die SfM Methode berechnet wurden, zeigte erfolgsversprechende Zusammenhänge.

2017/18:

Bei diesem OG Mitglied der landwirtschaftlichen Produktion konnten auch Kurzumtriebsplantagen (KUPs) bestehend aus Weide durch Befliegung im laublosen (Winter) und belaubtem Zustand (Herbst) untersucht werden. Es zeigte sich jedoch, dass der SfM Algorithmus nicht in der Lage ist, ein 3D Modell zu erzeugen: Bei den flächenhaften und einheitlichen KUPs sind die Fotos sehr ähnlich (siehe Anhang) und es gibt keine markanten Punkte, die der Algorithmus aber braucht, um die Positionen der Kamera und damit die Triangulation durchzuführen. Es wurde beschlossen, diese Gehölze für das Ertragserfassungssystem nicht weiter zu untersuchen, zumal der Ertrag für diese Art von Agroforstsystem sich gut aus den bekannten, da definiert angepflanzt, Parametern wie Pflanzen je Fläche, Pflanzenalter und der recht einheitlichen Pflanzhöhe vorhersagen lässt und aus Untersuchungen bekannt ist.

Das Messsystem wurde unabhängig davon im Rahmen eines Workshops der Universität Bonn mit anderen Anwendern ähnlicher System, welcher typischerweise im Precision Farming eingesetzt werden, an Gehölzbeständen verglichen; es zeigten sich sehr guten Übereinstimmungen.

Nach diesem ersten Untersuchungsjahr wurde die Ergebnisse gemeinsam mit der OG besprochen und beschlossen, die Untersuchungen so zu wiederholen und Knicks mit anderen Eigenschaften, wie z.B. Knicks mit viele Hainbuchen und deren alte Stubben zu wählen. Dafür stellte ein OG Mitglied seine Flächen in Drögendiek rechtzeitig zur Verfügung, so dass dort auch Untersuchungen zum Volumen im belaubten und unbelaubten Zustand erfolgen konnten. In einer Bachelorarbeit wurde dort Brennwerte unterschiedlicher Holzarten untersucht, welche dort bei der Ernte anfielen.

Noch vor der Ernte fand in Rixdorf der erste Agroforsttag statt, wo u.a. ein OG Mitglied vergleichend seine bewährte Knickpflégetechnik mit Schere zu einer aufwendig und sehr schonenden Sägeschnittgeführten Technik präsentierte.

Das Häckseln und Wiegen in Drögendiek erfolgte dann mit dem bewährten Lohnunternehmer aus der OG. Die Wiegen wurden zentral auf dem Hof mit auf 10 kg auflösenden Plattenwaagen durchgeführt. Dazu mussten mit drei Hängern die HHS von jedem einzelnen Segment vom Knick zum Hof gefahren werden; es unterstützte das OG Mitglied vor Ort mit Technik und Arbeitseinsatz. Trotz identischer Häckseltechnik kam es bei einigen Segmenten zu Verlusten bevor der Hänger mit den HHS beladen wurde; diese wurden händisch vom Feld aufgenommen und separat gewogen, um sie dem Segment zuzuordnen.

In der „versuchsfreien“ Zeit wurde der Auswertalgorithmus weiterentwickelt, dazu halfen auch neue Anregungen durch eine Projekt-Präsentation auf einer Tagung der Gesellschaft für Informatik in der Landwirtschaft.

2018/19:

Für das letzte Untersuchungsjahr wurden möglichst alte Knicks zur Komplettierung der Bandbreite gesucht, welches dann ein OG Mitglied in Barkau zu Verfügung stellte. Die Untersuchungen fanden wie die Vorjahre statt; zusätzlich konnten die Ergebnisse der Octocopterbefliegungen mit denen eines Quadropters aus dem Consumerbereich (DJI Mavic 2 Pro) verglichen werden. Es zeigte sich nahezu identische Volumenergebnisse. Das Wiegen beim Häckseln wurde direkt auf dem Feld mit den bewährten Plattenwaagen und Fahrzeug- und Arbeitseinsatz vom OG Mitglied vor Ort durchgeführt.

Fast zeitgleich fand der zweite Agroforsttag wieder in Rixdorf statt, wo nun schon die Ergebnisse von zwei Jahren im Vortrag und auf Poster präsentiert werden konnten. Die Deutsche Vernetzungsstelle Ländliche Räume erstellte mit den Hauptakteuren des Projektes einen Imagefilm bei strahlendem Wetter im Februar. Mittlerweile hatte der Doktorand an der CAU Kiel seine Promotion erfolgreich beendet und für die Abschlussbesprechung der OG musste nach einem ausgefallenem Termin auf der NORLA Messe ein Ersatztermin in Kiel stattfinden, zu dem auch nur einige OG Mitglieder erschienen, um abschließendes und weiteres Vorgehen zu besprechen.

### Sonstige Aktivitäten

Durch die Kombination der eher traditionell und historisch gewachsenen Knickthematik mit der modernen Drohnen- und Computeranalysetechnik gab es verschiedene Schnittstellen mit anderen Projekt und Themenbereichen:

- EIP OG Klimawandelbäume (Thorsten Ufer): SfM aus Handkamerabilder zur Wachstumsüberprüfung, Software zur 2D Fläche-Höhenabschätzung, Salzgehalte
- CEBra - Centrum für Energietechnologie Brandenburg e.V. / Uni Hohenheim (Maik Veste): Ertrags- und Wachstumsmodellierung an KUPs, NDVI Kameraeinsatz, manuelle Bonitur
- Stiftung Naturschutz Schleswig Holstein (Björn Schulz): „Holsteiner Lebensraumkorridore“ Monitoring des Aufwuchses von Knicks für die Haselmausausbreitung nach Norden
- Landschaftsökologie, CAU (Heinrich Reck, Kerrin Müller): Begehung zur Feststellung der Artenzusammensetzung, Bestimmung ökologisch Wertigkeit

Diverse Anfragen zu Ergebnissen und Hilfe bei weiterer Planung kamen von:

- Thünen-Institut für Agrarklimaschutz (Sophie Drexler), Braunschweig: Im Projekt CarboHedge werden deutschlandweit Heckenböden, um deren Kohlenstoff-Speicherleistung zu bestimmen, beprobt. Darunter auch eine Auswahl der untersuchten Objekte dieses Projektes.
- Kitzerkennung vor der Mahd mit Drohnen.
- EIP-Förderantrag „Technologie im Herdenschutz“ (Uta Wree): Schafschutz vor Wölfen mit Drohnen
- Bundesverband Berufsschäfer (Günther Czerkus): Vernetzung verschiedener Module zur Gefahrenerkennung und deren Auswertung über eine KI-Einheit
- Stadt Preetz, Fachbereich Bauen und Umwelt, Sachgebiet Umweltangelegenheiten, Grünflächen, Preetz (Jan Birk): Welche Holzarten im Knick erreichen einen guten Heizwert?
- Klimaschutzmanager Kreis Plön (David-Willem Poggemann): Potential von Biomasse in S.H.

OG Mitgliedern wurde natürlich bei aktuellen Fragestellungen schnell Unterstützung bereitgestellt, z.B.:

- Landesverband der Lohnunternehmer in Land- und Forstwirtschaft SH e.V., Rendsburg (Niels Schäfer): Seitlicher Rückschnitt: Wieviel Holz kann anfallen?
- Ferienhof Radlandsichten: Wieviel Meter Knick sind 100 l Heizöl, bildlich präsentiert für Touristenveranstaltung.

Poster:

EIP Vorstellung auf NORLA 2016

EIP „Nachhaltige Biomassenutzung“, Hochschultagung CAU Kiel 2017

## **IV. Ergebnisse des Innovationsprojektes**

### Geplantes Arbeitsprogramm zur Zielerreichung

Referenzdaten der Holzmasse sind nur nach der Ernte in Form von Wiegen der Holzhackschnitzel (HHS) messbar. Da die Ernte in der sogenannten „Knicksaison“ (Winterzeit vom 1.10.-28.2.) erfolgt, wurden die Untersuchungen an den Knicks im jährlichen Turnus abgearbeitet. Dazu zählen – etwa in zeitlicher Abfolge:

- Festlegung geeigneter Objekte
- Befliegung durch Copter (Fotos)
- Kartierung der Gehölze (Allometrie, Gehölzzusammensetzung und Naturschutzwert)
- Knicken der Abschnitte in separate Haufen
- Hacken und sofortiges Wiegen der Haufen mit Probenahme
- Probenanalyse der HHS
- Datenanalyse (Volumenberechnung, Trockenmasseertrag, Naturschutzwert)
- Kartierung nach dem Knicken (Überhälter, Jahresringe)
- Beprobung des Bodens
- erneute Copterbefliegung zur Ermittlung des „Restvolumens“

Anhand eines Vergleiches der aus den Flugfotos analysierten Daten mit den Wiegen der HHS wird ein Auswertalgorithmus entwickelt, der den Holzmasseertrag vorhersagt. Dabei wird ebenso versucht, die Probenparameter Brennwert und Aschegehalt zu berücksichtigen.

Es wird weiterhin überprüft, inwieweit die Variationen der Holzträge auf den beprobten Flächen sich mit den Parameter wie Bodenart, Exposition, Pflegemaßnahmen, angrenzende Nutzung und vor allem Alter des Gehölzes erklären lassen. Ob ein Zusammenhang zwischen Naturschutzwert und Ertragspotential besteht, kann so auch geklärt werden.

### Durchgeführte Arbeiten während des Projektes

#### *Flächenauswahl*

In Zusammenarbeit mit der OG wurden Knick-Flächen ausgewählt, die folgende Bedingungen erfüllen:

- Sie werden in der kommenden Saison vollständig (bis auf Überhälter) zurückgeschnitten, um die Holzmassen beim Häckseln zu erfassen.
- Sie lassen sich mit einem Copter im Rahmen der Sicherheitsvorschriften des Luftverkehrsamtes von beiden Seiten befliegen und es gibt keine Sichthindernisse beim Flug.

- Sie sind regionstypisch und passen in die Gesamtauswahl, um die verschiedenen Ausprägungen von Knicks zu repräsentieren.
- Sie sind mindesten 100 m lang und lassen sich in gerade 10 m Segmente unterteilen.

Für die Untersuchungsobjekte wurden jeweils 100 m lange Abschnitte gewählt; es erfolgte je Objekt eine Unterteilung in zehn 10 m Segmente. Die Lagen und Name der Flächen sind in **Abbildung 1** zu sehen. Fotos befinden sich im Anhang.



**Abbildung 1:** Untersuchte Flächen in der Region Plön. Die Objekte in Rixdorf und Barkau befanden sich je um ein Feld, in Drögendiek waren die drei Objekte an verschiedenen Feldern.

### Kartierung

Es wurde versucht die Datenerhebung durch Begehungen noch im belaubten Zustand durchzuführen, da so die Artbestimmung schneller anhand der Blätter anstatt nur anhand Wuchsform und Rinde erfolgen kann.

Erfasst wurden alle Stockausschläge über 1 m Höhe jeweils getrennt innerhalb der 10 m Abschnitten je Fläche.

Dabei wurden für große Bäume (BHD > 10 cm) und kleine Bäume bzw. Sträucher (BHD < 10 cm) differenziert aufgenommen

- die Art des Gehölzes,
- der BHD großer Bäume und ob sie freistehend sind und
- die Anzahl der Stockausschläge kleiner Bäume (bei Sträuchern bzw. hoher Anzahl Stockausschlägen > 20 wurden diese geschätzt).

Die 10 m langen Segmente wurden durch folgende Parameter beschrieben:

- Höhenklassen
- Breite des Holzbewuchs
- Breite der Krone
- Breite, Höhe und Qualität des Saums

Die gesamte 100 m lange Fläche wurde bonitiert in Bezug auf Exposition der Böschung, Höhe der Böschung, Steigung der Böschung, Lage der Böschung, Höhe der Stubben, Durchmesser der Stubben, Hinweise auf Geräte, Hinweis des letzten Bearbeitungszeitpunkts, seitlicher Rückschnitt, Zugänglichkeit zur Pflege, Mikrorelief, Anmerkung zur Pflege, Bonsaiformen, Verbisskante, Krankheiten, Zeiligkeit, Altersklassen, Randleine horizontal und vertikal, Habitatbäume, Überhälter, große Steine, große Stubben, Reisighaufen, Totholz liegend, sonstige Sonderstrukturen, Zauntyp, sonstige Barriere für Tiere und angrenzende Nutzung. Die Segmentgrenzen wurden mit einem RTK GPS (Trimble Ag 442, 2 cm horizontale Genauigkeit) eingemessen, um die Segmentflächen in georeferenzierte Luftbildaufnahmen (DOP20RGB, Farbkarten des Landesvermessungsamt aus jährlich stattfindenden Flugzeugbefliegungen in etwa 3 km Höhe mit einer Auflösung von 20 cm) durch manuelles Anpassen von Polygonen an die Baumkronen zu bestimmen. QGIS 2.18 wurde für diese Berechnungsschritte verwendet.

### *Befliegung mit Multicoptern*

Für die UAV (Unmanned Aerial Vehicle) gestützte Bilderfassung wurde ein Octocopter HT-8 C180 der Firma Heighttech verwendet. Dieser verfügt über eine nach unten und vorne schwenkbare Kamerahalterung (Gimbal), auf der eine hochauflösende Systemkamera (Sony Alpha 7, 24 Megapixel, 35 mm Zeiss Objektiv) montiert ist (Abbildung 2). Diese Kamera- und Linsenkombination zusammen mit einer Objektentfernung von durchschnittlich 30 m resultiert in einer Pixelgröße von etwa 6 mm x 6 mm.

## Octocopter HT-8 C180

- Nutzlast 2600 g
- besonders geeignet für Inspektions- und Filmflüge
- stabiler Flug bis 55 km/h Windgeschwindigkeit (7 Bft)
- Spezialkameraaufhängung mit 180° Schwenkmöglichkeit
- Flugzeit bis zu 20 min (2 x 7 Ah bei 16,8 V möglich)
- hohe Ausfallsicherheit durch 8 Antriebe



## Systemkamera Sony Alpha 7

- 24 Megapixel (4000 x 6000 Pixel)
- Vollformatsensor (24 x 36 mm)
- Zeiss 35 mm Objektiv (Festbrennweite)



## PC System

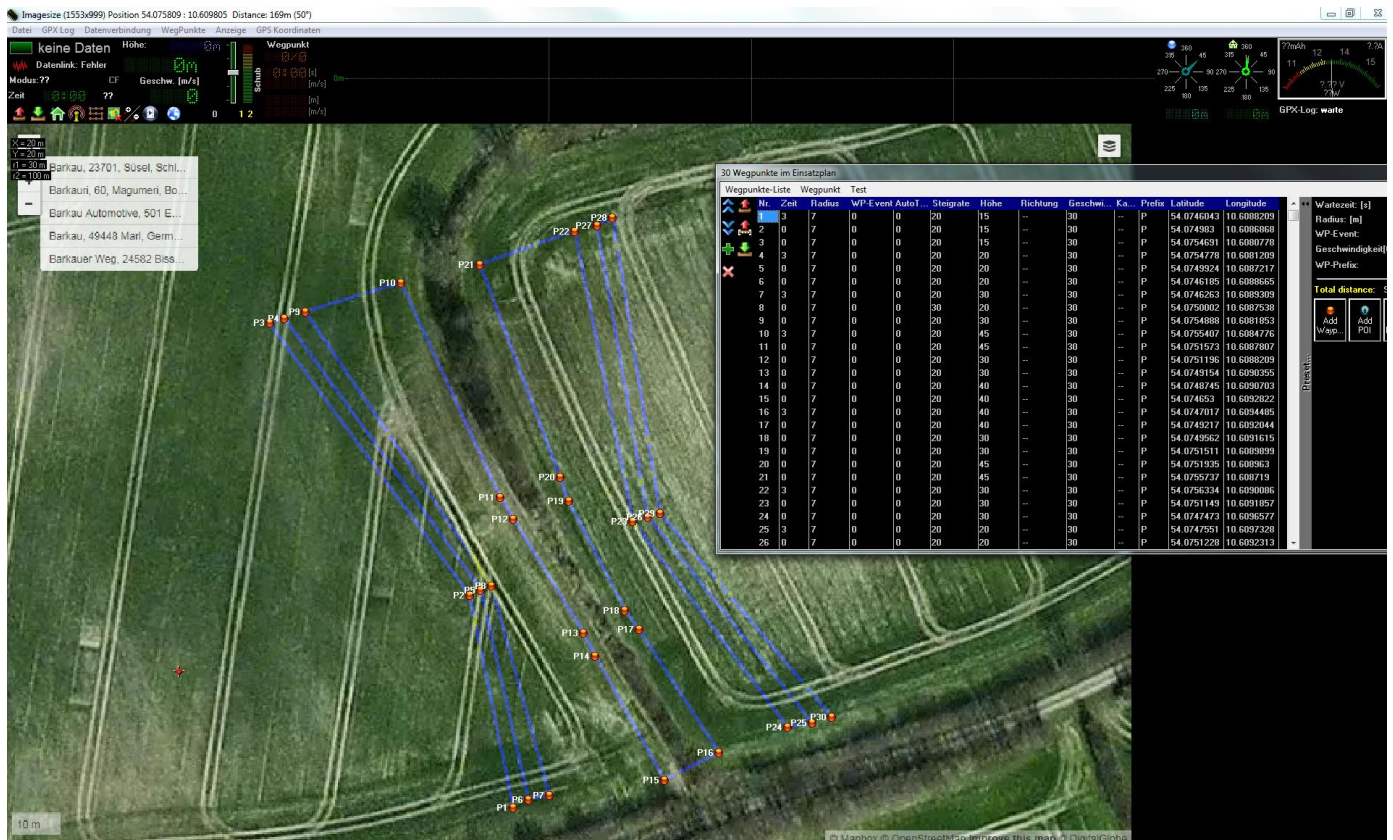
- Intel® Xeon® E3-1270v5 Prozessor (4 Kerne, 3,6 GHz, 4 GHz Turbo, 8 MB, HT)
- Windows 7 Professional (64 Bit)
- NVIDIA® Quadro® K2200, 4 GB
- 64 GB DDR4-Speicher (4 x 16 GB), 2.133 MHz



## Abbildung 2: Verwendete Hardwarekomponenten

Um geeignete Fotos für die 3D Modellierung zu erhalten, wurden die Objekte in einem Abstand, in dem die Bäume möglichst das Bild ausfüllen, befliegen und auch die Blickwinkel wurden in definierten Intervallen variiert. Deswegen wurde die Flugroute zuvor programmiert, um manuelle Steuerabweichung auszuschließen. Dadurch wurde auch sichergestellt, dass bei den Wiederholungsflügen zu unterschiedlichen Wetter- und Vegetationszuständen (Sonne-Wolken, belaubt/unbelaubt) die Kamerapositionen identisch sind. Wie in Abbildung 3 in der Tabelle „Wegepunkt-Liste“ zu sehen, werden so Wegepunkte mit Höhen und Abständen in einer Karte programmiert und vor dem Flug zum Copter übertragen.





**Abbildung 3:** Softwaretool zur Planung des Wegepunktflogs anhand des Beispielobjekts „Knick 7“

Vor Flugbeginn wurden sogenannte Ground Control Points (GCP) ausgelegt und deren Abstände mit einem Maßband bestimmt, meist 100 m längs zum Objekt und 5 m quer dazu. Beim Flug wurde darauf geachtet, dass diese 40 cm x 60 cm großen Kunststoffplatten mit digitalem Muster auf den Fotos (Abbildung 4) zu erkennen sind, damit diese als Referenzpunkte zur Maßstabsdefinition später im Computer 3D Modell dienen können.

Im Jahr 2019 wurde zusätzlich zum Octocopter HT-8 C180 eine „Consumer Drohne“ (DJI Mavic 2 als Quadrocopter) verwendet, um zu testen, inwieweit die 3D Modulierung zur Volumenberechnung mit dem professionellen Octocopter vergleichbar ist. Dieser Quadrocopter musste jedoch manuell gesteuert werden, da die „App“ noch keinen programmierbaren Wegepunktflog zuließ.





**Abbildung 4:** Typisches Foto aufgenommen vom Octocopter mit drei Ground Control Point (GCP) vor dem Gehölz, Beispielobjekt „Knick 7“

### *3D Volumenberechnung*

Bei der Befliegung wurden Einzelfotos in einer möglichst kurzen zeitlichen und räumlichen Abfolge erstellt, typischerweise jede Sekunde, was bei einer Fluggeschwindigkeit von 2 m/s einem Abstand von 2 m entspricht. Durch die so entstandenen Fotos – etwa 1000 Bilder je Objekt – aus verschiedenen Höhen und Richtungen mit einer Überlappung von mehr als 90 %, ist es durch das Auffinden von gleichen Mustern in verschiedenen Bildern und deren Triangulation möglich, die Kamerapositionen zu berechnen und daraus ein 3D Modell zu konstruieren. Dieses Verfahren nennt sich Structure from Motion (SfM) und ist quasi die Vervielfachung der Stereomethode, da zwar nur eine Kamera verwendet wird, diese aber in sehr vielen unterschiedlichen Blickwinkeln zum Objekt zum Einsatz kommt. Dabei muss natürlich sichergestellt werden, dass sich das betrachtete Objekt nicht während der Aufnahmezeit verändert. Dies ist bei Gehölzen im Groben gegeben, aber durch Wind oder Wolkenshatten können im Detail andere Geometrien und Muster von Bild zu Bild entstehen.



Alle erfassten Bilder wurden mit der Software Agisoft PhotoScan (Version 1.2.6.) verarbeitet und daraus eine 3D Punktwolke generiert (Abbildung 11 im Screenshot oder Abbildung 12, oben). Die auf den Fotos zu erkennen GCPs dienen zum Erstellen eines lokalen Koordinatensystem basierend auf den in Realität ausgemessenen Distanzen zwischen den GCPs. Die 3D Punktwolke weist meist einige nicht plausible Punkte auf, da es bei der Baumstruktur durch niedrige Kontraste, hohe Ähnlichkeiten zwischen Bereichen und Bewegungen durch Wind zu Fehlzugeordnungen kommt. Deswegen wurde anschließend in der Software Matlab (Version 2017a) die Punktwolke gefiltert und dann in Boden und Gehölz segmentiert. Nachfolgend wurde je Segment das Volumen berechnet. Für die Volumenberechnung wurde ein Polyeder mit einer Kantenlänge von 2 m generiert (Abbildung 12, unten).

### *Referenzmessung, HHS Proben*

Das Knicken der ausgewählten Flächen wurde zuvor mit dem hierfür beauftragten Lohnunternehmer abgesprochen und während der Durchführung stetig kontrolliert. Dabei wurde darauf geachtet, dass exakt jedem Segment die abgelegten Haufen (Abbildung 5) zugeordnet werden, damit die zuvor festgelegten Segmentgrenzen für alle Methoden eingehalten werden.



**Abbildung 5:** Markierung der Segmentgrenzen durch farbige Pflöcke und entsprechende Haufenbildung durch die Knickschere beim Objekt „Knick 8“

Beim anschließenden Hacken wurde dann das Holz jedes Segments bzw. abgelegten Haufens in jeweils einen Behälter gehäckselt – teils Schaufelradlader, meist Anhänger (Abbildung 6, links), daraus mit einem 10 l Eimer drei Proben in reißfeste PE Beutel zur späteren Analyse gefüllt (Abbildung 6, rechts) und der Behälter gewogen – im Schaufelradlader mit einer eigenen Wiegeeinrichtung, bei den Anhängern mit Plattenwagen. Eine Tarierung fand zuvor durch vorige Segment- oder Leerwiegung statt.

Die Probenbeutel wurden luftdicht verschlossen und nach Transport wurde unmittelbar das Frischgewicht bestimmt. Die Trocknung erfolgte bei 103 °C bis zur Gewichtskonstanz. So wird auf den Trockenmasseanteil zum Zeitpunkt des Wiegens geschlossen, um die Frischgewichte der Haufen auf vergleichbare Trockenmassen umzurechnen.

Die Ermittlung des Ascheanteil und Brennwertes erfolgte durch Beauftragung eines externen Dienstleisters (Agrolab), indem eine Mischprobe aus den drei Proben jedes Segmentes zur Verfügung gestellt wurde.



**Abbildung 6:** Hacken der Segmenthaufen in einen Behälter (links) beim Objekt „Ökologischer Knick 7“ und Proben der Holzhackschnitzel (HHS) in stabile Beutel (rechts)

### *Bodenuntersuchungen*

Die Probenahme zur Ermittlung der Bodeneigenschaften erfolgte nach dem Knicken, da die Fläche so wesentlich einfacher zugänglich war. Es wurde ein Bohrstock verwendet, um bis in 1 m Tiefe das Baumwachstum relevante Bodenprofil (0-90 cm zusammen) als eine Probe zu entnehmen.





**Abbildung 7:** Probenahme des Bodens und Einstichstellen – rote Kreuze – entlang des Objektes am Beispielobjekt „Knick 2“

Die Probenahmestellen lagen quer zum Knick direkt in der Knickmitte und an den beiden Seiten des Knickwalls (Abbildung 7). Im ersten Untersuchungsjahr wurden für das Objekt „Knick 2“ je Segment alle Proben einzeln analysiert (36 Proben insgesamt), für die anderen Objekte wurden die Segmente 1, 5 und 10 einzeln für die drei Abstände zur Knickmitte zur Analyse gegeben (9 Proben insgesamt je Objekt). In den darauffolgenden Jahren wurden jeweils für die Segmente 2, 5 und 9 eine Mischprobe aus den drei Probenahmestellen über die Knickbreite gebildet (drei Proben insgesamt je Objekt).

Der aufgrund von Temperatur und biologischen Vorgängen zeitlich recht veränderliche Hauptnährstoff Stickstoff wurde als Summe vom organischen und mineralischen Anteil analysiert, so dass jahreszeitlich Schwankungen weitestgehend ausgeschlossen werden können.

Auch hier erfolgte die Analyse in Bezug auf Bodenart und Bodennährstoffe (N, P, K, pH, und Salz) durch einen externen Dienstleister (Agrolab). Bei der Darstellung der Ergebnisse wird auf die detaillierten Bodenuntersuchungen verzichtet; es werden nur Klassen von nährstoffarm bis nährstoffreich gebildet.

### Überhälter- und Altersbestimmung

Ebenfalls nach dem Knicken erfolgten die Altersbestimmung und die Erfassung der Überhälter. Die Art und BHDs der Überhälter wurden wieder je Segment bestimmt und folgende Parameter zur Bestimmung der Trockenmasse *TM* aus den *BHD* dieser Baumarten angewendet (Zianis et al., 2005; Tabelle 1):

$$\frac{TM}{\text{kg}} = a * \frac{BHD^b}{\text{cm}}$$

**Tabelle 1:** Allometrische Formel für Einzelbäume mit deren Parameter aus Zianis et al., 2005. Lagen für Unterarten keine spezifischen Literaturdaten vor, wurden die Daten der „wuchsähnlichsten“ Art verwendet.

Art	Wiss. Name	<i>a</i>	<i>b</i>
Feldahorn	<i>Acer campestre</i>	0,067	2,58
Gewöhnliche Esche	<i>Fraxinus excelsior</i>	0,085	2,49
Hainbuche	<i>Carpinus betulus</i>	0,114	2,50
Stieleiche	<i>Quercus robur</i>	0,089	2,47

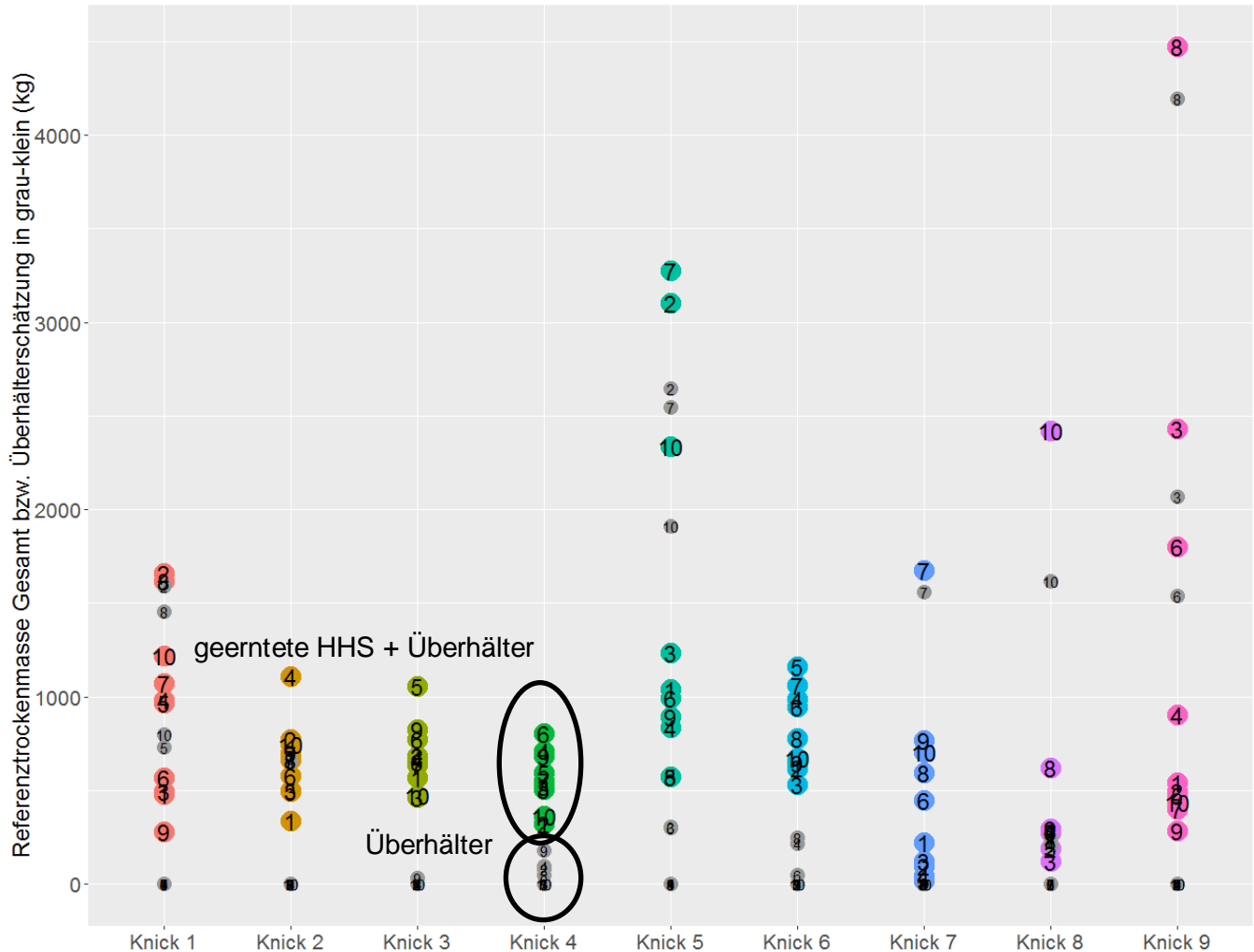
Zur Altersbestimmung des Objektes wurden je Segment zwei charakteristischen Stümpfe nach dem Knicken ausgewählt und dort die Anzahl der Jahresringe ausgezählt. Die Zeit nach dem letzten Knicken (typischerweise vor 10 bis 30 Jahren) sollte identisch mit dem Alter dieser charakteristischen Bäumen sein, die nach dem letzten Knicken aufwachsen. Große Überhälter wurden wahrscheinlich auch schon damals beim Knicken stehen gelassen und sehr junge Bäume können auch noch Jahre nach dem letzten Knicken aufgewachsen sein. Der Mittelwert der ausgezählten Jahresringe von diesen 20 charakteristischen Bäumen dient als Objektalter.

### Ergebnisse der Untersuchungen

#### Referenzmessungen zur Bestimmung des Holzertrages

In nachfolgender Grafik sind für alle 10 m Abschnitte der geernteten Flächen die Trockenmassen aufgeteilt in Referenz trockenmasse – also geerntete Holzhackschnitzel plus stehengelassene Überhälter – und geschätzte Überhältermassen einzeln je Segment 1-10 dargestellt. Es ist zu erkennen, dass die Holzmassen innerhalb eines Objektes durchaus stark variieren können, typischerweise mit etwa 60 %, d.h. der maximale Ertrag eines Segmentes ist mehr als doppelt so hoch wie der Minimale. Die Variationskoeffizienten liegen zwischen 25 % und 140 %. Das Objekt „Knick 5“ weist die höchsten Holzmassen auf; es ist eines der

breitesten und ältesten und das Objekt „Knick 7“ die geringsten Holzmassen; es ist eines der mit dem niedrigsten und lückigstem Baumbestand (vgl. Tabelle 3).



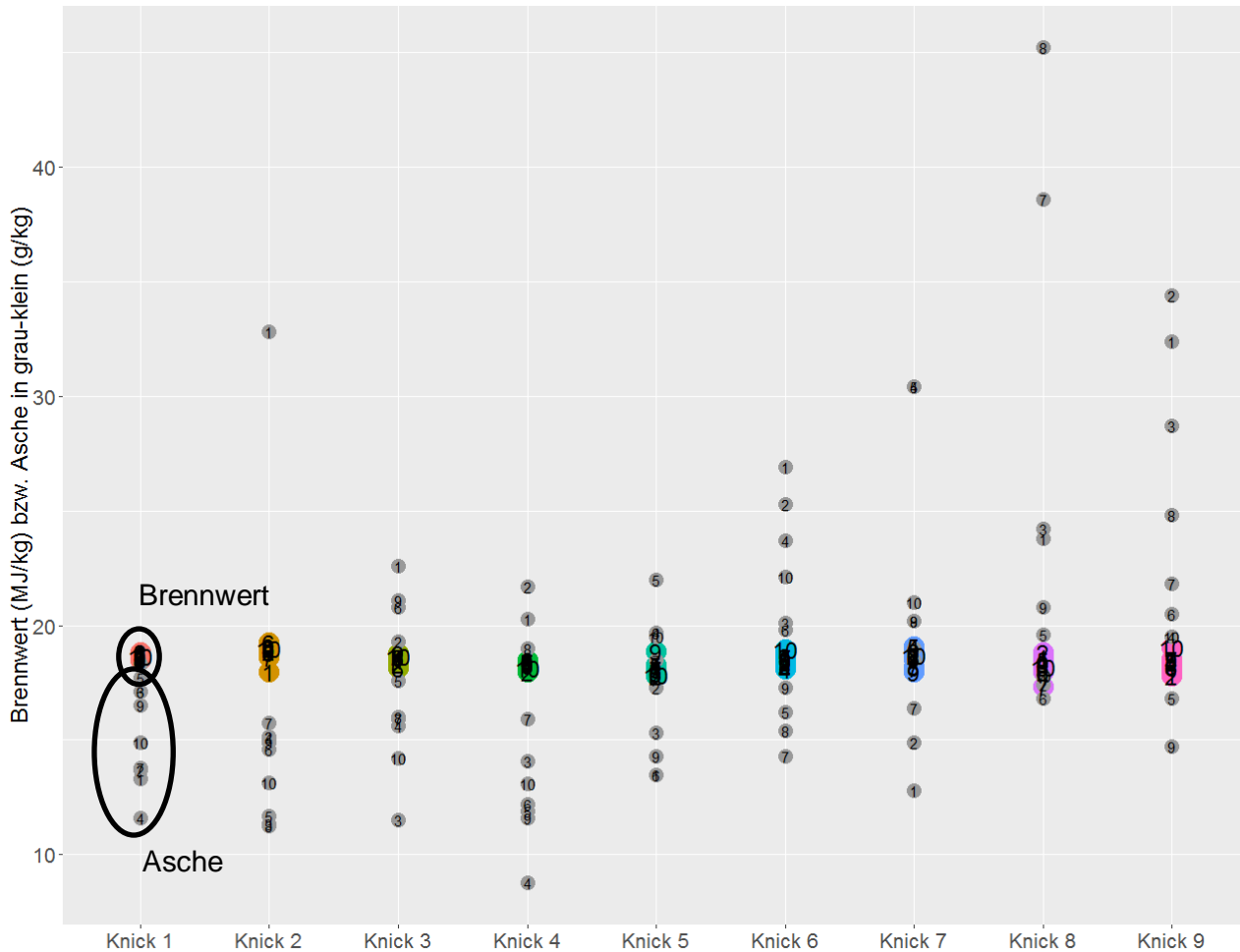
**Abbildung 8:** Holzmassen der geernteten Segmente aller untersuchten Flächen mit Angabe der Überhältermassen und der gesamten Referenzmasse bestehend aus gewogenen Holzhackschnitzel (HHS) und geschätzten Überhälter

Die Masse der Überhälter macht bei einigen Segmenten den größten Teil der Holzmassen aus: In 14 Segmenten der insgesamt 90 untersuchten beträgt der geschätzte Überhälteranteil mehr als 50 % (siehe Abbildung 8 z.B. Knick 5 mit Segment 2, 7 und 10 sowie Knick 7 mit Segment 7, Knick 8 mit Segment 10 und Knick 9 mit Segment 3, 6 und 8), in den meisten jedoch (64) sind gar keine Überhälter stehen gelassen worden.

Die Wassergehalte der HHS Proben lagen meist bei 40 % - 50 %, sind jedoch nicht relevant für die Eigenschaften eines Objektes, da die geernteten Haufen unterschiedlich lange je nach Witterung getrocknet sind. Entscheidend ist jedoch, dass diese Trockenanteile zur Korrektur der gewogenen Frischmassen verwendet wurden.



Die Analyseergebnisse der HHS Proben sind in folgender Abbildung 9 grafisch aufgearbeitet, in dem der Mittelwert der Probenergebnisse den jeweiligen Segmenten zugeordnet sind. Prinzipiell sind hier jedoch keine großen Unterschiede in den Objekten zu erkennen; die Brennwerte schwanken zwischen 18 und 19 MJ/kg, die Aschegehalte zwischen 1 und 4 % (entspricht 10 bis 40 g Asche je kg trockenem Holz).



**Abbildung 9:** Analyseergebnisse der Holz hackschnitzel (HHS) Proben je Segment (Segmentnummer im Messpunkt)

*Kartierung*

Alle kartierten Bäume aufzuzählen ist – selbst im Anhang – im Rahmen eines Berichtes nicht möglich, kann aber als Excel-Datei zur Verfügung gestellt werden. Für eine Vorstellung der Segmentdaten mag Anfang und Ende der Tabelle in nachfolgender Tabelle dienen.



**Tabelle 2:** Manuelle Kartierung aller Bäume im Segment – nur ein Auszug, da die ganze Tabelle zu groß ist.

Objekt	Segmen	Art	Wiss.Name	Ausschläge	Ausschläge	BHD	freistehend?
Fransenberg	0-10m	Hasel	<i>Corylus_ave</i>	80	80		
Fransenberg	0-10m	Schlehe	<i>Prunus_spin</i>	150	150		
Fransenberg	0-10m	Brombeere	<i>Rubus_spec</i>	0	20		
Fransenberg	0-10m	Schwarzer_†	<i>Sambucus_r</i>	4	4		
Fransenberg	10-20m	Weißdorn	<i>Crataegus_s</i>	5	5		
Fransenberg	10-20m	Gewöhnlich	<i>Fraxinus_ex</i>	2	2		
Fransenberg	10-20m	Gewöhnlich	<i>Fraxinus_ex</i>	1	1	46	ja
Fransenberg	10-20m	Schlehe	<i>Prunus_spin</i>	140	140		
Fransenberg	20-30m	Feldahorn	<i>Acer_campe</i>	9	9		
Fransenberg	20-30m	Hasel	<i>Corylus_ave</i>	98	98		
Fransenberg	20-30m	Weißdorn	<i>Crataegus_s</i>	7	7		
Fransenberg	20-30m	Brombeere	<i>Rubus_spec</i>	0	1		
Fransenberg	20-30m	Weide	<i>Salix_spec.</i>	36	36		
Fransenberg	20-30m	Weide	<i>Salix_spec.</i>	2	2	10	ja
Fransenberg	20-30m	Weide	<i>Salix_spec.</i>	2	2	10	nein
Fransenberg	20-30m	Schwarzer_†	<i>Sambucus_r</i>	10	10		
Barkau_K10	80-90m	Schwarzer_†	<i>Sambucus_r</i>	1	1	10	nein
Barkau_K10	80-90m	Schwarzer_†	<i>Sambucus_r</i>	1	1	11	nein
Barkau_K10	80-90m	Totholz	NA	1	1		
Barkau_K10	90-100n	Schwarzerle	<i>Alnus_glutir</i>	10	10		
Barkau_K10	90-100n	Schwarzerle	<i>Alnus_glutir</i>	2	2	10	nein
Barkau_K10	90-100n	Schwarzerle	<i>Alnus_glutir</i>	3	3	11	nein
Barkau_K10	90-100n	Schwarzerle	<i>Alnus_glutir</i>	2	2	12	nein
Barkau_K10	90-100n	Schwarzerle	<i>Alnus_glutir</i>	1	1	15	nein
Barkau_K10	90-100n	Schwarzer_†	<i>Sambucus_r</i>	25	25		
Barkau_K10	90-100n	Schwarzer_†	<i>Sambucus_r</i>	2	2	10	nein
Barkau_K10	90-100n	Schwarzer_†	<i>Sambucus_r</i>	1	1	14	nein
Barkau_K10	90-100n	Schwarzer_†	<i>Sambucus_r</i>	1	1	16	nein

Die Objektparameter wie Alter, angrenzende Nutzung, Ausrichtung und Naturschutzwert sind für alle Segmente eines Objektes identisch und sind in Tabelle 3 aufgeführt. Die Höhe und Breite kann von Segment zu Segment variieren; hier sind die Durchschnittswerte des Objektes angegeben und beschreiben diese Objekte hinreichend genau.

Der Naturschutzwert ist eine dimensionslose Zahl, die nur eine Rangordnung (Ordinalskala), aber keine Abstände (Metrik) aufweist. Als Vergleich dienen die Untersuchungen zu Straßenbegleitgehölzen, welche durchschnittlich einen Naturschutzwert von 108 als Median und 28 bis 157 als Spanne aufweisen, damit aber wegen der nicht-Linearität nicht „viermal so wertvoll“ sind. Näheres dazu findet sich in der Diskussion und im angehängten Bericht „Optimierung der energetischen Nutzung von Knicks“. Es wurde zusätzlich mit demselben Bewertungssystem der Naturschutzwert für einige KUPs ermittelt: Er beträgt für diese flächenhaften Gehölze 1,1. Es ist leicht einsichtig, dass aufgrund der kardinalen Skala des Bewertungssystems für lineare Gehölze die KUPs nicht direkt mit den Knicks verglichen werden können. Fotos der Objekte befinden sich im Anhang. Aufgrund der geografischen Lage handelt es sich bei allen Objekten um sogenannte Reiche Schlehen-Hasel-Knicktypen, nur Knick 3 ist als Knick ohne typische Zusammensetzung sog. Bunter Knick einzuordnen.

**Tabelle 3:** Kurzbeschreibung der Objekte. Die Meterangaben entsprechen dem Mittelwert über die Segmente und sind bei der Begehung aus dem repräsentativen Bewuchs geschätzt worden.

Objekt	Ausrichtung	durch. Breite Gehölz (m)	durch. Breite Krone (m)	durch. Höhe (m)	angr. Nutzung	Alter	Naturschutzwert incl. Saum
<b>Knick 1</b>	W-O	3,4	9,4	5,4	Acker	13 Jahre	30
<b>Knick 2</b>	W-O	3,7	7,9	4,8	Acker	16 Jahre	15
<b>Knick 3</b>	N-S	1,5	8,3	6,1	Acker	16 Jahre	19
<b>Knick 4</b>	W-O	2,5	6,2	7,0	Acker	17 Jahre	8
<b>Knick 5</b>	N-S	6,6	11,6	9,9	Grünland/Grünstreifen	28 Jahre	24
<b>Knick 6</b>	N-S	6,3	8,6	6,9	Grünland/Brache	21 Jahre	55
<b>Knick 7</b>	NW-SO	3,3	5,3	3,9	Acker	16 Jahre	18
<b>Knick 8</b>	W-O	4,0	5,5	3,6	Acker	14 Jahre	35
<b>Knick 9</b>	NO-SW	5,1	8,3	4,3	Acker	20 Jahre	31

### Allometrie

Die kartierten Bäume wurden derart an die Referenzerträge der einzelnen Segmente angepasst, indem folgende einfache Annahme durch einen Optimierungsalgorithmus parametrisiert wurde:

Bäume mit einem BHD < 10 cm wiegen alle gleich viel und die größeren Bäume werden unabhängig von der Art durch den BHD versehen mit einem Faktor und Exponenten gewichtsmäßig beschrieben.

Als sogenannte allometrische Formel geschrieben lässt sich so die Holztrockenmasse *TM* jedes Segmentes mit den Parametern *a*, *b* und *c* folgendermaßen darstellen:

$$\frac{TM}{kg} = \left( \sum_{i=1}^{Anzahl\ BHD>10} a * \left( \frac{BHD>10}{cm} \right)^b \right) + c * Anzahl\ BHD < 10$$

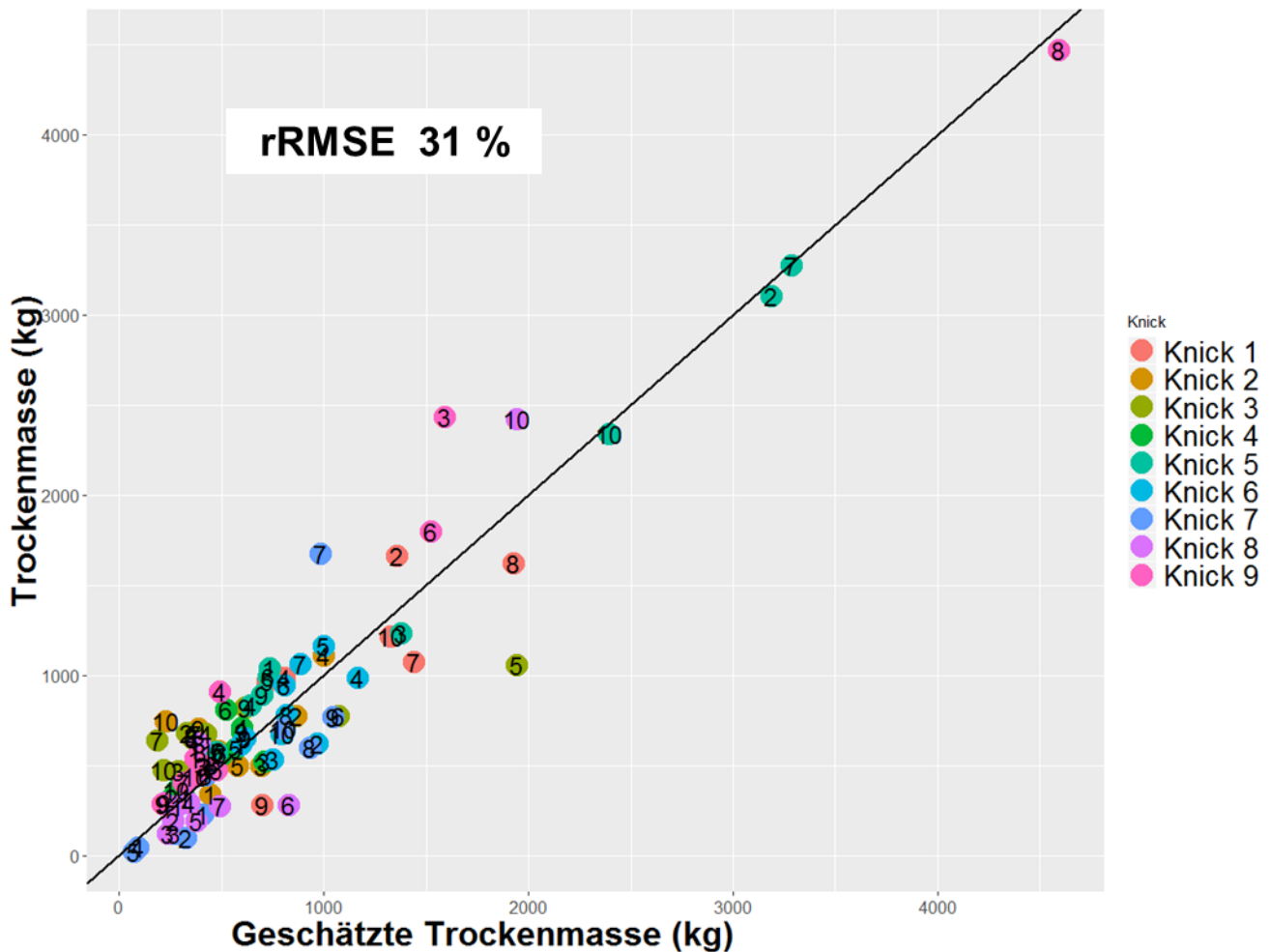


Abbildung 10: Die durch allometrische Gleichungen geschätzte Trockenmasse aller geernteten Segmente aller untersuchten Flächen in Relation zur Referenzmasse

Die so ermittelten Parameter für die o.g. allometrische Formel haben folgende Werte:

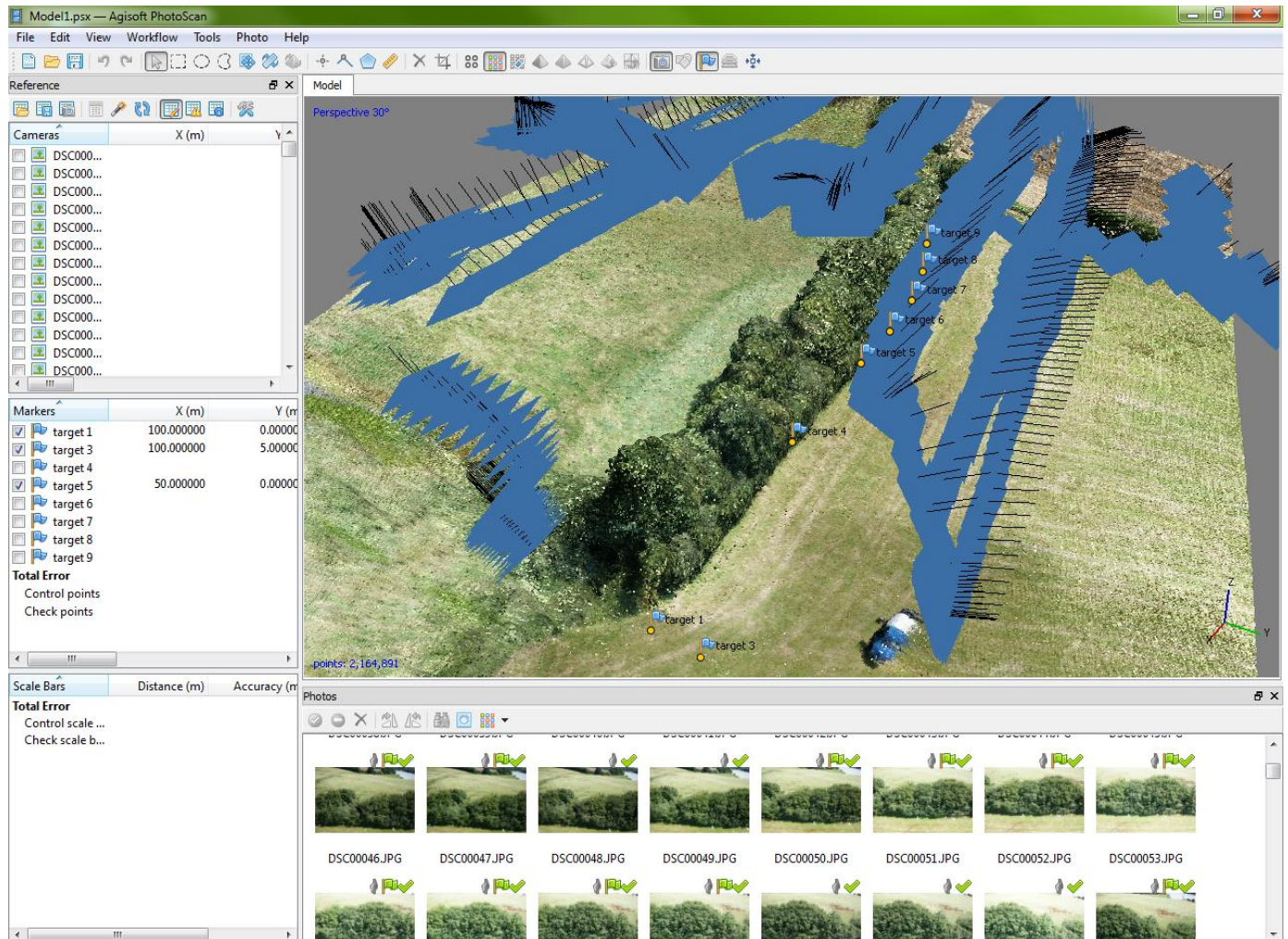
$$a = 0,023; b = 2,8; c = 1,9$$

Die Parameter  $a$  und  $b$  sind von ihrer Bedeutung her mit denen aus der Literatur von Einzelbäumen bekannten Parameter – wie z.B. in Tabelle 1 – zu vergleichen. Der Parameter  $c$  steht in diesem Modell für das Gewicht in kg eines „Baumes < 10 cm“, genauer Stockausschlag, also z.B. auch ein Zweig eines Strauches.

Die Genauigkeit dieses Modells wird durch die Abweichungen der Schätzung zum gemessenen Wert bestimmt und lässt sich auch graphisch feststellen, indem geprüft wird, wie gut die Punkte in Abbildung 10 auf der Ideallinie liegen. Der statistische Wert dazu heißt RMSE (Root Mean Squared Error) und wird hier relative zum Mittelwert der Messwerte als rRMSE angegeben. Es ergibt sich ein Wert für den rRMSE von 31 % bei einer Korrelation von  $r = 0,87$ .

### 3D Volumen

Die Fotos der Multicopterflüge wurden durch den SfM Algorithmus den Positionen, wie in Abbildung 11 exemplarisch gezeigt, zugeordnet. Daraus rekonstruierte dann die Software durch Triangulation die 3D Punkte – mehrere Millionen Punkte je Objekt.



**Abbildung 11:** Screenshot der verwendeten Software Agisoft PhotoScan. Die durch den SfM Algorithmus bestimmten Aufnahmepositionen der Fotos (rechts unten) um den Knick herum sind als blaue Rechtecke mit schwarzer Richtungslinie eingezeichnet (rechts oben). Beispielobjekt „Knick 6“ mit 2.164.891 Punkten.

Folgende Verfahren wurden bei der weiteren Auswertung der 3D Punktwolke getestet:

#### 1. Rekonstruktion aller Astoberflächen zur Starkholzvolumenbestimmung

Es erwies sich trotz intensivster und unterschiedlichster Herangehensweisen leider als nicht zielführend, aus diesen Punkten die Oberflächen aller Stämme und Äste eindeutig zu modellieren. Denn selbst durch unterschiedlichste Blickwinkel (d.h. sehr vieler Einzelfotos aus unterschiedlichsten Perspektiven) werden – bei sehr dicht gegliederten Gehölzen - innenliegende Äste durch andere großflächig verdeckt, so dass sie „nicht einzeln erkannt“ und somit auch nicht als Einzelmasse geschätzt werden konnten. Darüber hinaus war



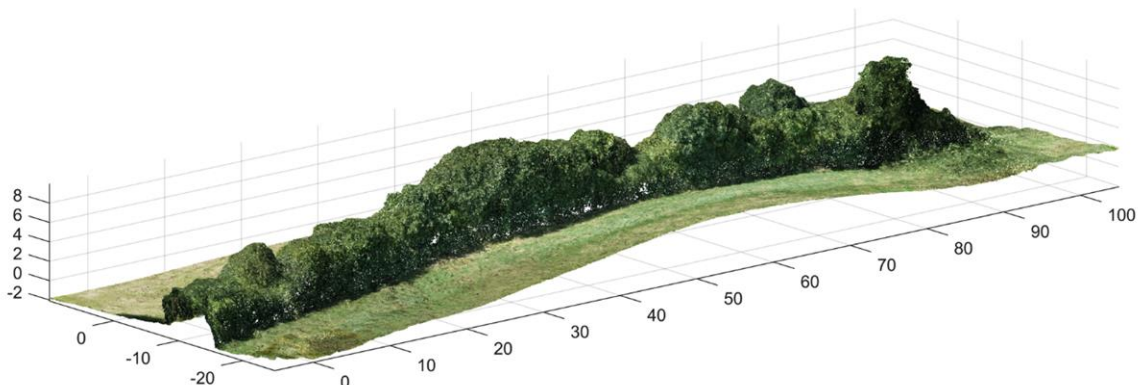
zusätzlich teilweise die Punktdichte durch den geringen Kontrast – brauner Ast vor braunem Boden oder anderem braunem Ast – nicht groß genug, um selbst außen liegende Stammteile exakt zu modellieren und daraus die Holzmasse abzuschätzen.

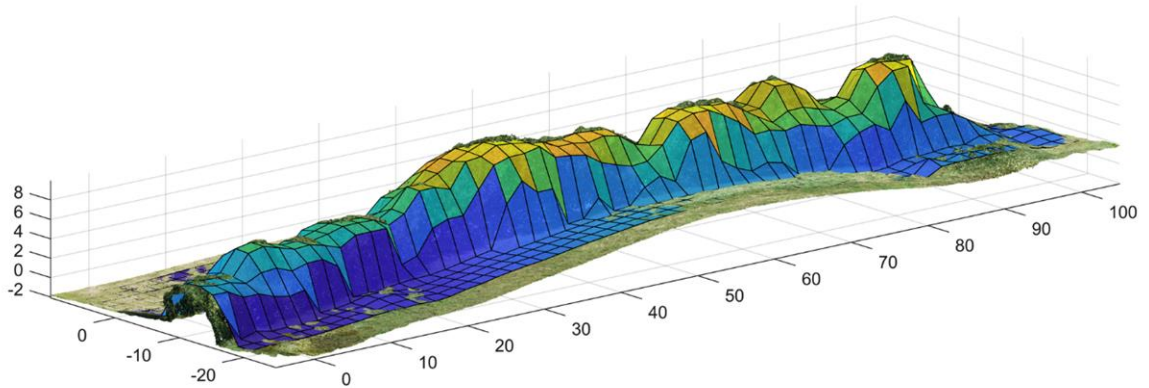
## 2. Verwendung der äußeren 3D Punkte des Objektes zur Bestimmung des „einhüllenden“ Volumens

Als erfolgreich stellte sich die Bestimmung des „von Holz durchwachsenden Raumes“ dar, indem das Volumen zwischen Boden und einer Oberfläche (Einhüllende) berechnet wird, welche aus den äußeren bzw. oberen 3D Punkten mit einer typischen Mittelungslänge von 1 bis 2 m gebildet wird.

Die Ergebnisse der Befliegungen zu unterschiedlichen Zeitpunkten werden hier nicht einzeln gezeigt, sondern hinsichtlich der wesentlichen Erkenntnisse zusammengefasst: Die 3D Modelle der belaubten Knicks zeigten vergleichbare Positionen der 3D Punkte zu denen, die im Spätherbst im unbelaubten Zustand aufgenommen wurden. Somit sind auch die daraus errechneten Volumina nahezu identisch. Die erstellten 3D Modelle nach dem Knicken waren ursprünglich dazu gedacht, das Restvolumen in Form des Bodens und Überhälter von den vorher ermittelten Gehölzvolumen abzuziehen. Hierbei ergab sich aber das Problem, dass nur kleine Abweichungen in der Position der GCPs und damit im Koordinatensystem der zwei Modelle einen erheblichen Einfluss auf das Differenzmodell haben, so dass dieser Ansatz verworfen wurde. Es zeigte sich jedoch, dass der Boden innerhalb des Gehölzes hinreichend genau durch eine Interpolation des Bodenreliefs beidseitig neben dem Knick erfolgen kann (vgl. Abbildung 12 unten), daher wurden die Bodenreliefs aller untersuchten Objekte so entsprechend interpoliert. Die Berücksichtigung der Überhälter erfolgte durch die Abschätzung ihrer Trockenmasse durch in der Literatur bekannte allometrische Formeln (Tabelle 1) und wurde zum geernteten Trockengewicht der HHS addiert, um das Holzpotential in dieser Fläche zu beschreiben.

Wie in Abbildung 12 unten zu sehen, bestehen die berechneten Volumensegmente nicht nur aus Höhe mal Länge mal Breite, sondern variieren innerhalb eines 10 m langen Segmentes und über die Breite zum Teil beträchtlich. Die Polyeder wurden jeweils zum Volumen eines Segmentes aufsummiert und in Relation mit der Referenzmassen des entsprechenden Segmentes gestellt.

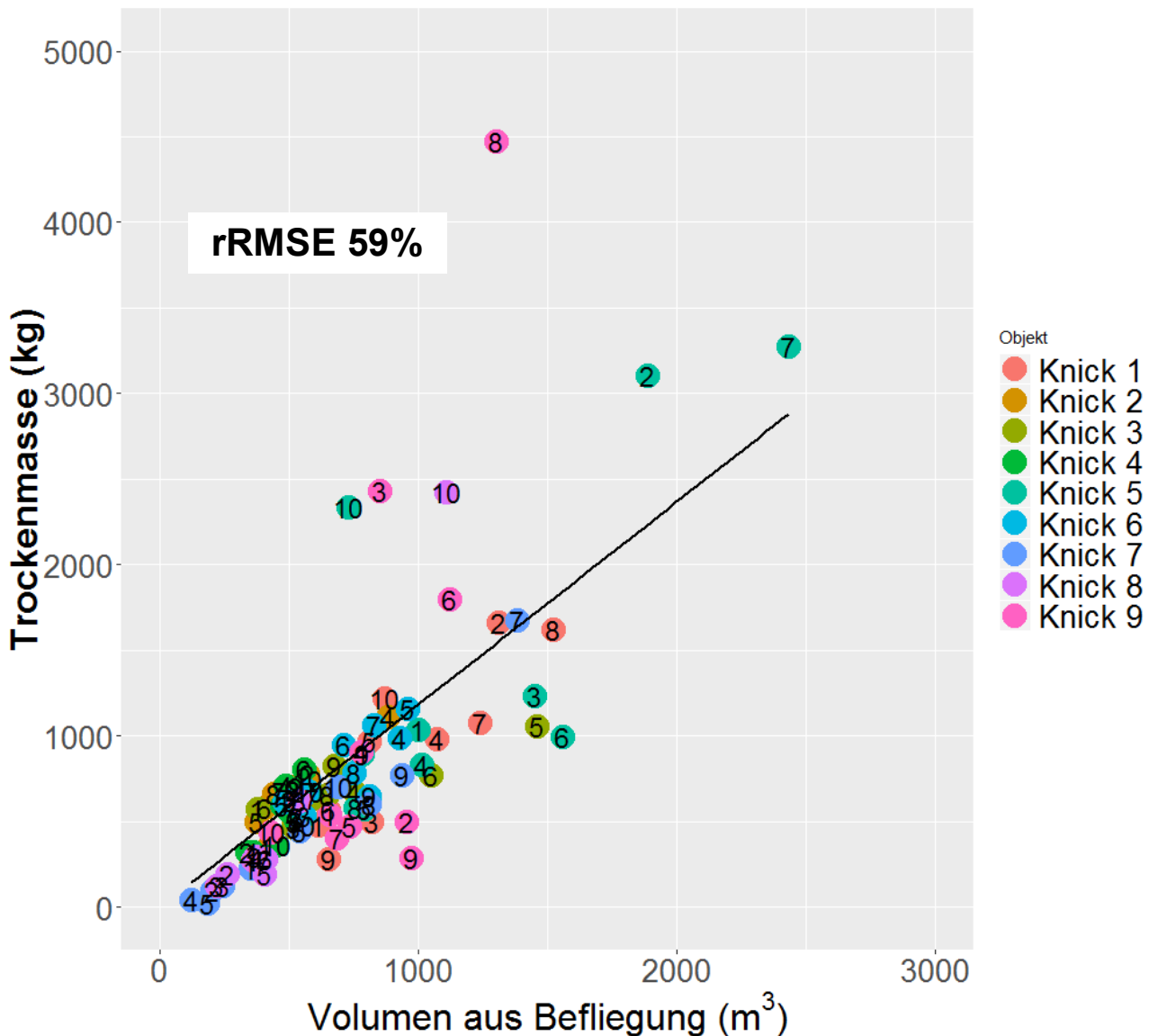




**Abbildung 12:** 3D Modell mit 2.078.459 Einzelpunkten (oben) und das Volumenmodell (unten) am Beispielobjekt „Knick 5“.

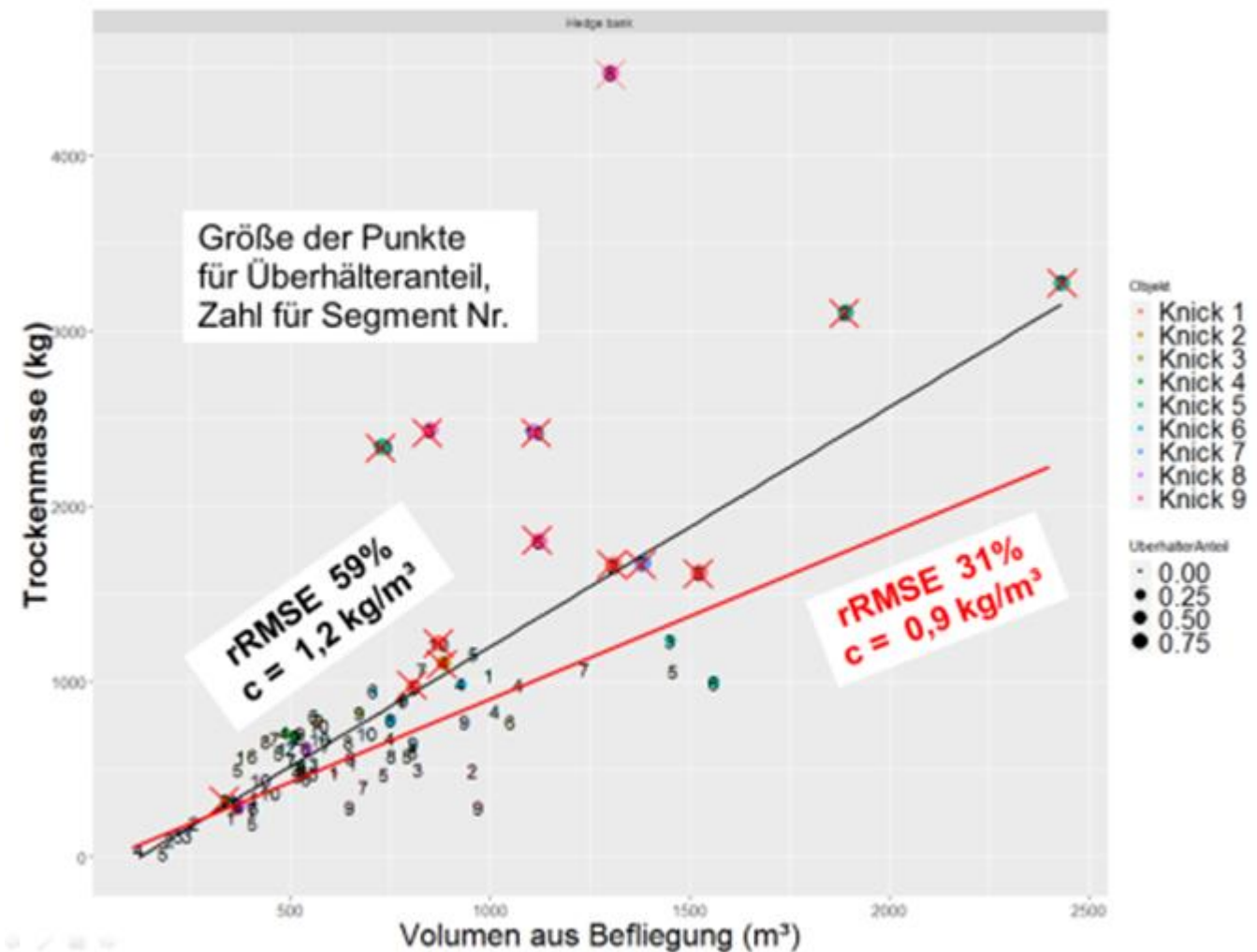
Diese Säulen mit der Grundfläche von 2 m x 2 m reichen bis zur Höhe der oberen, äußeren Gehölzspitzen (Abbildung 12). So kann es vorkommen, dass die unteren Schichten dieser Säulen kein Holz enthalten, wohl aber die oberen, wie z.B. unter den überhängenden Baumkronen oder in der Mitte der Gehölze bei einer Bewuchs freien Fläche.

Somit ergibt sich folgende Grafik in Abbildung 13, die den Zusammenhang des Volumens zum Trockenmasseertrag zeigt. Die durch die Befliegung ermittelten Volumina reichen von 120 m<sup>3</sup> bis knapp 2500 m<sup>3</sup> je Segment; die dazugehörigen Referenzmassen betragen gut 20 kg und 4500 kg. Im Mittel (Steigung der schwarzen Ausgleichgerade in Abbildung 13) entspricht ein Volumen von 1 m<sup>3</sup> einer Trockenmasse von 1,2 kg. Die Genauigkeit lässt sich mit einem rRMSE von 59 % beschreiben.



**Abbildung 13:** Das „Volumenmodell“: Das Trockenmassepotenzial der Gehölze steht im engen Zusammenhang mit dem „holzdurchwachsenden“ Volumen, welches auch die Luft innerhalb des Gehölzes oder unter den überstehenden Baumkronen mit einschließt.

Es fällt in Abbildung 13 auf, dass es Segmente gibt, die deutlich über der schwarzen Ausgleichgeraden liegen, welche also eine wesentlich höherer Trockenmasse zugeordnet bekommen, als das Modell aus dem Volumen vorhersagt. Bei genauerer Betrachtung fällt auf, dass es sich dabei um die Segmente mit einem hohen Überhälteranteil handelt (siehe Abbildung 14 Größe der Punkte als Markierung für Überhälteranteile größer 50 %). Dabei sind die Gewichte der Überhälter ja nur aus den BHD durch Literaturdaten geschätzt.



**Abbildung 14:** Diese Leben Daten wie Abbildung 13; es wurden die Segmente mit einem Überhälteranteil von größer als 50 % markiert und für die Modellbildung (rote Parameterzahlen generiert mit  $90-14=76$  Segmenten) weggelassen. Werden diese Segmente nicht berücksichtigt (z.B. wie Abbildung 14 in rot, in der 14 Segmente mit Überhälteranteil von größer als 50 % nicht in das Modell hinein genommen worden sind) so ergibt sich eine etwas geringere Steigung von  $0,9 \text{ kg/m}^3$  und ein fast nur noch halb so großer „Modell Fehler“ (rRMSE) von 31 %.

### 2D Flächen

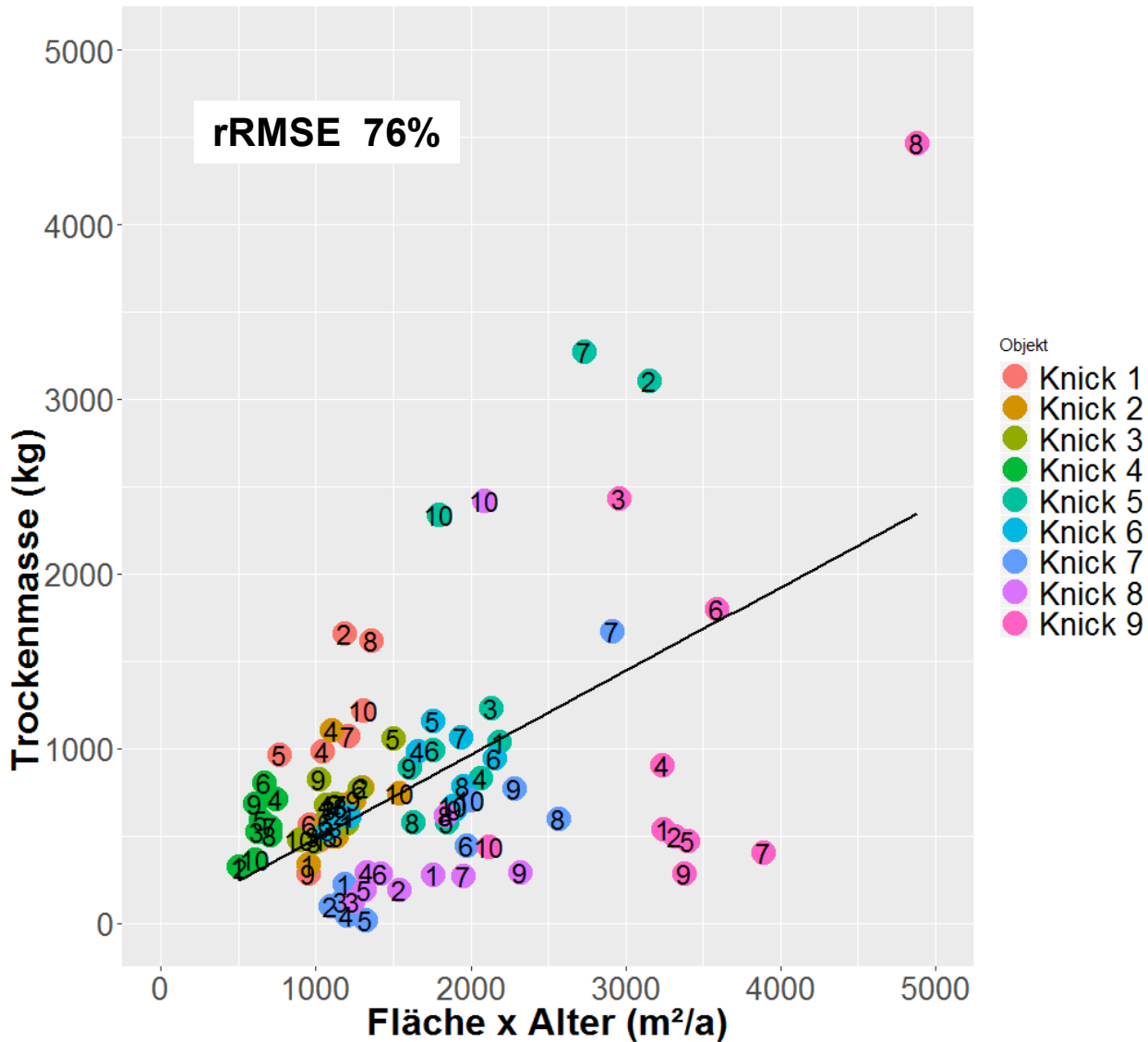
Die durch Luftbildaufnahmen generierten Segmentflächen sind exemplarisch in Abbildung 15 angegeben. Dieses Objekt weist eine hohe Variabilität der Breite auf – zwischen 6 m und 11 m – und damit verbunden gibt es Segmentflächen von gut  $110 \text{ m}^2$  bis hinunter zu gerade einmal  $60 \text{ m}^2$  - bezüglich dieser Kronenfläche je 10 m Segment sind es knapp 25 %; der Durchschnitt über alle neun Objekte liegt bei gut 20 % ausgedrückt über den Variationskoeffizient bei einer mittleren Kronenbreite von 9,1 m.





**Abbildung 15:** 2D Auswertung in Form von Flächenberechnung der Kronenbreiten jedes Segmentes des Objektes „Knick 5“; die Zahlen geben die Fläche der manuell eingezeichneten Polygone in m<sup>2</sup> an.

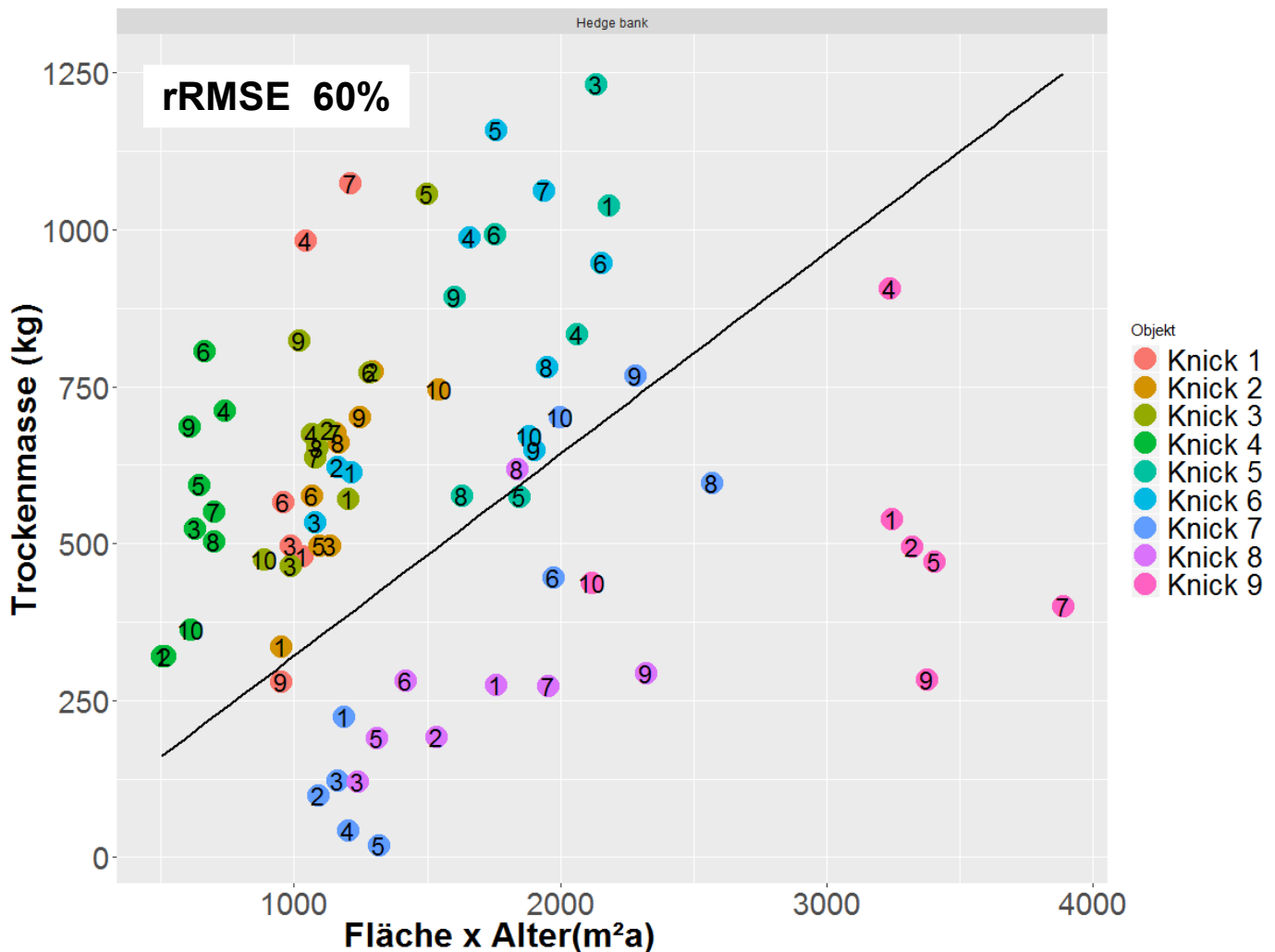
Die durch Luftbildaufnahmen generierten Flächenangaben wurden mit dem Alter des jeweiligen Objektes (Zeit des letzten Knickens, einheitlich für alle Segmente, vgl. Tabelle 3) multipliziert, um ein lineares Holzmassewachstum zu berücksichtigen. Aus der Literatur ist bekannt, dass für lineare Gehölze etwa 0,5 - 0,7 kg Trockenmasse jedes Jahr pro Quadratmeter Kronenfläche aufwächst (Uckert 1989, Seidel et al. 2015).



**Abbildung 16:** Ergebnis der 2D Auswertung: Der Parameter Fläche x Alter aufgetragen gegen die Referenzmasse; die Steigung ergibt den jährlichen Zuwachs an Trockenmasse je Fläche – etwa  $0,5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \text{ a})$

Auffällig ist ein „Stapeln“ der Segmente eines Objektes in Abbildung 16: Fast jedes Objekt weist nur eine geringe Variation der Segmentflächen auf (im Durchschnitt 20 %, vgl. Abschnitt zuvor), das Objektalter ist für alle Segmente gleich, somit ist auch der Parameter Fläche x Alter annähernd konstant und obwohl es eine hohe Holzmassevariation gibt, kann diese nur unzureichend über Fläche x Alter erklärt werden. Lediglich die Objekte „Knick 5“ und „Knick 7“ variieren über beide Variablen in Abbildung 16, so dass ein Zusammenhang innerhalb des Objektes erkennbar ist. Die Relation zwischen Trockenmasse und Flächen x Alter führt zu einem rRMSE von 76 %. Es lässt sich hieraus ein durchschnittliches Wachstum von  $0,48 \text{ kg}$  Trockenmasse je Jahr und Quadratmeter Kronenfläche angeben.

Werden hier der Vergleichbarkeit wegen auch die 14 Segmente mit einem hohen Überhälteranteil außer Acht gelassen, so ergibt sich der Zusammenhang in Abbildung 17 mit einem nur unwesentlich kleinerem rRMSE von 60 % und einer deutlich geringeren Zuwachsrate von 0,3 kg/(m²a).



**Abbildung 17:** Ergebnis der 2D Auswertung ohne Segmente mit einem Überhälteranteil von über 50 %

#### *Vergleich der Methoden zur Bestimmung des Holzertes*

Im Folgenden werden die Unterschiede der drei Methoden – Kartierung mit Allometrie, 3D Volumen und 2D Fläche – betrachtet. Dabei wird auf die bis jetzt erzielte Genauigkeit eingegangen, aber auch die praktische Anwendung erörtert.

Die Genauigkeit – ausgedrückt über den rRMSE – ist bei der Kartierungsmethode am höchsten. Dabei steht der rRMSE von etwa 30 % dafür, dass sich in den untersuchten Objekten der Holzmasseertrag mit einem Fehler von  $\pm 30\%$  vorhersagen lässt; also angenommen die Kartierungsmethode sagt für einen Gehölzabschnitt ein Holzmassepotential von 1000 kg vorher, dann liegt der bei vollständiger Ernte erzielte Ertrag in 68 % der Fälle zwischen 700 und 1300 kg (in 95 % zwischen 400 und 1600 kg).

Ein Unterscheid der manuellen Kartierungsmethode zu den anderen beiden Methoden (3D-Volumen, 2D-Fläche) ist aber, dass die Vorhersage von der Kombination aus drei Parameter  $a$ ,  $b$  und  $c$  abhängt und damit anfällig für eine veränderte Baumzusammensetzung in den neuen Gehölzobjekten ist, wenn z.B. nur junge Bäume mit  $BHD < 10$  cm vorliegen. Die 3D-Volumen- und 2D-Flächenmethode passt nur einen Parameter – die Gehölzdichte oder den jährliche Zuwachs – an und ist damit zwar etwas ungenauer, da eine hohe Variation in der Gehölzausprägung gemittelt wird, wird aber wahrscheinlich bei neuen Gehölzobjekten keine starken Genauigkeitsabweichungen zeigen, da die Parameter eher biologisch begründet im Ausnutzen der Lichtverhältnisse und im Klima bedingten Wachstum sind. Die 2D Methode hat dabei aber den Nachteil, dass – wie der Name schon sagt – nur die flächenhafte Ausdehnung der Gehölzstruktur berücksichtigt wird und es bei besonders niedrigen oder hohen Objekten zu starken Abweichungen vom Durchschnitt kommen kann.

Ein anderer praxisrelevanter Unterschied besteht in dem zeitlichen Aufwand: Die manuelle Kartierung hat im Durchschnitt 20 Arbeitskraftstunden (Akh) für einen 100 m langen Abschnitt benötigt und befindet sich damit schon außerhalb einer finanzwirtschaftlichen Sinnhaftigkeit, da mit einem angenommenen Akh Satz von 50 € die Kosten von 1000 € für die Feststellung des Holzpotentials in keinem Verhältnis zu den Erntekosten von etwa 800 € stehen, wenn angenommen wird, dass die Objekte 10 m breit sind und der Quadratmeterpreis für die Erntekosten bei 0,80 € liegt. Bei dieser Betrachtung schneidet auch die Volumenmethode nicht effektiv ab, da durchschnittlich 5 Akh für die Befliegung von einem 100 m langen Objekt mit Wegepunktplanung, Flugvorbereitung, eigentlicher Flug (nur 10 min) und Datentransfer anfallen und dann noch die Computerauswertung durch den SfM Algorithmus je nach Modellkomplexität und Rechenkapazität mit ca. 20 h Rechenzeit (CPU time) hinzukommt (ca. 350 € Kosten bei einem angenommenen Analyseaufwand von 2 Akh vorm PC und keine Kosten für CPU time). Lediglich die Flächenmethode, die sogar ohne vor-Ort-Termin auskommen könnte, ist selbst mit der vorerst manuellen Herangehensweise zur Auswertung der Luftbilder mit ca. 1 h je 100 m, gut für den realen Einsatz geeignet. Es bleibt bei diesem Ansatz aber das Problem, das Alter des Gehölzes festzustellen, da der letzte Knickzeitpunkt meist nicht bekannt ist. Auch ist fraglich, ob die Genauigkeit der alterskorrigierten Flächenmethode von etwa 60 - 75 % (je nachdem ob ohne oder mit hohem Überhälteranteil) einen Vorteil gegenüber einer angenommenen Schätzmethode, welchen einen Einheitswert von z.B. 100 kg/m (Mittelwert aller untersuchten Objekte 81 kg/m) zugrunde liegt, hat. Aus der Literatur (Isensee, Stübiger und Lubkowitz 2000, Borchering 2014) und eigenen Messungen ist bekannt, dass die Holzträge von linearen Gehölzen in Schleswig-Holstein durchschnittlich 50 % Ertragsvariation betrachtet über die Länge aufweisen; es also durch „zufälliges Raten“ eines konstanten Ertrages eine Genauigkeit mit einem rRMSE von etwa 50 % gibt.

In Tabelle 4 sind die quantitativen Unterschiede der Methode zusammen gefasst. Hierbei fällt auf, dass eine Steigerung der Genauigkeit jeweils mit einem erhöhten Zeitaufwand erkaufte wird. Anzustreben ist sicherlich eine praktikable Methode mit geringem Arbeits-, Kosten- und Zeitaufwand, guter Verfügbarkeit und ausreichender Genauigkeit. Diese Genauigkeit wird nun mit grob 25 % angegeben, um einerseits wesentlich genauer als zufälliges Raten und andererseits aber auch effizient mit  $\leq 1$  Akh/100 m zu sein.

**Tabelle 4:** Die drei untersuchten Methoden in puncto Genauigkeit und Effizienz

Methode	rRMSE	rRMSE mod.*	Parameter	Parameter mod.*	Zeitaufwand
<b>Kartierung</b>	31%	33 %	1,8 kg / BHD<10cm	1,6 kg / BHD<10cm	20 h / 100 m
<b>3D Befliegung</b>	59%	31 %	1,2 kg/m <sup>3</sup>	0,9 kg/m <sup>3</sup>	5 h / 100 m + 2 d CPU
<b>2D Luftbilder</b>	76%	60 %	0,48 kg/(m <sup>2</sup> a)	0,3 kg/(m <sup>2</sup> a)	1 h / 100 m

\*mod. steht für die Auswertung ohne die Segmente mit hohem Überhälteranteil

### Größere Segmente - Randeffekte

Die bisher dargestellten Resultate beziehen sich auf die Auswertung der 10 m Segmente. Somit erhält die statistische Analyse bei neun Objekten eine Gesamtheit von n = 90 Stichproben. Im nun Folgendem werden Segmente zusammengefasst, in dem die beobachteten Eigenschaften über zwei, fünf oder alle zehn benachbarte Segmente in einem Objekt aufsummiert werden. Damit reduziert sich zwar die Stichprobenanzahl, aber auch Randeffekte an den Segmentgrenzen, wie überlappende Kronenbereiche und Positionsfehler bei der Flächen- bzw. Volumenberechnung minimieren sich.

Es ergeben sich so für die praxisrelevanten Methoden 2D und 3D folgende Genauigkeiten bei unterschiedlichen Segmentlänge:

**Tabelle 5:** Der Einfluss der Segmentlänge auf die Vorhersagegenauigkeit ausgedrückt über den rRMSE der Schätzverfahren

Methode	Segmentlänge			
	10 m	20 m	50 m	100 m
<b>3 D Befliegung</b>	59%	41%	19%	16%
<b>2 D Luftbilder</b>	76%	52%	42%	39%
<b>Kartierung</b>	31%	27%	17%	9%

Man erkennt eine deutliche Abnahme des rRSME mit größer werdenden Segmenten. Dies bestätigt die Annahme der Randeffekte, da bei Verwendung von 10 m Segmenten insgesamt elf Grenzen innerhalb eines Objektes sind, bei 100 m Segmente nur zwei Grenzlinien. Der Effekt ist bei der 3D Methode wesentlich ausgeprägter; der rRMSE reduziert von ca. 60 % auf fast ein Viertel zu 15 %. Bei der Flächenmethode beträgt die Reduktion nur ca. die Hälfte. Die Allometrie ist methodenbedingt bei der Datenerhebung von der Grenzflächen nicht stark betroffen (manuelles Zählen und Zuordnen); der Auswertalgorithmus ist jedoch

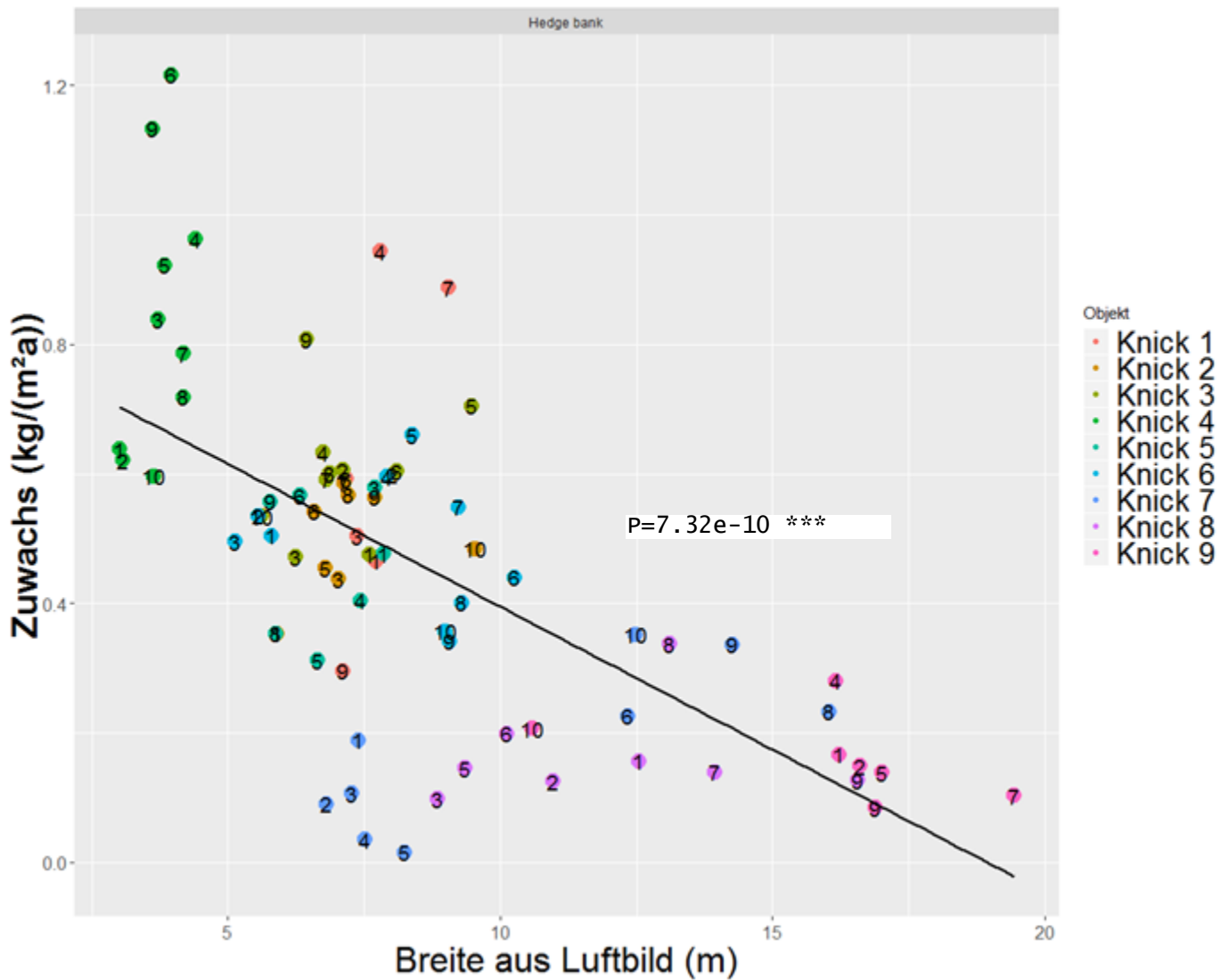
stark von den Segmentzusammenfassungen betroffen (Optimierungsroutine) und reduziert so den rRMSE auf gut ein Drittel.

### *Einflussfaktoren auf den Holzertrag und die Holzqualität*

Vom Forst und Feld ist bekannt, dass der Ertrag – ob Holz, Korn oder einfach Biomasse – von vielen Faktoren abhängig ist, die beim gezielten Anbau verständlicherweise als sogenannte Produktionsfaktoren auch gesteuert werden, wie Bodenbearbeitung, Düngung, Pflanzenschutz, usw.. Auf dem Knick werden diese Faktoren nicht gezielt auf den Ertrag beeinflusst, weisen aber – mehr oder weniger zufällig – eine gewisse Variation auf, welche in den begleitenden Untersuchungen zum Boden, zur Gehölzbreite, zur Himmelsausrichtung und Knicktyp ermittelt wurde.

Das vorhergesagte lässt sich auch auf die Holzqualität übertragen, welche in Form vom Aschegehalt und Brennwert beprobt wurde.

Als quantitativer Parameter des Holzertrages wird im Folgenden der jährliche Zuwachs je m<sup>2</sup> bezogen auf Holz trockenmasse herangezogen, da der absolute Holzertrag, wie in den vorigen Abschnitten verwendet, in erster Linie vom Volumen, der Gehölzfläche und dem Alter abhängt. Es wird sich auf die Segmente ohne einen hohen Überhälteranteil konzentriert, um die mögliche Fehlerquelle der Überhältermassenschätzung zu reduzieren. Erst die durch das 2D Flächen-Alter-Modell nicht erklärte Varianz der Holz zuwächse – also der 60 % „Fehler“ - lässt eine Analyse anderer Einflussfaktoren zu. Zur Veranschaulichung dieser zweiten Größenordnung ist der Segmentspezifische Zuwachs, welcher im Mittel bei 0,3 kg/(m<sup>2</sup> a) liegt, gegen die Breite des jeweiligen Segmentes in Abbildung 18 aufgetragen. Die Gehölzbreite zeigt einen starken Einfluss auf das Wachstum in der Form, dass schmale Gehölze schneller bezogen auf die Fläche wachsen als breite.



**Abbildung 18:** Der mittlere jährliche flächenspezifische Zuwachs der Gehölze in Abhängigkeit der Breite der Segmente ohne Überhälteranteil größer 50 %. Der p-Wert gibt das Signifikanzniveau des linearen Modells unter alleiniger Berücksichtigung der Breite an.

Zur statistischen Analyse dieser multifaktoriellen Einflüsse wurde ein lineares Modell aufgestellt, welches den Zuwachs  $Z$  durch eine Addition der Parameter Alter  $A$  des letzten Knickens (metrisch, kardinal), Gehölzbreite  $G$  (metrisch, kardinal), Boden  $B$  (Intervall, ordinal) und Ausrichtung  $E$  (Intervall, ordinal) versucht zu erklären.

$$Z \sim \mu + A + G + B + E + \varepsilon \quad \text{mit } \mu \text{ Mittelwert von } Z \text{ und } \varepsilon \text{ nicht erklärte Varianz}$$

Die vielen Eigenschaften des Bodens und Ausrichtung wurden derart zusammengefasst, dass zwei Stufen gebildet wurden, welche ein offensichtlich unterschiedliches Wachstum zu Folge haben sollten:

- Boden:
- eutroph (1): Stickstoffgehalt  $\geq 0,12$  g/kg, Phosphatgehalt  $\geq 20$  mg/kg, Bodenart mit Lehmenteil
  - mesotroph (0): Stickstoffgehalt  $< 0,12$  g/kg, Phosphatgehalt  $< 20$  mg/kg, Bodenart Sand

Ausrichtung: hell und feucht (1): Ausrichtung nach Süd und Nord, vormittags und nachmittags Sonne, Regen aus West wird „abgefangen“

dunkel und trocken (0): Ausrichtung nach West und Ost, zwar mittags Sonne, aber nördliche Seite nie, Regen aus West trifft nur auf schmale Breite

Die Stufengrenzen wurden zuvor mit etwa gleichen Klassenhäufigkeiten ermittelt.

Die Boden- und Ausrichtungseigenschaften sind häufig für die Segmente des gesamten Objekts identisch (Ausrichtung) und teilweise ist eine Variation über die Segmente (Boden) nicht sinnvoll, so dass bei dem Modell die Segmente der neun Objekte als Einheit betrachtet werden sollten, obgleich eine zehnfach höhere Stichprobengröße bei Betrachtung der Einzelsegmente rein Auswerttechnisch möglich wäre.

Zusammengefasst kann aus den statistischen Analysen folgendes festgestellt werden:

1. Die Gehölzbreite ermittelt aus den Luftbildern erklärt die Variationen in den jährlichen flächenspezifischen Trockenmassezuwachsen signifikant ( $p = 0,03$  unter zusätzlicher Berücksichtigung des Alters, Bodens und der Ausrichtung) in der Form, dass schmale Gehölze einen stärkeren Zuwachs haben als breite Gehölze, wie in Abbildung 18 für alle Segmente zu sehen.
2. Die anderen Parameter wie Alter, Boden und Ausrichtung weisen in den untersuchten Objekten keine signifikanten Einflüsse auf den Zuwachs auf.

Für die Gehölzqualität in Form von *Aschegehalt* und spezifischer *Brennwert* werden die Einflüsse ebenfalls in Form von Alter  $A$ , Boden  $B$  und Ausrichtung  $E$  untersucht. Des Weiteren ist hier die Berücksichtigung der Gehölzdichte  $D$  (metrisch, kardinal) – also wieviel Trockenmasse auf ein Raummeter Gehölz kommt – interessant, um zu prüfen, ob ein beengtes Wachstum Folgen für die Holzqualität haben könnte.

$Asche \sim \mu + A + B + E + D$  mit  $\mu$  Mittelwert von Asche und  $\varepsilon$  nicht erklärte Varianz

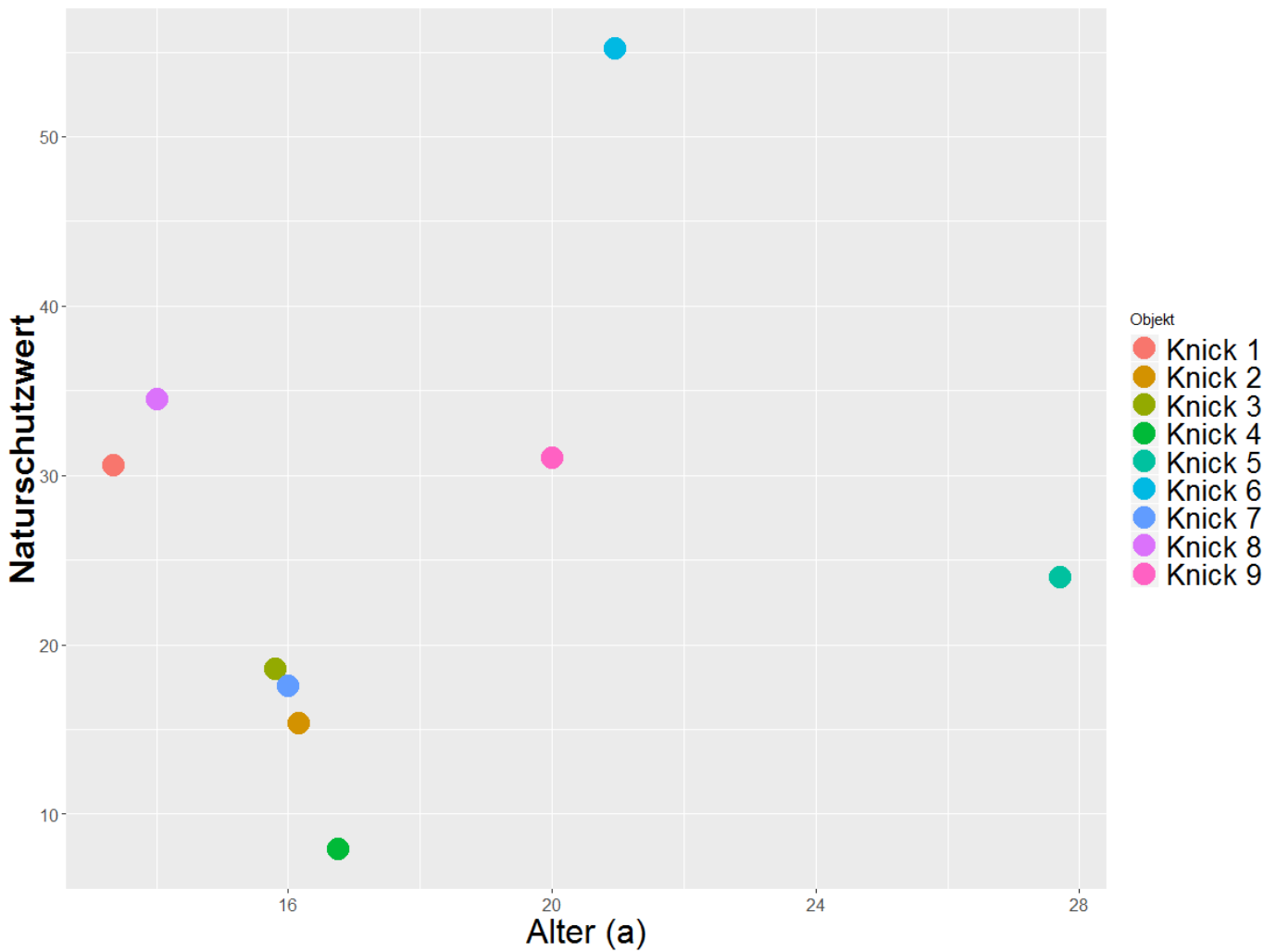
$Brennwert \sim \mu + A + B + E + D$  mit  $\mu$  Mittelwert von Brennwert und  $\varepsilon$  nicht erklärte Varianz

Alle diese Kombinationen liefern keine signifikanten Abhängigkeiten; selbst die mittleren Brennwerte und Aschegehalte der Objekte korrelieren nicht miteinander; erst die getrennte Verwendung aller 90 Segmente liefert einen schwachen Zusammenhang zwischen Brennwert und Asche in der zu erwartenden Form, dass ein hoher Aschegehalt einen etwas niedrigeren Brennwert verursacht (Daten nicht gezeigt).

Es wurden weitere sinnvolle Einflussfaktoren auf den Ertrag und Zusammenhänge innerhalb der erhobenen Daten wie Bodeneigenschaften, Ausrichtung, Artenzusammensetzung, Wuchsform und Holzmasse und –qualität untersucht; nirgends traten signifikante Abhängigkeiten auf. Kurz erwähnt werden soll noch der Zusammenhang zwischen dem ermittelten Naturschutzwert und dem Alter der Objekte, also die Zeit nach dem letzten Knicken, da bei der Bestimmung des Naturschutzwertes durchaus die Altersstruktur im Gehölz



unter anderem berücksichtigt wird (siehe Anhang „Naturschutzwertbericht“). Die neun Objekte zeigen keine Steigerung des Naturschutzwertes, wenn sie länger nicht geknickt werden, wie aus Abbildung 19 ersichtlich.



**Abbildung 19:** Das Alter der untersuchten Knicks gegen ihren Naturschutzwert.

Auch der interessante Aspekt der Knicktypen sei zum Schluss noch kurz dargestellt: In der Region Plön überwiegt der Knickttyp „Reicher Schlehen-Hasel-Knick“, so dass lediglich einer der neun Objekte zum „Bunte Knick“ (Knick ohne typische Zusammensetzung) zählte. Ein unterschiedliches Holzwachstum in Form des untersuchten jährlichen Zuwachses je Fläche konnte nicht nachgewiesen werden, ebenso keine Unterschiede in der Holzqualität in Form des Brennwertes oder Aschegehaltes.

### Diskussion der Untersuchungsergebnisse

Bei der Auswertung hat sich gezeigt, dass die hohe Anzahl von 90 Segmenten und der recht hohe Aufwand in der Bonitierung der einzelnen Bäume geeignet waren, die indirekten Methoden mit der Referenzmethode zu vergleichen. Die Unterschiede in der Genauigkeit der Methoden werden durch ein anderes Projekt an linearen Gehölzen (Straßenbegleitgehölze) bestätigt und wahrscheinlich ist die

Genauigkeit durch einen noch größeren Stichprobenumfang nicht deutlich zu erhöhen. Auch die Auswahl der Objekte ist rückwirkend betrachtet geeignet gewesen, die Variation der Objekteigenschaften – besonders im Holzmasseertrag – ab zu bilden und auch für zukünftige Anwendung zu berücksichtigen.

Der verwendete inzwischen ca. drei Jahren „alte“ Octocopter hat sich als „übergieeignet“ erwiesen: Die hohe Ausfallsicherheit durch 8 Antriebe, das hohe Lastgewicht von bis zu 2,5 kg für eine hochwertige Kamera mit 24 MP war sicher geeignet, um an offenen, teils windigen Feldern zu fliegen und hochaufgelöste Fotos für den SfM Algorithmus zu verwenden. Durch neue Produkte – vor allem hochwertige, integrierte Kamerasensoren – auf dem Consumermarkt stellte sich im Laufe des Projektes heraus, dass auch mit einem Quadrocopter mit 20 MP Kamera gleichwertige 3D Modelle generiert werden können. Es gibt sogar Vorteile dieser „kleinen Drohne“, welche für zukünftige Einsätze von Bedeutung sein können: längere Akkulaufzeit, stabilere Livebildansicht durch digitale Übertragung und die Kameraeinstellung lassen sich noch im Flug ändern, welches den Arbeits- und Kostenaufwand dieser Flugmethode reduzieren können.

Folgende Ansätze im geplanten Arbeitsprogramm konnten nicht umgesetzt werden: Die Modellierung der Stamm- und Astoberfläche und die Berücksichtigung des als Restvolumen bezeichneten Körpers bestehend aus Überhältern und Boden. Erstere Realisierung hätte direkt das Holzvolumen aller Äste und Stämme – nicht zu verwechseln mit dem erfolgreich genutztem Gehölzvolumen wie z.B. in Abbildung 12 unten – geliefert und dann über die typische Holzdicke von 670 - 690 kg/m<sup>3</sup> das Holzgewicht. Hierbei wären die Kalibrierungsschritte, die zum Parameter 1 kg/m<sup>3</sup> Trockenmasse bezogen auf Holz durchwachsendem Gehölzvolumen (siehe Abbildung 13 und 14), nicht nötig gewesen, aber die Methode wäre nur zur Blattlosen Zeit sehr kurz vor der Ernte einsetzbar, da bis Oktober/November die Kronenblätter eine freie Sicht auf die Stämme und Äste nicht ermöglichen. Der zweite Aspekt hat eher akademischen Wert: Die Tatsache, dass nicht alle Bäume geerntet werden, kann einerseits berücksichtigt werden, indem diese Überhälter gewichtsmäßig geschätzt werden und das vor Ernte gemessene Volumen mit der Masse des darin enthaltenen Gehölzes in Beziehung gesetzt wird – also gewogen HHS plus geschätzte Überhälter wie hier geschehen – oder andererseits kann der Volumenanteil des tatsächlich geernteten und gewogenen Gehölzanteils aus der Differenz Gehölzvolumen vor Ernte zu nach der Ernte errechnet werden. So würde auch die Bodengeometrie automatisch (ohne die hier durchgeführte Interpolation) subtrahiert. Die Berücksichtigung in Form dieser Volumenberechnung der einzeln stehenden Überhälter würde dann aber auf einer stark unterschiedlichen Geometrie von Einzelbäume verglichen mit Baumreihen beruhen; die Volumen zu Gewicht Relation ist bei Einzelbäumen sehr stark von Randeffecten (einzelne heraus stehende Äste, schräger Wuchs, ...) beeinflusst und sollte somit nicht direkt mit den Volumen von Baumreihen verrechnet werden. Zudem wäre auch hier der praktische Einsatz fragwürdig, da durch dieses Vorgehen der Holzertrag erst nach einer erneuten Befliegung des abgeernteten Knicks vorliegt; von Interesse ist er aber vor der Ernte.

Die Referenzmethode für den geernteten Holzertrag ist als sehr genau zu bezeichnen: Einflüsse, wie Messfehler durch die Waagen, Trockenmassenanalyse (Variationskoeffizient der drei Proben < 2 %) und Holzverluste beim Knicken und Hacken (die Versuche wurde extra praxisüblich durchgeführt und nicht jeder kleine Ast aufgehoben und mitgewogen) sind als vernachlässigbar einzustufen. Die größte Unsicherheit in der Referenzmethode liegt bei der Schätzung der Überhältermassen. Die Formeln aus Tabelle 1 stammen aus anderen Untersuchungen und Regionen, wo die Wuchsform der Bäume durchaus unterschiedlich von Bäumen in engen, angepflanzten linearen Gehölzen sein kann. Es gibt Segmente, in denen die Überhälter den größten Teil der bestimmten Holzmasse stellen (vgl. Abbildung 8) und diese Segmente fallen bei der späteren Analyse aus dem Trend meist heraus. Dieser Fehler konnte leider nicht überprüft werden, da die Überhälter ja stehen gelassen werden mussten; er kann aber ein Großteil der eigentlichen Holzmasse ausmachen; einige einzelne Überhälter wurden mit mehreren Tonnen geschätzt bei einem durchschnittlichen Segmentertrag von knapp einer Tonne.

Die allometrischen Parameter der untersuchten Objekte (vgl. Angaben unter Abbildung 10) können nicht für die Gewichtsschätzung der Überhälter verwendet werden: Normalerweise beträgt der Exponent für den BHD von Einzelbäumen etwa 2,5 (vgl. Tabelle 1), um das Baumgewicht linear zu approximieren; die Anpassung der eigens für Knicks erstellten Formel ergibt einen höheren Exponenten von etwa  $b = 2,8$  bei einem Faktor von  $a = 0,023$  („üblich“ ca. 0,1). Der Unterschied besteht darin, dass bei der Begehung dieser Studie auch die kleinen Bäume mit einem BHD < 10 cm gezählt wurde, aber nur durch einen Summanden  $c = 1,9$  berücksichtigt werden, welcher eine Mittelwert des Gewichts in kg für Bäume mit einem BHD zwischen 0 und 10 cm darstellt. An der Gesamtmasse haben die mit BHD berechneten Bäume nur einen gewissen, stark variierenden Anteil, welcher durch die Parameter  $a$  und  $b$  berücksichtigt wird; es ist auch gut vorstellbar, dass gleich dicke Bäume – mit identischem BHD – freistehend oder im Forst mehr oder weniger wiegen als in der abgeschatteten Umgebung eines Knicks.

Die 2D und 3D Methoden weisen sicherlich Fehler beim Bestimmen der verwendeten indirekten Parameter wie Volumen, Fläche und Alter zur Holzmasseabschätzung auf. Diese sind jedoch in Relation zur Gesamtgenauigkeit mit etwa 30 – 60 % (vgl. Tabelle 4) zu vernachlässigen, da die benutzte Beziehung der indirekten Parameter (umhüllendes Volumen und Fläche x Alter) zur Holzmasse nicht exakt sein kann und Schwankungen unterliegt.

Um die Einflüsse auf das Holzwachstum zu untersuchen standen „nur“ die neun Objekte zur Verfügung. Dies ist für eine statistische Aussagekraft wenig, wenn es um schwache Einflussfaktoren geht, welche nur die Restvarianz aus den nicht ganz konstanten, jährlichen, Flächenspezifischen Trockenmassezuwächsen erklärt. Die Verwendung aller Segmente führt zwar zu einer höheren statistischen Aussagekraft, ist aber nicht mit einer wissenschaftlichen Herangehensweise zu begründen, da die

Einflussfaktoren wie Boden, Mikroklima durch Ausrichtung und Gehölzalter nicht zwischen den Segmenten eines Objektes variieren, sondern nur der Holzertrag aufgeteilt wird. Man könnte genauso ein Objekt nochmals anders aufteilen und so z.B. 100 hundertstel Holzmassen als Datengrundlage für einen nährstoffarmen, trockenen Boden verwenden.

#### Ausblick, weitere Untersuchungen

Gängige Praxis bei der Knick-Pflege ist der Rückschnitt eines längeren Gehölzabschnitts, meist um ein Feld herum. So wird der Maschineneinsatz lokal sinnvoll beschränkt. Dabei ist es auch meist nur von Interesse, wieviel Holz von diesem Ort zu erwarten ist, bei dem es sich um mehrere hundert Meter logischerweise ohne die großen Überhälter handelt. Für diesen Einsatz mag Tabelle 5 einen Anhalt liefern, wenn die indirekten Messmethoden für 100 m lange Abschnitte ohne Berücksichtigung der Überhälter eingesetzt wird: Unter 20 % Schätz-Fehler für die Volumenmethode und unter 40 % für die Flächenmethode.

Wenn für zukünftige Anwendungen angenommen wird, dass eine Schätzgenauigkeit von 25 % ausreicht, um z.B. eine Nutzung der HHS quantitativ zu planen, scheidet die ungenaue Flächenmethode auch für große Gehölzabschnitte aus. Die exakte Kartierung ist sicher zu aufwendig. Es bleibt die Volumenmethode, um die Anforderung an eine ausreichend exakte, aber auch einfach durchzuführende Methode zu erfüllen. Letzter Aspekt wird durch Befliegung mit Coptern (vgl. Tabelle 4) mit dem doch recht hohen Arbeitsaufwand für eine kleine Fläche (noch) nicht erfüllt. Praktikabel wäre also eine Volumenmethode, welche ohne extra Befliegung auskommt und die gewonnenen Daten dieser Studie zur Holzgewichtsberechnung verwendet. Denkbar wäre es die Gehölzvolumen über vorhanden Geodaten wie digitale Oberflächenmodelle aus großflächigen Laserscanning Befliegungen, Satellitenradar oder SfM Methoden aus Foto Befliegungen (ähnlich Google 3D im urbanen Raum) zu bestimmen.

Die Fragestellungen, ob der Knicktyp das Ertragspotential beeinflusst oder ob die Methode zur Ermittlung des Naturschutzwertes sich auch in der Fauna widerspiegelt, könnten durch weitere Untersuchungen an speziellen Knicks auch in anderen Regionen Schleswig Holsteins untersucht werden. Diese „Klein-Projekte“ sollen im Einzelfall stattfinden, wenn geeignete Objekte dafür gefunden werden. Die OG Mitglieder informieren sich darüber gegenseitig und werden mit den entsprechenden Landwirten die Untersuchungen plane und durchführen.

## **V. Nutzen der Ergebnisse für die Praxis**

Mit der Schätzformel „1 Kubikmeter Knickgehölz = 1 kg Holztrockenmasse“ lässt sich auch ohne Technikaufwand das Holzpotential abschätzen, indem die durchschnittliche Höhe und Breite des Knicks bestimmt wird. Die Genauigkeit hängt dann natürlich von der Methode der Höhenbestimmung ab und wie stark das Gehölz über die Höhe und Breite schwankt.

## **VI. (Geplante) Verwertung und Nutzung der Ergebnisse**

Es gibt zurzeit noch keine konkrete Verwertung der Ergebnisse.

## **VII. Wirtschaftliche und wissenschaftliche Anschlussfähigkeit**

Wissenschaftliche Fragestellungen wurden auf dem Abschlusstreffen besprochen und sind im Ausblick aufgeführt.

## **VIII. Wo relevant: Nutzung Innovationsdienstleister (IDL)**

Das Innovationsbüro unterstützte das Projekt bereits zur Beantragung mit vielen Informationen und Hilfestellungen bei den Formalien. Leider gab es bei der Finanzierungsart vom Investitionsgegenstand des eigentlichen Messsystems erst Information, welche von einer 50 % Finanzierung sprachen, und so bei der Antragsstellung berücksichtigt wurden. Im Projektverlauf musste dann dieses wichtige Untersuchungstool über eine jährliche Aufwandsentschädigung („Miete“) kompliziert verrechnet und finanziert werden.

Hilfreich waren die schnellen Möglichkeiten zur Veröffentlichung von Informationen und die Einbindung in andere EIP Veranstaltungen.

## **IX. Kommunikations- und Disseminationskonzept**

Der erste Agroforsttag fand am 18.10.2017 in Rixdorf mit einem Vortrags- und einem Gerätevorführungsteil statt. Es wurde zuvor durch einen Bauernblattartikel eingeladen, es kamen insgesamt 26 Personen vorwiegend aus Verwaltungs- und Forschungsorganisationen.

Diverse kleine Coptervorführungen im Rahmen anderer EIP Veranstaltungen fanden vor Ort statt (26.09.2017 Warder und 24.08.2018 Lindhof).

Am 26.-27.06.2017 wurde im Rahmen eines Workshops der Universität Bonn die eingesetzte Coptermethode zur Volumenbestimmung mit anderen Anwendern verglichen.

Der zweite Agroforsttag fand am 27.02.2019 in Rixdorf mit einem Vortrags- und einem Vorführungsteil statt. Es wurde zuvor durch einen Bauernblattartikel eingeladen, es kamen insgesamt 26 Personen, davon einige Interessierte aus dem Dienstleistungssektor.

Dort entstand auch ein kurzer Film über das Projekt, den die Deutsche Vernetzungsstelle Ländliche Räume auf youtube eingestellt hat: <https://www.youtube.com/watch?v=O5BonprKf5g&feature=youtu.be>

Im Bauernblatt wurden die nutzbaren Ergebnisse grob vorgestellt:

Thiessen, E., 2017: EIP-Projekt: Nachhaltige Biomassenutzung - Ertragspotenzial von Knicks, Bauernblatt, Heft 40, 7. Oktober 2017, ISSN 0947-9767

Weitere wissenschaftliche Veröffentlichungen siehe Literatur

# Anhang

## Fotos der Objekte



2016 Fransenberg Knick 1



2016 Fransenberg Knick 2



2016 Fransenberg Knick 3





2017 Drögendiek Knick 4



2017 Drögendiek Knick 5



2017 Drögendiek Knick 6





2018 Barkau Knick 7



2018 Barkau Knick 8



2018 Barkau Knick 9



2017 Rixdorf KUP 1

## Literatur

Im Projekt entstandene:

- Borcherding, A., 2016: Abschätzung des Holzertrags bei Knicks unter Verwendung digitaler Bildanalyse, Masterarbeit Universität Kiel
- Dittmann S., Thiessen E., Hartung E. (2017) Applicability of different non-invasive methods for tree mass estimation: A review, *Forest Ecology and Management* 398, 208–215.
- Lingner S., Thiessen E., Hartung E. (2018a) UAV-gestützte Erfassung des Holzertrages von Knicks  
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik 278, 151–154
- Lingner S., Müller K., Thiessen E., Hartung E. (2018b) Dry Biomass Estimation of Hedge Banks: Allometric Equation vs. Structure from Motion via Unmanned Aerial Vehicle, *Journal of Forest Science* 64 (4), 149–156
- Lingner S., Thiessen E., Hartung E. (2018c) Aboveground biomass estimation in linear forest objects: 2D- vs. 3D-data, *Journal of Forest Science* 64 (12), 523–532
- Jürgensen, S. 2019: Aschegehalt und Brennwertermittlung von Stieleiche, Hainbuche und Schlehe.  
Bachelorarbeit Universität Kiel

Verwendete:

- Borcherding, A., 2014: Methoden und Geräte zur Ertragserfassung/Ertragsabschätzung bei Knicks und KUP's. Bachelorarbeit Universität Kiel
- Isensee, E., Stübig, D., Lubkowitz, C., 2000: Bergung und Aufbereitung von Knick- und Schwachholz. *Landtechnik—Agricultural Engineering*, 55, 346–347
- Seidel, D., Busch, G., Krause, B., Bade, C., Fessel, C., Kleinn, C., 2015. Quantification of Biomass Production Potentials from Trees Outside Forests—A Case Study from Central Germany. *BioEnergy Research*, 8, 1344–1351
- Uckert, G., 1989: Art- und raumspezifische Ermittlung der Biomasseproduktion von Knicks in Schleswig-Holstein. Diplomarbeit Universität Kiel
- Zianis, D., Muukkonen, P., Mäkipää, R., Mencuccini, M., 2005: Biomass and stem volume equations for tree species in Europe, *Silva Fennica monographs*, 4, 1-63.

## **“Naturschutzbericht”**





# Optimierung der energetischen Nutzung von Knicks

Arbeitsbericht (Dezember 2019) zur  
Kartierung vegetationsstruktureller Merkmale und zur  
Bewertung für Belange des Arten- und Biotopschutzes



Heinrich Reck, Kerrin Müller, Jonas Paul  
im Auftrag des F & E Zentrums der Fachhochschule Kiel GmbH  
Ansprechpartner: Dr. Eiko Thiessen



**Adressen der Autoren:**

PD Dr.-Ing. Heinrich Reck  
Langeskovweg 5  
24222 Schwentinental

Kerrin Müller  
Dahmsdorf 37  
23619 Zarpen

Jonas Paul  
Alte Lübecker Chaussee 7  
24114 Kiel

## Inhalt

<b>Abstract</b> .....	5
<b>Einleitung</b> .....	5
<b>Projektspezifische Eingrenzung der potentiell zu bewertenden, ökologischen Funktionen von linearen Gehölzen</b> .....	6
Funktionen für die Sicherung der Artenvielfalt .....	7
<b>Material und Methoden</b> .....	7
Bewertungsmerkmale.....	11
Merkmale zur Knick- und Heckenbewertung .....	12
Anmerkungen zur Pflege oder Nutzung mit Berücksichtigung des Schutzes streng geschützter Arten sowie besonders geschützter Arten und Biotope .....	16
<b>Die Bewertungsregeln</b> .....	16
Bewertungscluster 1: Gehölzqualität (Arten und Breite).....	17
Der Gehölzartenfaktor .....	18
Gebietsfremde Gehölze.....	19
Der Altersklassenfaktor .....	19
Korrekturfaktor Starkholz (Überhälter).....	20
Faktoren für die Gehölzbreite bzw. die „Zeiligkeit“ .....	21
Korrekturfaktor „Saum“ .....	23
Wertzahleninterpretation .....	23
Bewertungscluster 2: Ökoton- und Saumqualität .....	24
Wertzahlenberechnung.....	25
Weitere Merkmale zur Differenzierung, zur Ensemblebewertung oder für andere Fragestellungen; Bewertungscluster 3 und 4.....	25
Bewertungscluster 3: Dichte und Biotopverbund.....	25
Bewertungscluster 4: Zusatzmerkmale und die Bewertungsfaktoren nach Eigner 1982 .....	26
Bewertungskriterien nach Eigner.....	28
<b>Ergebnisse zum Bewertungscluster 1, Gehölzqualität</b> .....	29
Ergebnisse zum Gehölzartenfaktor: Die Arten der untersuchten Gehölzabschnitte .....	29
Gebietsfremde Gehölze .....	32
Ergebnisse zum Altersklassen- und Starkholzfaktor .....	33
Ergebnisse zur Breite/Zeiligkeit und zum Korrekturfaktor Saum .....	34
Gesamtbewertung zum Bewertungscluster 1, Gehölzqualität: Anwendung der Bewertungsvorschrift auf die Testobjekte .....	35
<b>Ergebnisse zu Bewertungscluster 2, Saumqualität: Anwendung der Bewertungsvorschrift auf die Testobjekte</b> .....	37
<b>Ausblick: Vorläufige Prüfhypothesen</b> .....	38
<b>Quellen</b> .....	39

## Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abb. 1 a (1877) / b (1979): Veranschaulichung von Veränderungen der Knicknetzdicke in Schleswig-Holsteins (Knauer 1986).....	6
Abb. 2, a-d: Verschiedene Darstellungen des Zusammenhangs der Zeiligkeit bzw. der Elementbreite und der Artenvielfalt .....	21
Abb. 3: Zustands-Wertigkeits-Relationen .....	22
Abb. 4: Fehlende Säume Fehlende Säume reduzieren die Bedeutung linearer Gehölze für Belange des Artenschutzes erheblich .....	23
Tab. 1: Segmentweise Aufnahmeparameter .....	8
Tab. 2: Objektweise Aufnahmeparameter .....	10
Tab. 3: Vegetationsstrukturelle Merkmale zur Bewertung von Knicks, Hecken und Verkehrsbegleitgehölzen.....	12
Tab. 4: Gehölzmerkmale und deren Bedeutung für die Biologische Vielfalt.....	17
Tab. 5: Bewertungszahlen für verschiedene Gehölzarten (nach Zwölfer, ergänzt) .....	18
Tab. 6: Beispiel (aus Zwölfer et al. 1984) für die Ermittlung der Punktsomme (= Gehölzartenfaktor) aus Einzelbewertungen.....	19
Tab. 7: Korrekturfaktor für hohe Anteile neophytischer Gehölze .....	19
Tab. 8: Bewertung der Altersklassen.....	20
Tab. 9: Korrekturfaktor Starkholz/Überhälter .....	20
Tab. 10: Faktor Zeiligkeit / Breite.....	22
Tab. 11: Zuordnungsvorschlag für Gesamtwertzahlen zur Gehölzqualität zu einer ordinalen Bewertungsstufe.....	23
Tab. 12: Saummerkmale und zugeordnete Wertfaktoren .....	24
Tab. 13: Zuordnungsvorschlag für die Gesamtwertzahl zur Saumqualität zu einer ordinalen Bewertungsstufe.....	25
Tab. 14: Bewertung der Flächendichte von Hecken.....	26
Tab. 15: Mögliche Zusatzmerkmale zur Bewertung linearer Gehölze .....	27
Tab. 16: Zusammenstellung von Bewertungskriterien und zugehörigen Wertpunkten nach Eigner (1982) .....	28
Tab. 17: Relative Anzahl der Individuen bzw. Sprosse/Stockausschläge der verschiedenen Gehölzarten sowie von stehendem Totholz.....	30
Tab. 18: Resultierende Artenwertpunkte.....	32
Tab. 19: Vorkommen verschiedener Altersklassen und von Starkholz in den untersuchten Objekten sowie resultierende Bewertungsfaktoren.....	33
Tab. 20: Gehölzbreite und Saum.....	34
Tab. 21: Bewertungscluster 1, Gehölzqualität: Anwendung der Bewertungsvorschrift auf die Testobjekte .....	35
Tab. 22: Bewertungscluster 2, Saumqualität: Anwendung der Bewertungsvorschrift auf die Testobjekte .....	37

## Abstract

Im Rahmen der Untersuchungen zum Holzertrag von Knicks wurden jeweils im Winterhalbjahr und vor dem Einschlag 100 m lange Abschnitte von insgesamt 9 Testobjekten vegetationsstrukturell untersucht. Für genauere Analysen wurden die Abschnitte in 10 gleich lange Unterabschnitte geteilt.

Ein Teil der gewonnenen Daten wird für die Analysen zum Energiegehalt der verschiedenen Gehölze verwendet und ein weiterer Teil für deren Bewertung im Hinblick auf ihre Bedeutung für die Sicherung der biologischen Vielfalt<sup>1</sup>. Die ökologischen Grundlagen der Bewertung und die Bewertungsergebnisse werden im vorliegenden Bericht erläutert.

Als operable bewertungsrelevante Merkmale konnten insbesondere die Gehölzartenzusammensetzung, die Gehölzbreite und die Altersstruktur der Gehölze aber auch die Saumqualität genutzt werden. Für eine vergleichend-numerische Bewertung wurden existente Bewertungsvorschläge zusammengeführt und vor dem Hintergrund bekannter Funktionszusammenhänge ergänzt (Zustands-Wertigkeitsrelationen, ordinale Wertzuweisungsvorschriften).

Gleichartige Ergebnisse und Bewertungen stehen von 9 Straßenbegleitgehölzen für eine weiterführende komparative Beurteilung zur Verfügung. Auch einige Merkmale von 3 Kurzumtriebsplantagen können vergleichend betrachtet und bewertet werden. Der Vergleich zeigt erheblich unterschiedliche Qualitäten dieser drei Gehölztypen für den Artenschutz bzw. im Hinblick auf die Sicherung der Biologischen Vielfalt auf.

## Einleitung

Das Institut für Landwirtschaftliche Verfahrenstechnik der CAU entwickelt in Kooperation mit dem F&E Zentrum der Fachhochschule Kiel GmbH ein Verfahren zur Abschätzung der energetisch verwendbaren Biomasse von linearen Gehölzen (Lingner et al. 2018).

In diesem Zusammenhang wurden für ausgewählte Gehölze, detaillierte vegetationsstrukturelle Bestandsaufnahmen inklusive einer Kartierung der Gehölzarten durchgeführt. Die betroffenen Gehölze sollten, auf den vegetationsstrukturellen Daten aufbauend, dabei auch vergleichend im Hinblick auf ihre Bedeutung für die Biologische Vielfalt beurteilt werden („Naturschutzwert“), denn die Nutzung oder Pflege hat ggf. Einfluss auf wertgebende Merkmale (z. B. die Gehölzartenzusammensetzung, die Altersstruktur oder die Formenvielfalt) und diese Merkmale haben vice versa Einfluss auf den Ertrag und die Bewirtschaftbarkeit oder Erntetechnik.

Weil ein differenziertes Bewertungsverfahren nur für süddeutsche Hecken existiert und dieses sowie existente Verfahren für Knicks<sup>2</sup> (aus ihrem Entstehenszusammenhang heraus begründet) bewertungserhebliche Fehlstellen aufweisen, wurden sie zusammengeführt und ergänzt. Das Ergebnis ist im Folgenden dargestellt.

---

<sup>1</sup> Die Details der Aufnahmen liegen dem F & E Zentrum der Fachhochschule Kiel GmbH digital vor

<sup>2</sup> Als Knicks gelten typischerweise Wallhecken, in Schleswig-Holstein werden aber auch Hecken ohne Wall zu den Knicks gezählt (Kappen 1996).

## Projektspezifische Eingrenzung der potentiell zu bewertenden, ökologischen Funktionen von linearen Gehölzen

Lineare Gehölze haben zahlreiche Funktionen für den Naturschutz<sup>3</sup>:

- Sie sind wichtig für das Landschaftsbild und das Naturerlebnis<sup>4</sup>,
- sie sind Schattenspende und Windschutz für Menschen in der freien Feldflur,
- sie sind Verdunstungs- und Erosionsschutz und
- sie sind Puffer und Filter gegenüber emissionsträchtigen Landnutzungen.

Alle diese Funktionen und darauf bezogene wertgebende Eigenschaften werden im Folgenden nicht beachtet oder gegeneinander abgewogen<sup>5</sup>. Auch potentielle Zielkonflikte<sup>6</sup> mit Nutzungen, die durch Beschattung, Wurzelraumkonkurrenz oder durch die potentielle Donorfunktion für Schadorganismen entstehen können, werden hier nicht betrachtet. **Es geht sektoral nur um den Beitrag der Gehölze für die Sicherung der Biologischen Vielfalt in Agrarlandschaften**, wengleich damit oft auch die Donorfunktion für Nützlinge (Bestäuber, Antagonisten von Schadorganismen) oder eine hohe Bedeutung für das Naturerlebnis oder für den Jagdwert positiv verbunden sind und wengleich vieles auch auf forstlich geprägte Landschaften und den Siedlungsbereich übertragen werden kann.

Die linearen Gehölze, das sind v.a. Knicks und Straßenbegleitgrün, bilden in Schleswig-Holstein vielerorts (noch) ein zusammenhängendes Lebensraumnetz. Das Knicknetz in Schleswig-Holstein ist im Kontext mit der Landnutzung vor rund 250 Jahren entstanden (Verkoppelung; siehe z. B. Heydemann & Hansen 2017) und dann wieder stark reduziert worden. Seine Bedeutung für die Biologische Vielfalt ist abhängig von der zwischenliegenden Landnutzung, die sich in diesem Zeitraum extrem verändert hat. Dabei gilt, dass je intensiver oder monotoner Felder und Wälder genutzt werden, umso stärker und qualitativ hochwertiger muss das zwischenliegende Lebensraumnetz werden, wenn die Artenvielfalt bewahrt werden soll.



Abb. 1 a (1877) / b (1979): Veranschaulichung von Veränderungen der Knicknetzichte in Schleswig-Holsteins (Knauer 1986)

siehe auch Abbildungen 2-2 bis 2-5 in Von Stamm & Welters 1996, 18-21.

<sup>3</sup> Darüber hinaus können sie einen hohen kulturhistorischen Wert haben

<sup>4</sup> Sowohl direkt als erlebbares Landschaftselement als auch indirekt als Bedingung für z.B. das Vorkommen von Schmetterlingen, Singvögeln oder Niederwild, die wichtig für das Naturerlebnis sind.

<sup>5</sup> Dies betrifft insbesondere Wallhecken, denn kulturhistorisch wertvolle Knicks mit intaktem Wall liefern nicht automatisch einen gleichartig wertvollen Beitrag zur Erhaltung der biologischen Vielfalt (der Wall kann bei schmalen Knicks verhindern, dass Waldarten den Knick nutzen).

<sup>6</sup> oder Zielkongruenzen wie der knickferne Mehrertrag durch Windschutz, der nach der Zusammenstellung von Schmelz (2001, 113ff) den knicknahen Minderertrag meist deutlich übertrifft.

Während das Knicknetz abnimmt, nimmt die Fläche von Verkehrsbegleitgrün eher zu, wenngleich anders als für Knicks keine anschaulichen Vergleiche zur Veränderung der Dichte von Verkehrsbegleitgrün bekannt sind.

## Funktionen für die Sicherung der Artenvielfalt

Mit Blick auf die Artenvielfalt lassen sich drei Hauptfunktionen von Knicks, Hecken, Feldgehölzen und Verkehrsbegleitgehölzen unterscheiden:

- Die Funktion als Gesamt- oder Teillebensraum\*,
- die Funktion für den (Meta-)Populationsverbund von Arten sowie die Wiederausbreitung und Arealanpassung (Trittsteinbiotop oder Ausbreitungskorridor) und
- die Funktion als potentielle Barriere für Arten des Offenlands, die in Sonderfällen, z.B. an Engstellen des Biotopverbunds, relevant werden kann; vgl. Reck et al. 2018, 22; Reck & Nissen 2014, 2018).

\* Knicks und Hecken bestehen aus Holzgewächsen und sind damit selbstverständlich auch der Lebensraum von Holzgewächsen, aber sie sind genauso auch Lebensraum von Pflanzen der Krautschicht (und zwar von einem sehr weiten Spektrum von Arten des Waldesinnern, der Waldsäume und zudem oft auch von schutzbedürftigen Arten der trockenen Magerrasen, weil das Wurzelwerk der Gehölze zur Wasserverknappung im Saum führt). Hinzu kommen Pilze und Flechten. Tiere, die i.d.R. sehr verschiedene Habitatbausteine nebeneinander benötigen, oder Tiere, die Mehrbiotopbewohner sind und für die Gehölze nur einen Teillebensraum darstellen, haben die komplexesten Anforderungen. Deswegen steht die tierökologische Bedeutung der Gehölze hier im Vordergrund. Die Arten von dickstämmigen (und teilweise geschädigten) Gehölzen sind dabei oft besonders schutzbedürftig (vgl. z. B. Gürlich 2009).

Weil es oft sehr aufwändig sein kann, Tierarten als unmittelbare Wertmerkmale zur erfassen<sup>7</sup>, werden indirekt vegetationsstrukturelle Merkmale, die mit hoher Artenvielfalt und mit Vorkommen schutzbedürftiger Arten korrelieren, zur Bewertung verwendet. **Die wichtigste Arbeit, die solche Korrelationen für mehr als eine Art oder Artengruppe untersuchte, ist vergleichsweise alt und stammt aus Süddeutschland (Zwölfer et al. 1984).** Weil sie bislang nicht integrativ vertieft wurde, werden die dort erzielten Befunde maßgeblich für die nachfolgenden Bewertungsregeln herangezogen. Weitere Quellen sind in diesem Arbeitsbericht nur beispielhaft benannt, soweit sie nicht gezielt zur Ergänzung bzw. für Spezialfragen genutzt wurden. Die Arbeit von Zwölfer et al. fokussiert im Kern auf Merkmale von Gehölzen, die deren Lebensraumqualität für Tiere bestimmen.

## Material und Methoden

Die Testgehölze wurden vor dem Hintergrund potentieller Erfordernisse der energetischen Beurteilung und der naturschutzfachlichen Bewertung jeweils im Winterhalbjahr und vor der Nutzung vegetationsstrukturell kartiert. Kartiert wurde jeweils ein 100 m langer Abschnitt, dessen Biomasse mit Methoden der Fernerkundung (Lingner et al. 2018) geschätzt und nach der Ernte gewogen wurde.

Ein Teil der Merkmale wurde segmentweise, d.h. für 10 jeweils 10 m lange Abschnitte (Segmente) erfasst (Tab. 1) weitere Merkmale für den 100 m langen Gesamtabschnitt insgesamt (Tab. 2).

---

<sup>7</sup> Die Bedeutung von Gehölzbiotopen für Pflanzenartenvorkommen kann demgegenüber effizient auch direkt bestimmt werden. Die Bedeutung schleswig-holsteinischer Knicks für die Sicherung besonders schutzbedürftiger Pflanzen wird jedoch, anders als für Tiere, generell als vglw. gering eingestuft (Schrautzer et al 1996: 226).



Tab. 1: Segmentweise Aufnahmeparameter

Standort	Lage des linearen Gehölzes
Datum und Bearbeiter	
Koordinaten	Eingemessen mit GPS an beiden Enden sowie in der Mitte des 100 m Abschnittes
Gehölzart	Die Gehölzart wird bis auf Artniveau bestimmt; falls dies nicht möglich ist (z.B. aufgrund der nicht möglichen Differenzierung anhand fehlender Blüten, Blätter usw.), bis auf Gattungsniveau (z.B. Rosen, Weiden, Brombeeren). Stehende tote Triebe werden wie lebende behandelt, unter "Gehölzart" wird Totholz vermerkt (falls noch erkennbar, kann die Art zusätzlich notiert werden).
Bestimmung Anzahl der Triebe	Pro Gehölzart; übersichtliche Bestände werden ausgezählt, dichte und unübersichtliche Bestände geschätzt; als Triebe zählen alle gleichberechtigten "Leittriebe" (keine untergeordneten Seitentriebe!), die unter 1,30 m Höhe abzweigen (= Höhe BHD) und mind. 1 m Höhe erreichen
Brusthöhen-durchmesser (BHD)	Gemessen ab 10 cm Durchmesser in ca. 1,30 m Höhe; Messschieber
Durchschnittliche Höhe Gehölzbestand	5 m - Messlatte und Foto, Laserscanner und Schätzung zur Ableitung der effektivsten Methode; bei Böschungen und Knickwällen werden die Höhenunterschiede berücksichtigt.
Heterogenität Höhe Gehölzbestand	Vorhandene Höhenstufen, Schätzwert nach Klassen: 1-2 m, 3-4 m, 5-6 m, 7-10 m, 10-15 m, >15 m
Breite Gehölz (Stämme)	Breite des Gehölzes im Bereich der Stammansätze am Boden; Maßband
Breite Gehölz (Krone)	Breite der Gehölze im Kronenbereich (maximale Ausdehnung); Maßband
Foto	Mind. ein Foto pro Segment
Saum	Sich seitlich an das Gehölz anschließende krautige, in sich homogene Saumbereiche; evtl. Kurzbeschreibung; Lage Saumbereich: Durchnummerieren jeweils vom Gehölzrand nach außen, Angabe der Gehölzseite.
Saumbreite	Pro Saumbereich; Maßband
Saumhöhe	Pro Saumbereich; niedrig (< 30 cm, Rosettenpflanzen, Annuelle, Untergräser), mittel (30-80 cm, Obergräser), hoch (> 80 cm, Hochstauden); falls aufgrund der Jahreszeit nicht mehr gut erkennbar, anhand der Artenzusammensetzung eingeschätzt
Saumqualität	Pro Saumbereich; Einordnung aufgrund geschätzter Pflanzenartenvielfalt, Vorhandensein gefährdeter Arten, Potential für gefährdete Arten/Vegetationstypen (z.B. magere, lückige Bestände): 1 = artenarmer Saum ohne besondere Arten und ohne erkennbares Potential für gefährdete Arten/Vegetationstypen; 2 = entweder artenreich oder mit besonderen Arten oder mit Potential für gefährdete Arten; 3 = artenreicher Saum mit gefährdeten Arten (aufgrund der Jahreszeit können Pflanzenartenreichtum und Vorkommen gefährdeter Arten nur grob abgeschätzt werden).

--	--

Tab. 2: Objektweise Aufnahmeparameter

<i>Exposition</i>	<i>Ausrichtung des Knicks</i>
<i>Steigung/Höhe</i>	<i>Steigung (in % oder 1:n) und Höhe des Knickwalls; in der Mitte des 100 m-Abschnitts; <math>l</math> = Länge, <math>h</math> = Höhe, <math>\% = h \cdot 100 / l</math>, <math>n = l/h</math>.</i>
<i>Lage/Breite</i>	<i>Breite des Knickwalls; in der Mitte des 100 m-Abschnitts gemessen</i>
<i>Höhe Stubben</i>	<i>Höhe evtl. aus früheren Pflegemaßnahmen vorhandener Stubben; bis zu 10 typische Stubben werden ausgemessen; Zollstock</i>
<i>Durchmesser Stubben</i>	<i>Durchmesser evtl. aus früheren Pflegemaßnahmen vorhandener Stubben; bis zu 10 typische Stubben werden ausgemessen; Zollstock oder Messschieber</i>
<i>Hinweis Geräte</i>	<i>Hinweise auf verwendete Geräte beim "Auf-den-Stock-Setzen": glatte Schnittflächen, gesprungene Stubben usw. werden notiert und interpretiert</i>
<i>Hinweis Zeitpunkt letzte Pflege</i>	<i>Geschätztes Alter des Wiederausschlags; Zustand der verbleibenden Stubben usw.</i>
<i>Seitlicher Rückschnitt</i>	<i>Ist seitlicher Rückschnitt der Gehölze erkennbar? Ggf. Hinweis auf Stärke der Pflegemaßnahme</i>
<i>Pflegbarkeit</i>	<i>Beschreibung insbesondere der Zugänglichkeit (Zufahrtswege usw.) und des Mikroreliefs der Fläche (eben, leichte Unebenheiten, stark relieffiert) (weitere Faktoren wie Breite, Hangneigung, bei der Pflege hinderliche Sonderstrukturen usw. werden ebenfalls erfasst)</i>
<i>Anmerkungen</i>	<i>Weitere Anmerkungen zu früheren Pflegemaßnahmen (z.B. Beschränkung auf Teilbereiche des Gehölzbestandes)</i>
<i>Bonsaiformen</i>	<i>Nominal, falls nur sehr lokal (1-3 Segmente): Angabe der Segmente</i>
<i>Verbisskante</i>	<i>= Browsing line; vorhanden oder nicht vorhanden, falls nur sehr lokal (1-3 Segmente): Angabe der Segmente</i>
<i>Krankheiten/ Parasitenbefall</i>	<i>Auffällige Krankheitsbilder/Parasitenbefall (z.B. auch größere Vorkommen Baumpilze und Halbparasiten wie Misteln) vorhanden oder nicht vorhanden; Kurzbeschreibung und betroffene Gehölzarten; falls nur sehr lokal (1-3 Segmente): Angabe der Segmente</i>
<i>Zeiligkeit</i>	<i>Als Ergänzung zur Breite des Gehölzbestandes; durchschnittliche Anzahl der Gehölzreihen</i>
<i>Vorhandene Altersklassen</i>	<i>Altersklasse (&lt; 5, 6-10, 11-20, 21-50, &lt; 50 Jahre) im Gehölzbestand vorhanden oder nicht</i>
<i>Randlinie</i>	<i>Anteil des geraden, leicht geschwungenen und stark geschwungenen Gehölzrandes (Verzahnung mit angrenzendem Saum/angrenzender Nutzung) bzw. des nicht, einfach und mehrfach gestuften Gehölzrandes (vertikal)</i>

<i>Habitatbäume</i>	<i>Anzahl der Habitatbäume pro 100 m; falls nur sehr lokal (1-3 Segmente): Angabe der Segmente. Als Habitatbäume zählen alle lebenden Bäume mit auffälligen Zwieseln, Mulmtaschen, Faulstellen, abfallender Rinde, Starkastaurissen und Teilkronenabbrüchen, abgestorbenen Starkästen, Blitzrinnen, starkem Flechten- oder Pilzbewuchs und bizarren Formen ab BHD &gt; 35 cm sowie alle Höhlenbäume und Bäume mit Horsten von Großvögeln. Außerdem Starkholz (Buche, Eiche, Pappel ab &gt; 60 cm BHD, andere ab &gt; 45 cm BHD) (leicht verändert nach: Habitatbaum- und Totholzkonzept Thüringen).</i>
<i>Überhälter</i>	<i>Anzahl der Überhälter pro 100 m; falls nur sehr lokal (1-3 Segmente): Angabe der Segmente. Als Überhälter zählen alle Bäume mit einem Stammdurchmesser von &gt; 30 cm in 1,30 m Höhe, die den restlichen Bestand deutlich überragen (Definition laut Biotopverordnung: mind. 1 m Umfang in 1 m Höhe (entspricht 31,8 cm ø))</i>
<i>Weitere Sonderstrukturen</i>	<i>Anzahl weiterer Sonderstrukturen pro 100 m: Steine/Steinhaufen, größere Stubben (&gt; 50 cm Durchmesser), Reisighaufen, liegendes Totholz (Stämme oder starke Äste ab 10 cm Durchmesser und 1 m Länge) und sonstige Strukturen</i>
<i>Zauntyp</i>	<i>Grobe Klassifizierung: Kein Zaun, für Nutztiere dichter Zaun (Weidezäune), für größere Wildtiere dichter Zaun (Wildschutzzaun)</i>
<i>Sonst. Barrieren Tiere</i>	<i>Z .B. stark befahrene Straße usw.</i>
<i>Angrenzende Nutzung</i>	<i>Nutzung der an den Knick angrenzenden Flächen</i>
<i>Anteil Offenboden</i>	<i>Schätzung des Offenbodenanteils im Saumbereich (ohne Bankett) und im Gehölzbereich in Deckungsprozent: &lt;1 %, 1-2 %, 3-5 %, 5-15 %, 15-25 %, 25-50 %, 50-75 %, 75-100 %.</i>

Alle erhobenen Daten wurden dem Auftraggeber elektronisch übermittelt. Im Ergebniskapitel des vorliegenden Berichts sind nur die für die Bewertung verwendeten Daten synoptisch für die untersuchten Elemente dargestellt.

## Bewertungsmerkmale

Die Funktionen linearer Gehölze für die Sicherung der Artenvielfalt werden von der jeweiligen Struktur(-vielfalt), inklusive der Ausprägung des Gehölzsaums, von der Lage der Gehölze zueinander und zu komplementären Ausgleichsbiotopen und von der raumzeitlichen Entwicklung (d.h. im Wesentlichen vom Pflege- oder Nutzungsregime) beeinflusst und sie sind unmittelbar durch die Art der ursprünglichen Anlage und der verwendeten Substrate geprägt.

Auch die Nutzung benachbarter Flächen und allfällige Immissionen bestimmen die Lebensraumqualität. Weil darauf im Rahmen der Gehölzbewirtschaftung und Gestaltung aber nicht unmittelbar Einfluss genommen werden kann, wird dies bei der folgenden Gehölzbewertung nicht weiter betrachtet. Die Bewertungsmerkmale bzw. die Sicherung und Förderung wertgebender Eigenschaften sollten wiederum Konsequenzen für die Anlage, die Pflege, die Nutzung und die Nutzbarkeit der Gehölze haben: Wertgebende Eigenschaften sollten gefördert werden.

## Merkmale zur Knick- und Heckenbewertung

Bekanntermaßen relevante Merkmale der Lebensraumqualität und der Verbund- bzw. Barrierequalität von linearen Gehölzen sind in Tab. 3 aufgeführt.

Tab. 3: Vegetationsstrukturelle Merkmale zur Bewertung von Knicks, Hecken und Verkehrsbegleitgehölzen

Legenden zu den Spalten A-G (Eigenschaften, projektspezifische Gewichtung)

- A:** + = schnell kartier- oder ermittelbar; e = als (nicht reproduzierbare) Experteneinschätzung schnell kartierbar (sonst -); - = hoher Aufwand oder nur zu bestimmten Jahreszeiten erfassbar
- E:** + = eindeutiger, nicht ambivalenter Bewertungszusammenhang; - = wenig eindeutiger Bewertungszusammenhang oder (nach bisheriger Quellenlage) schlecht mit dem Vorkommen typischer Gehölz- und Gehölzrandarten korrelierbar
- D:** + = gut durch die unmittelbare Pflege und Nutzung beeinflussbar (weniger abhängig von der Topologie sonstiger Biotope)
- Bv:** + = Bewertbarkeit auf Basis der Daten des Vorhabens möglich; - = Daten des Vorhabens sind unzureichend
- G** resultierende Gewichtung +++ = gut bewertbares Merkmal, Wirkungszusammenhänge quantifiziert und hoher, nicht über andere Merkmale interpretierbarer Erklärungsgehalt, ++ = hohe Bewertungsrelevanz, qualitativer Wirkungszusammenhang gut untersucht, + = Wirkungszusammenhänge sind bisher nicht quantifizierbar untersucht; Bemerkungen 1-n, a-v siehe Tabellenende

Merkmale für die Lebensraumqualität	Eigenschaften				G	Quellen <sup>8</sup> (nur beispielhaft)	Kurz-Erläuterung des Bewertungszusammenhangs
	A	E	D	Bv			
<b>Gehölze</b>							
Gehölzarten zusammensetzung und -vielfalt	+	+	+	+	+++ 1	Zwölfer et al. 1984, Ehlers 2011/'12	Starke Korrelationen mit der Artenvielfalt und/oder mit Vorkommen von Blüten oder Früchte fressenden Arten (ausgenommen sind die meisten der neu eingebürgerte Gehölzarten).
Altersklassenzusammensetzung	e	+	+	+	+++ 2	Zwölfer et al. 1984	Starke Korrelationen mit der Artenvielfalt.
Breite / Zeiligkeit / Verzweigungen	+	+	+	+	+++ 3	Spreier 1982, Puchstein 1980, Glück & Kreisel 1986, Strein et al. 2019, Theves 2013	Starke (vermutlich sigmoidale) Korrelation mit der Artenvielfalt und der Bedeutung für den Verbund von Waldartenvorkommen.
Formenvielfalt <sup>9</sup> I (Aufsicht): Einbuchtungen, Lücken, Überhänge	e	-	+	±	a	Reck et al. 2018	Überwiegend Vermutungen und Analogieschlüsse: Positive Wirkung höherer Grenzlinienlängen und höherer Vielfalt an Mikroklimata (bzgl. Exposition, Windgeschwindigkeit); Überhängende Gebüsche fördern z.B. die Deckung für Rebhühner, seitlich eingekürzte Gebüsche die Stabilität von z.B. Neuntöternestern; (kleinere) Lücken sind wichtig für die Vermeidung von Barrierewirkungen an Engstellen des Biotopverbunds.
Formenvielfalt II (Längsprofil): Vertikale Schichtung	e	-	+	±	ab	Kaule 1991	
Formenvielfalt III (Querprofile)	e	-	+	±	b	Glänzer & Buchmann (1987), Glück & Kreisel (1986)	

<sup>8</sup> Integrative, d.h. zahlreiche Arten und Aspekte betrachtende Quellen sind Zwölfer et al. (1984), Eigner (1982), Kaule (1991).

<sup>9</sup> Heterogenität

Merkmale für die Lebensraumqualität	Eigenschaften				G	Quellen <sup>8</sup> (nur beispielhaft)	Kurz-Erläuterung des Bewertungszusammenhangs
	A	E	D	Bv			
Bodenrelief / Wallform (Wall <sup>10</sup> )	e	-	+	-	a	Eigner (1982), Reck et al. (2018)	Analogieschlüsse / Vermutungen: Positive Wirkung höherer Standortvielfalt bei mäßiger Reliefvielfalt, aber: Wälle sind ambivalent in Bezug auf die Bewertung, weil sie bei schmalen Knicks verhindern, dass sich auch nur annähernd ein Waldinnenklima ausbildet.
Alt-, Tot-, u. Starkholz, Habitatbäume (Überhälter, Sonderformen inkl. Wuchs- und Verbissformenvielfalt)	+	+	+	+	++ 3	Eigner (1982), Kaule (1991), Gürlich (2009)	Analogieschlüsse (Alt-, Tot-, u. Starkholz, Baumhöhlen, rissige, großflächige Borke etc. sind Mangelhabitate und fördern sowohl die Tierarten- als auch die Epiphytendichte; moderater Verbiss durch Großherbivore sowie Verbissformen fördern phytophage Insekten und andere Kleintiere und die Neststabilität).
Gehölzdichte, Kronenschluss	e	±	+	-	c	Eigner (1982), Spreier (1982), Reck et al. (2018), Strein et al. (2019)	Erforderlich für Waldarten wie z. B. stenotope Waldlaufkäfer (in Bezug auch auf weitere Anspruchstypen: Eingipflige, stark rechts-verschobene Optimumkurve; d.h. vereinzelte Lücken wirken positiv).
Ökotonvielfalt; <u>hier</u> : Vorhandensein eines Saums	+	+	+	+	+++ 4	(Eigner 1982), Bock et al. (1996: S. 47), Reck et al. (2018)	Ökotope sind sowohl eigenständige Habitate als auch Bestandteil von Lebensräumen von Mehrbiotopbewohnern. <sup>11</sup>
<b>Saum u. Krautschicht</b>							
Saumbreite	+	+	+	+	+++ 5	Grajetzki in lit., Laußmann (1998), Barthel (1997), Link (1996), Link & Harrach (1998), Zinner et al. (in Vorb./2019)	Positive Korrelationen mit der Artenvielfalt oder auch mit dem Bruterfolg von Bodenbrütern (Sigmoidalfunktionen)
Pflanzenartenvielfalt in der Krautschicht (v.a. im Saum) sowie Saumtypenvielfalt	e	+	±	-	+++ 6a,v	Kaule (1991), Zinner et al. (in Vorb./2019)	Life-History-traits monophager Arten, positive Korrelationen mit der Vielfalt von Phytophagen und Pollinatoren und den Arten der darauf aufbauenden Nahrungskette.
Vegetationsdichte	-	±	±	-	f	Reck et al. (2018)	Vielfältige Wechsel und lichte Bereiche sind förderlich (z.B. für Arten, die in sich in dichter Vegetation aufhalten und dort fressen aber in lichter Vegetation ihre Eiablageplätze haben).
Anteil offenen Bodens im Saum	e	±	±	+	a	Reck et al. (2018)	Eingipflige links-verschobene Optimumkurve (Analogieschlüsse aus Ansprüchen von Zielarten).

<sup>10</sup> Der Wall als kulturhistorisches Merkmal wird hier nicht gewertet.

<sup>11</sup> Hier bewertbar sind: Gehölz vs Saum vs Acker/Grünland, weil dies unmittelbar durch die Nutzung des Einzelelements beeinflussbar ist, während die Art und Anzahl weiterer Ökotope (z.B. Gehölz vs Röhricht, Saum vs Gewässer etc. von der Lage in der Landschaft abhängig sind).



Merkmale für die Lebensraumqualität	Eigenschaften				G	Quellen <sup>8</sup> (nur beispielhaft)	Kurz-Erläuterung des Bewertungszusammenhangs
	A	E	D	Bv			
Standorteigenschaften (Nährstoffe, Wasserhaushalt)	-	+	-	-	d	Kaule (1991), Ellenberg (1993), Auswertung RL	Alle Sonderstandorte sind besonders schützenswert, wenig mit Nährstoffen belastete oder oligotrophe Standorte sind inzwischen sehr selten geworden.
Magerkeitszeiger	-	+	-	-	d	Kaule (1991)	Analogieschüsse; Magerstandorte und wenig eutrophe bzw. nicht hypertrophe Standorte sind mittlerweile Mangelstandorte.
<b>Vorhandensein sonstiger Elemente</b>							
z.B. Steinhäufen, liegendes Totholz, Reisighaufen, ...	+	±	+	±	a	Kaule (1991)	i.d.R. vielfaltsfördernd
<b>Zäunungen</b>	+	-	+	-	a	Reck et al. (2018)	i.d.R. vielfaltsmindernd
<b>Topologie</b>							
Elementdichte und -länge (hier: Hecken- bzw. Knickdichte und -länge)	±	+	-	-	e	Zwölfer et al. (1984), (Elementfläche: Glück & Kreisel 1986), Spreier (1992), Theves (2013)	Isolierte Einzelgehölze sind relativ artenärmer und bei isolierten Elementen ist eine (unbekannte und von der Breite abhängige) Mindestlänge erforderlich, um für Populationen ausbreitungsschwacher Arten der Makrofauna mehrjährig eine ausreichend Überlebenswahrscheinlichkeit zu bieten.
Element-Abstände (hier: Hecken/ Knick-Gehölzabstand)	±	±	±	-	e	Strein et al. (2019), Nissen & Reck (2018), Spreier (1982) (z. B. < 100-200 m), Hänel (2007)	Die Auftreffwahrscheinlichkeit verringert sich mit zunehmendem Abstand zwischen Donor- und Akzeptorfläche.
Relativer Abstand in Abhängigkeit von Spiegelfronten	±	-	-	-	e	Joos (2006), Rietze & Reck (1997)	Die Auftreffwahrscheinlichkeit erhöht sich mit zunehmender Länge der Spiegelfronten <sup>12</sup> zwischen Donor- bzw. Akzeptorflächen.
Lage in realisierten oder geplanten Verbundsystemen, Lage zwischen Komplementärbiotopen	+	-	-	-	e	Eigner (1982) Strein et al. (in Vorb./2019))	Vermutungen; Fachplanungen, Planungen der Gebietskörperschaften (neben der wechselseitigen Erreichbarkeit spielt hier auch die Bedeutung als Trittsteinbiotop eine wichtige Rolle)
<b>Alter bzw. historische Kontinuität</b>	+	±	-	-	f	Kaule 1991, Spreier 1982, Schulz & Büchner 2018, Theves 2013, Assmann 1999	Mit zunehmender Lebensraumkontinuität erhöht sich die Zahl biotoptypischer Arten und die Evenness dieser Arten
<b>Tier- und Pflanzenvorkommen</b>							

<sup>12</sup> Spiegelfronten = sich gegenüberliegende Grenzlinien einander ähnlicher Lebensräume, vgl. Reck et al. 2018, Abb. 55, 56

Merkmale für die Lebensraumqualität	Eigenschaften				G	Quellen <sup>8</sup> (nur beispielhaft)	Kurz-Erläuterung des Bewertungszusammenhangs
	A	E	D	Bv			
Kleinsäuger, Brutvögel, Reptilien, Laufkäfer, Tagfalter, Heuschrecken, ...	- bis --	++	+	-	f	Kaule 1991, Reck & Kaule 1994	Die Zusammensetzung und Vollständigkeit repräsentativer Taxozönosen und die Vorkommen und Populationsdichte gefährdeter oder seltener Arten sowie von Arten, für die im Bezugsraum eine besonders hohe Schutzverantwortung besteht, sind, sofern ermittelt, das wichtigste und ein unmittelbares Bewertungsmerkmal <sup>13</sup> , aber dieses ist, insbesondere für Tiere, verlässlich nur aufwändig zu ermitteln (notwendig für z.B. Eingriffsplanungen, nicht aber für eine vergleichende Kurzbewertung). Nur wenn landschaftstypisch-repräsentative und einfach kartierbare Ziel- und Zeigerarten identifiziert sind (vgl. ZAK o. D.), sind Tierartenkartierungen auch für eine Kurzbewertung effizient einsetzbar.
(Potentielle) Vorkommen streng geschützter Arten	e	±	±	-	f	§ 44 BNatSchG, s.a. Bernotat & Dierschke (2016)	Für streng geschützte Arten gilt sowohl ein Tötungsverbot als auch ein unbedingter Schutz jeweiliger Populationen. Dieses muss bei der Pflege beachtet werden. Eine Ausnahme bspw. bei der Einhaltung einer guten fachlichen Praxis bei der Gehölznutzung ist (noch) nicht legal.

- 1-n Zur Wertbildung verwendet, 6a: Wert liegt nur als Schätzung, nicht als Artenliste vor.
- a Daten liegen vor, können aber die Zuordnung zu einer Werteklasse nicht entscheidend verändern, sie sind allenfalls zu einer Feinordination nutzbar.
- b Merkmale sind durch andere Parameter repräsentiert bzw. stark mit diesen korreliert.
- c Information ist aus Bestandsdaten ableitbar, es liegen aber keine bewertungsrelevanten Unterschiede zwischen den untersuchten Gehölzen vor.
- d Wäre aus einer Artenbestandsaufnahme (Arten der Krautschicht) ableitbar; die untersuchten Säume sind jedoch alle nitrophytisch und deshalb ergibt sich in Bezug auf die im Vorhaben untersuchten Elemente keine Differenzierung.
- e Bewertungen im Landschaftsmaßstab waren nicht beabsichtigt (Bewertung ist bezogen auf für 100 m lange Teilabschnitte).
- f Daten nicht vorhanden
- v Die untersuchten Säume sind, soweit erkennbar, alle verarmt.

<sup>13</sup> Auch weil solche Vorkommen nicht nur von der aktuellen Lebensraumqualität bestimmt werden, sondern zusätzlich von der nicht unmittelbar erkennbaren Landschaftshistorie. Mancherorts sind trotz aktuell ungünstiger Umweltbedingungen noch hochwertige Reliktorkommen erhalten, die gesichert und entwickelt werden müssen – anders als für die Bewertung der Lebensraumeignung sind deshalb für die Bewertung potentiell negativ wirkender Landschaftsveränderungen bei der Eingriffsbewältigung repräsentative Artenkartierungen unverzichtbar (Vorschläge zu Standard-Indikatoren finden sich bei Plachter et al. 2002, Reck 1992, Stickroth et al. 2003).

## Anmerkungen zur Pflege oder Nutzung mit Berücksichtigung des Schutzes streng geschützter Arten sowie besonders geschützter Arten und Biotope

Zur Gehölzpflege gibt es neben dem so genannten Knickerlass Schleswig-Holsteins verschiedene Leitfäden und Empfehlungen (z.B. Schulz 2015, Unterseher 2015, Werner 2014, Reck & Müller 2017); diese sollen dazu beitragen, dass wertgebende Eigenschaften entwickelt und/oder erhalten werden. Darüber hinaus ist es, wie bereits angemerkt, verboten, die Lebensräume streng geschützter Arten erheblich zu beeinträchtigen und das Tötungsverbot für streng geschützte Arten ist ebenfalls zu beachten. Insofern muss vor jeder Nutzung geklärt werden, ob Verbotstatbestände erfüllt sein könnten. Eine Definition einer guten fachlichen Praxis für die Anlage und Pflege von Gehölzen, deren Einhaltung mit einer Befreiung von Verboten nach § 44 BNatSchG verbunden ist, weil sie dazu führt, dass wertgebende Arten und Merkmale erhalten werden, wäre in diesem Zusammenhang hilfreich und erforderlich ist aber derzeit nicht existent. Zu einer guten fachlichen Praxis gehören u.a.:

- Die streifenparallele Nutzung oder eine Nutzung in kurzen Abschnitten bei geringer Knick- bzw. Heckendichte (nur bei hoher Dichte von gehölzreichen Begleitbiotopen sind auch lange Pflegeabschnitte möglich). Eine derartig abgestufte Nutzung ist besonders wichtig für die Vermeidung von Habitatverlusten von streng geschützten Arten wie der Haselmaus,
- Das Nachsäen oder -pflanzen von standortheimischen Arten,
- Die Entwicklung oder Erhaltung von Säumen (dies ist entscheidend für die Artenvielfalt und für z.B. blütenbesuchende Insekten, aber Säume sind auch wichtiger Nahrungs- und Überwinterungsraum der Haselmaus; die streng geschützte Zauneidechse braucht ebenfalls Rückzugsräume bei der Nutzung). Auch für Säume gilt, dass auf eine streifenparallele oder abschnittsweise Nutzung geachtet wird. Je weniger Elemente in einem Raum vorhanden sind (je geringer die Lebensraumredundanz), umso größer wird die Sorgfaltspflicht.

## Die Bewertungsregeln

Weil Autokorrelationen bestehen und aufgrund des besonderen Gewichts einiger der unten dargestellten Merkmale lässt sich die Vielzahl bewertungsrelevanter Merkmale für eine vergleichende, ordinal skalierte Bewertung von Gehölzen auf wenige Kernmerkmale eingrenzen. Diese sind Bestandteil der im Folgenden dargestellten (an Zwölfer et al. 1984 orientierten) Bewertungsregeln.

Grundsätzlich können 4 Bewertungscluster unterschieden werden:

- (1) Die Gehölzqualität,
- (2) Die Ökoton- und Saumqualität,
- (3) Die Dichte bzw. die Integration in den Biotopverbund und
- (4) Die Ausprägung weiterer Zusatzmerkmale.

Für die vergleichende Bewertung der im Projekt ausgewählten Gehölzabschnitte werden die Cluster (1) und (2) genauer beschrieben und für die vergleichende Bewertung herangezogen. Ob eine weitergehende Differenzierung einer Bewertung, insbesondere durch die im Bewertungscluster (4) vorgestellten Zusatzmerkmale im Rahmen einer numerisch-kardinalen Wertzahlermittlung entscheidungserhebliche Ergebnisse zeitigen kann, ist fraglich und derzeit nicht klärbar, weil Zustand-Wertigkeitsuntersuchungen diesbezüglich nicht vorhanden sind.

## Bewertungscluster 1: Gehölzqualität (Arten und Breite)

Die Gehölzqualität wird aus 4 Hauptfaktoren

1. „Gehölzarten“,
2. „Altersklassenverteilung“,
3. „Starkholzvorkommen“ und
4. „Breite/Zeiligkeit“

ermittelt und ggf. korrigiert (1a), wenn neophytische Gehölzarten dominieren oder wenn bei angrenzender Intensiv-Nutzung kein nennenswerter Saum ausgebildet ist.

Hinzu kommen 2 weitere Korrekturfaktoren: Positiv wirkt sich eine hohe Anzahl von Starkhölzern aus, negativ das Fehlen nennenswerter Säume.

Tab. 4: Gehölzmerkmale und deren Bedeutung für die Biologische Vielfalt

<b>Nr.</b>	<b>Faktor</b>	<b>Bewertungs- bzw. Wirkungszusammenhang</b>
1	Gehölzartenfaktor (adaptiert nach Zwölfer et al. 1984)	Die Anzahl standortheimischer Gehölzarten ist positiv mit der Tierartenvielfalt korreliert. Einige Gehölzarten sind dabei besonders artenreich und z.T. überproportional von gefährdeten Arten besiedelt; diese Gehölzarten werden stärker gewichtet als andere.
1a	Gebietsfremde Gehölze	Gebietsfremde Gehölze werden i.d.R. nur von wenigen Tierarten genutzt. Wenn Gehölze dominieren, die in Mitteleuropa nicht heimisch sind, verarmen die Lebensgemeinschaften.
2	Altersklassenfaktor <sup>14</sup> (nach Zwölfer et al. 1984)	Ebenfalls positiv mit der Altersklassenvielfalt verbunden ist die Artenvielfalt gehölzbewohnender Tiere, Flechten, Moose und weiterer Epiphyten. Besonders günstig ist es, wenn verschiedene Altersklassen gleichzeitig in einem Gehölz vorkommen.
3	Starkholz und Habitatbäume bzw. Überhälter	Starkholz und starkes Totholz sind essentieller Lebensraum für zahlreiche und insbesondere für gefährdete Tierarten. Eine hohe Dichte von so genannten (und für Schleswig-Holstein typischen) Überhältern erhöht die Bedeutung von Gehölzgruppen für die Sicherung der Biologische Vielfalt erheblich.
4	Gehölzbreite / Zeiligkeit	In breiten, mehrzeiligen Hecken, Knicks oder Reddern erhöht sich die Artenvielfalt, aber auch die Individuendichte vieler Arten überproportional und ein feucht-humides Innenklima, in dem auch Dunkelwaldarten leben und wandern, stellt sich erst ab 3-5 Gehölzzeilen ein.
5	Korrekturfaktor Saum	Säume sind für viele Tierarten ein essentieller Teillebensraum (sofern nicht artenreiche Heide-, Grünland-, Hochstauden- oder Brachebiotop u. dergl. angrenzen). Entscheidend ist die Saumqualität (siehe Bewertungscluster 2). Hier wird lediglich bewertet, ob ein Mindestsaum vorhanden ist (d.h. mindestens 1-seitig ein Saum von $\geq 1,5$ m). <sup>15</sup>

<sup>14</sup> Dieser korreliert stark mit der Formenvielfalt (insbesondere FII in Tab. 3); wegen dieser Wechselwirkungen und weil die Formenvielfalt in den ausgewählten Beispielgehölzen nicht auffällig verschieden war, wird sie bei der vergleichenden Bewertung nicht weiter berücksichtigt.

<sup>15</sup> Degner (2017) teilt mit, dass 55 % von 242 begutachteten Knicks noch nicht einmal einen Saum von 0,5 m Breite aufweisen und dass bei 79 % weniger als 1 m Mindestabstand beim seitlichen Rückschnitt eingehalten wird.

Das Produkt aus den genannten Faktoren ergibt die Wertzahl für die jeweilige Gehölzqualität. Diese wird dann in Anlehnung an Zwölfer et al. (1984) verschiedenen Wertstufen zugeordnet.

**Die Gesamtwertzahl für die Gehölzqualität** ergibt sich aus der folgenden Berechnungsvorschrift:

- **Wertzahl für Gehölzqualität** = Gehölzartenfaktor \* Korrekturfaktor f. Neophyten \* (Altersklassenfaktor + Starkholzkorrektur) \* Gehölzbreitenfaktor
- **Gesamtwertzahl** = Wertzahl für die Gehölzqualität \* Korrekturfaktor für ggf. fehlenden Saum

### Der Gehölzartenfaktor

Der Gehölzartenfaktor ergibt sich aus der Summe gehölzartenspezifischer Bewertungszahlen entsprechend der von Zwölfer et al. (1984) geschätzten Bedeutung dieser Gehölzarten für Arthropoden. Hinzugefügt werden Bewertungspunkte für heimische Eichenarten, denn Eichen sind typische Gehölze in norddeutschen Knicks und werden nach Heydemann (1984) oder Mordhorst & Rudolphi (2009) bzw. Schmidt (1999)<sup>16</sup> von besonders vielen Tierarten genutzt. Weitere nicht aufgeführte mitteleuropäische Gehölze könnten entsprechend ihrer Verwandtschaft zu den aufgelisteten Arten bewertet werden. Die Bewertungszahl neophytischer Arten ist 0.

Tab. 5: Bewertungszahlen für verschiedene Gehölzarten (nach Zwölfer, ergänzt)

Gehölzart	Punkte	Gehölzart (Fortsetzung)	Punkte
<i>Crataegus spp.</i>	3	<i>Rubus spp.</i>	1
<i>Prunus spinosa</i>	3	<i>Acer campestre</i>	1
<i>Rosa spp.</i>	3	<i>Sorbus aucuparia</i>	1
<i>Quercus spp.</i>	3	Ein bis fünf weitere standortheimische Gehölzarten, je	0,5
<i>Salix caprea</i> / <i>Salix spp.</i>	2	Jede zusätzliche standortheimische Gehölzart je	0,2
<i>Corylus avellana</i>	2	Neophyten	0

Aus der Einzelbewertung ergibt sich der Gehölzartenfaktor als Punktsumme (Beispiel in Tab. 6). Um Arten wie der Haselmaus eine nachhaltige Nahrungsgrundlage anzubieten, ist ein wichtiges Ziel, dass sich Gehölze möglichst aus mehr als 10 Gehölzarten zusammensetzen sollten.

<sup>16</sup> Nach Schmidt sind mit der Eiche (*Quercus spec.*) etwa 850 Arten assoziiert, gefolgt von der Buche mit immerhin noch 650 Arten

Tab. 6: Beispiel (aus Zwölfer et al. 1984) für die Ermittlung der Punktsumme (= Gehölzartenfaktor) aus Einzelbewertungen

Gehölzart	Einzel-Bewertung	Punktsumme
Weißdorn	3	3
Schlehe	3	6
Hasel	2	8
Brombeere	1	9
Feldahorn	1	10
5 weitere Gehölzarten	5 x 0,5	12,5
2 zusätzl. Gehölzarten	2 x 0,2	12,9

Hecke mit 12 Gehölzarten, Gesamtindex  
(= Gehölzartenfaktor) = 12,9.

### Gebietsfremde Gehölze

Dominieren neophytische oder invasive Gehölzarten (diese sind meist nur für wenige Tierarten nutzbar), dann wird der Wert des Gehölzartenfaktors nach den folgenden Annahmen korrigiert: Bei einem Anteil von mehr als 15 % um den Faktor 0,8; bei mehr als 30 % um den Faktor 0,6; bei mehr als 45 % um den Faktor 0,4 und bei mehr als 60 % um den Faktor 0,2. Die Faktoren entsprechen in etwa dem Flächenverlust, den standortheimische Arten mit höherer Bedeutung für Tierarten erfahren; weitergehende Untersuchungen zu den Faktoren liegen nicht vor.

Tab. 7: Korrekturfaktor für hohe Anteile neophytischer Gehölze

Anteil neophytischer oder invasiver Gehölze	0 - 5 %	6 - 15 %	16 - 30 %	31 - 45 %	46 - 60 %	61 - 80 %	≥ 81 %
Korrekturfaktor	1	0,8	0,6	0,4	0,2	0,1	0,05

### Der Altersklassenfaktor

Wenn der Altersklassenfaktor unverändert nach Zwölfer et al. (1984, Tab. 8) verwendet wird, kann dies das Bewertungsergebnis insbesondere in Bezug auf Knicks bzw. auf die Bewertung von Stockaus schlägen verzerren. Wird ein Gehölz komplett zeitgleich auf den Stock gesetzt, würde es demnach erheblich entwertet. Entweder sollen Gehölze deshalb streifenparallel oder, alternativ, abschnittsweise auf den Stock gesetzt werden (vgl. 50m-Regel fürs Straßenbegleitgrün, Reck & Müller 2018). Knicks und Feldhecken müssen oft schlagweise (dann aber alternierend mit den Nachbargehölzen!) gepflegt werden. Im letzteren Fall könnte der Altersklassenfaktor auf mehrere „zusammenhängende“ Gehölze angewandt werden. Voraussetzung ist, dass innerhalb eines Landschaftsausschnitts bei dichtem Bestand mehrere Hecken bzw. Knicks verschiedener Altersklassen vorkommen, die nicht weiter als 100 m voneinander entfernt liegen und die auch sonst nicht durch erhebliche Barrieren, wie z. B. Fernstraßen, voneinander isoliert sind. Es gibt bislang noch keine Untersuchungen darüber, wo der Schwellenwert für Artenverluste bei alternierender Nutzung und geringer Heckendichte liegt. Hier wird (bei stark dynamischer Qualität von Einzelhecken/-knicks) für stabile Artenbestände eine notwendige Mindestdichte von 50 m Hecke/ha postuliert.



Tab. 8: Bewertung der Altersklassen

<b>Nach Zwölfer et al. (1984) im Einzelgehölz</b>	<b>Altersspanne der einzelnen Gehölze</b>	<b>Altersklassenfaktor</b>
I, II, III, IV	unter 6 bis über 20 Jahre	2
I, II, III	unter 6 bis über 10 Jahre	1
III, IV	über 10 bis über 20 Jahre	1
I, II	unter 6 bis zu 10 Jahre	0,5
I	unter 6 Jahre	0,25
<i>Ergänzt um die Berücksichtigung von Überhältern und mächtigen Stubben</i>	<i>Alternativ: Bezogen auf untereinander nahe gelegene Gehölze (R ≤ 100m)</i>	
<i>I, IV, bei &gt; 2 Überhältern/90m)</i>		1
<i>II, IV, bei &gt; 2 Überhältern/90m)</i>		1
<i>I, mächtige Stubben</i>		1
<i>II, mächtige Stubben</i>		1
<i>Legende: I = 1-5 Jahre, II = 6-10 Jahre, III = 11-20 Jahre, IV = 21-50 Jahre, V = über 50 Jahre</i>		

#### Korrekturfaktor Starkholz (Überhälter)

Überhälter bzw. Starkholz und Habitatbäume gehen zwar bereits in den Altersklassenfaktor ein, eine hohe Dichte von Überhältern ist aber ein besonderes Qualitätsmerkmal.

Tab. 9: Korrekturfaktor Starkholz/Überhälter

Hypothetisch (ausgerichtet am Empfehlungswert des Knickerlasses und korrespondierend mit positiven Wirkungszusammenhängen, die bislang aber noch nicht quantifiziert sind)

<b>Habitatbäume oder Überhälter oder sehr starkes Totholz</b>	<b>Faktor</b>	<b>Korrektur für auffällig häufiges, liegendes Totholz</b>
> 1 je 30 m	1,5 x	> 40 : + 0,2
1 je 30 - 60 m	1,2 x	> 30: + 0,15
1 je 60 - 90 m	1 x	> 20: + 0,1
1 je 90 - 120 m	0,9 x	
1 je 120 - 150 m	0,7 x	
1 je 150 - 180 m	0,6 x	
< 1/180 m	0,5 x	

## Faktoren für die Gehölzbreite bzw. die „Zeiligkeit“

Mehrzeilige, breite Gehölze haben höhere Arten- und Individuenzahlen (vgl. Puchstein 1980). Es wird der Annahme gefolgt, dass die Artenzunahme in einem Gehölz einem prinzipiell ähnlichen, asymptotischen Verlauf folgt wie bei Säumen (vgl. Laußmann 1998, Abb. 68), d.h., dass einzeilige Gehölze wesentlich ärmer sind als 2-zeilige, dass aber nach 5 Zeilen bis zur nächsten möglichen (aber unbekannt) Wirkschwelle (tipping point), das wäre der Wechsel vom Feldgehölz zum Wald, keine erheblich große weitere Zunahme erfolgt. Ein- und oft auch zwei- bis dreizeiligen Hecken fehlt auch ein schattiges Innenklima, das von vielen Waldarten benötigt wird.

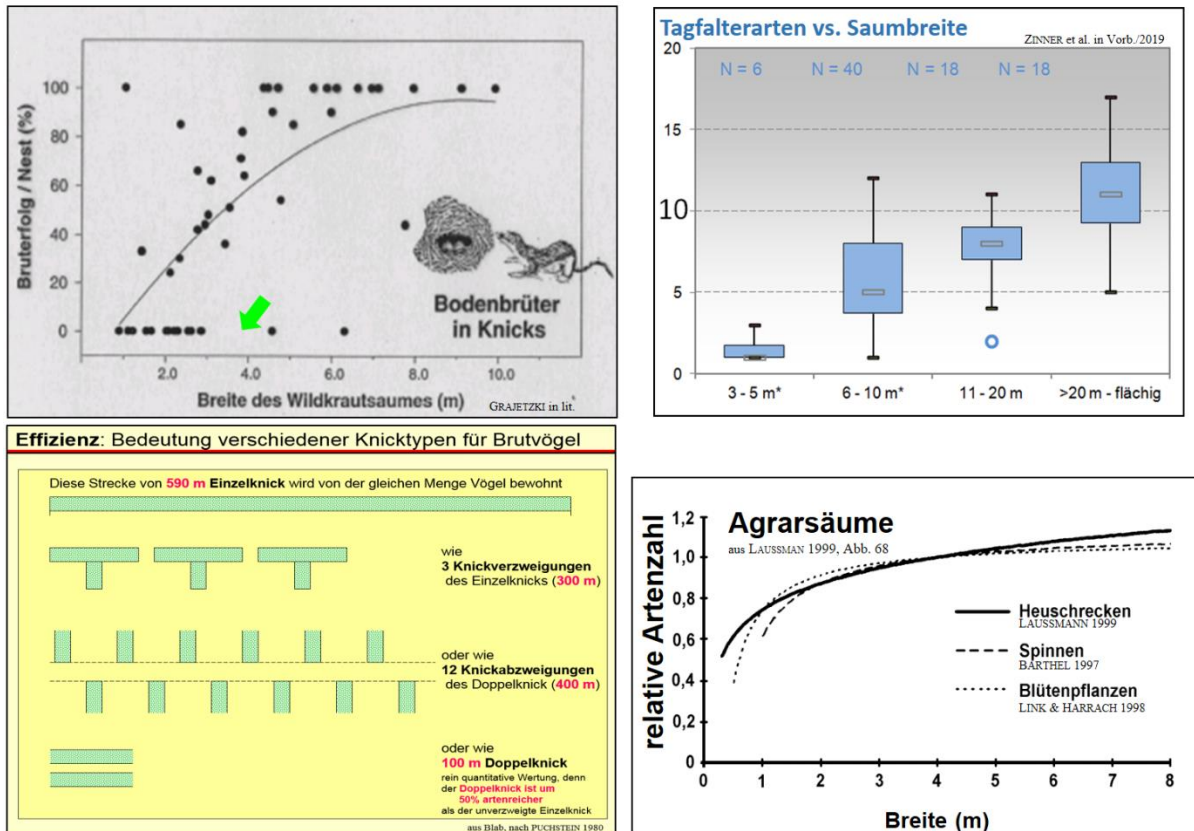


Abb. 2, a-d: Verschiedene Darstellungen des Zusammenhangs der Zeiligkeit bzw. der Elementbreite und der Artenvielfalt

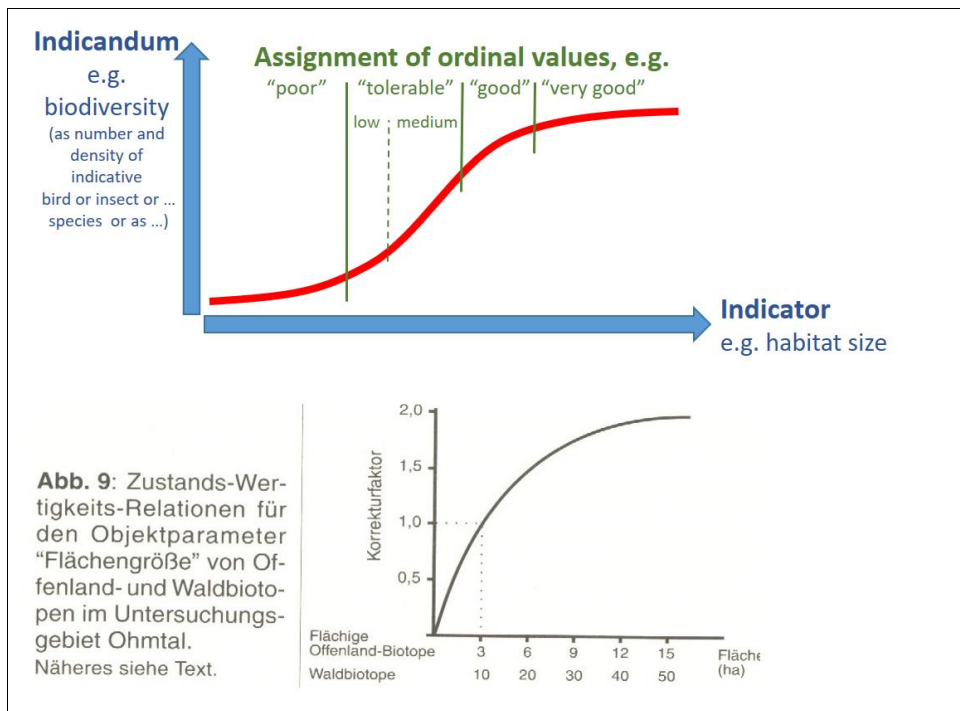


Abb. 3: Zustands-Wertigkeits-Relationen

4a (oben) Prinzipieller Zusammenhang von Zustands-Wertigkeits-Relationen sowie tipping points (= Wendepunkte der Kurve), aus Vorlesung „Spatial Environmental Planning“, Reck 2017); 4b (unten) Nichtlinearer Zusammenhang von Flächengröße und Wertigkeit: „Abb. 9“ aus Heidt & Plachter (1996)

Im Hinblick auf Waldarten zeigen Untersuchungen einzelner Hecken, dass schmale Hecken kaum von Waldlaufkäfern genutzt werden (Hänel in Strein et al. 2019, Theves 2013), während breitere Hecken (ca. 8 m, überwiegend 3-4-zeilig) das gesamte Spektrum der Waldlaufkäferzönose der Umgebung enthalten können (Reck in Strein et al. 2019, Theves 2013). Die Ergebnisse sind im Detail zwar stark abhängig vom landschaftlichen Kontext (Lebensraumhistorie, Standortsbedingungen), zunächst gehen Strein et al. aber davon aus, dass für den Biotopverbund Mindestbreiten von ca. 8 m bzw. 4-Zeiligkeit nicht unterschritten werden sollten; für die Sicherung der Verbundfunktion an besonders kritischen Stellen wie Grünbrücken gehen Reck et al. (2018) von mindestens 6-zeiligen Gehölzbändern aus.

Tab. 10: Faktor Zeiligkeit / Breite

Zeiligkeit / Breite	Faktor
1-zeilig	0,5
2-zeilig, $b \geq 1,5$ m	0,8
3-zeilig und $b \geq 3$ m	1,0
mehrzeilig und $b \geq 4,5$ m	1,2
mehrzeilig und $b \geq 6$ m	1,5
mehrzeilig und $b \geq 8$ m	2,0
mehrzeilig und $b \geq 10$ m	2,5

## Korrekturfaktor „Saum“

Säume sind für viele Tierarten ein essentieller Teillebensraum, sofern nicht artenreiche Heide-, Grünland-, Hochstauden- oder Brachebiotop u. dergl. angrenzen. Entscheidend ist die Saumqualität (siehe Bewertungscluster 2). Hier wird lediglich bewertet, ob ein Mindestsaum vorhanden ist (d.h. mindestens einseitig ein Saum von  $\geq 1,5$  m). Fehlt ein derartig breitester Saum, wird mit dem Faktor 0,5 korrigiert.



Abb. 4: Fehlende Säume

Fehlende Säume reduzieren die Bedeutung linearer Gehölze für Belange des Artenschutzes erheblich

## Wertzahleninterpretation

Zustands-Wertigkeitsrelationen sind nicht linear (z.B. Heidt & Plachter 1996). In Anlehnung an Zwölfer et al. (1984) wird in Tab. 11 ein Zuordnungsvorschlag für die Wertzahleninterpretation dargestellt.

Tab. 11: Zuordnungsvorschlag für Gesamtwertzahlen zur Gehölzqualität zu einer ordinalen Bewertungsstufe

<b>Gesamtwertzahl zur Gehölzqualität</b>	<b>Wertinterpretation</b>
< 20	gering
20 - 39	mittel
40 - 59	wertvoll
$\geq 60$	sehr wertvoll

## Bewertungscluster 2: Ökoton- und Saumqualität

Die Saumqualität wird aus den Faktoren

- (1) Saumbreite (gewertet wird ggf. der jeweils breitere Saum)
  - (2) Strukturvielfalt/Zonation (linear oder mosaikartig); d.h.: sind ein, zwei oder mehrere deutlich ausgeprägte Saumtypen vorhanden? (z.B. eine Hochstaudenflur neben einem Grassaum und/oder einem Krautsaum bzw. eine andere erkennbare Zonation, wie z.B. lückige eher niedrigwüchsige Bestände neben dicht- und hochwüchsigen) sowie
  - (3) Artenreichtum und Artenzusammensetzung
- abgeleitet, wobei der letztgenannte Faktor nicht zu jedem Aufnahmezeitpunkt differenziert beurteilt werden kann.

Angrenzende naturnahe Biotope wie Heiden, artenreiches Grünland, Hochstaudenfluren etc. gelten dabei als Saum. Darüber hinaus könnten Zusatzkriterien (Ergänzungsfaktoren) genutzt werden.

Tab. 12: Saummerkmale und zugeordnete Wertfaktoren

<b>Merkmal</b>	<b>Wertfaktor</b>
<b>∅ Saumbreite</b>	
< 0,5 m	0,5
0,5 bis 1 m	0,7
1 bis 2 m	0,9
2 bis 3 m	1
3 bis 4 m	1,5
4 bis 5 m	2
> 5 m	2,5
<b>Strukturvielfalt / Zonation</b>	
Überwiegend nur 1 Vegetationstyp	1,0
2 Saumtypen	1,3
3 Saumtypen	1,6
<b>Pflanzenartenvielfalt / Qualität</b>	
Monotone Bestände aus sehr wenigen, nicht insektenblütigen Arten	0,75
Artenarme Bestände	1,0
Erkennbar artenreiche Bestände	1,5
Sehr artenreiche Bestände und/oder zahlreiche Vorkommen schutzbedürftiger Arten	2,0
<b>Ergänzungsfaktoren</b>	
Verbreitet gefährdete Waldarten in der Krautschicht	1,3
> 30 % Magerkeitszeiger in der Krautschicht	1,3
Deutlich überwiegend Nitrophyten	0,7
Überwiegend nicht standortsheimische Arten	0,5
Repräsentanz von Sonderstandorten (gemäß Zeigerwerten nach Ellenberg 1979 ff)	1,3



## Wertzahlenberechnung

Die Gesamtwertzahl für die Saumqualität ergibt sich aus der folgenden Berechnungsvorschrift:

- Gesamtwertzahl = Wertzahl für die Saumbreite \* Wertzahl für die Strukturvielfalt im Saum \* Wertzahl für die Pflanzenartenvielfalt bzw. Qualität. Soweit die Ergänzungsfaktoren zur Verfügung stehen, wären dies weitere Multiplikatoren.

## Wertzahleninterpretation

Die Testobjekte waren alle als artenarme Bestände ohne weitere Auffälligkeiten kartiert worden, nur einer von insgesamt 18 Säumen wies eine Zonation auf. Aufnahmen während der Vegetationsperiode hätten evtl. zu einem etwas differenzierteren Ergebnis geführt, aber insgesamt sind die Säume der untersuchten Objekte verarmt und tragen im derzeitigen Zustand kaum zur Sicherung von Artenvorkommen bei.

Der nachfolgende, auf dem bereits dargestellten Prinzip nicht linearer Zustands-Wertigkeitsrelationen beruhende Zuordnungsvorschlag für die Wertzahleninterpretation kann deshalb nicht aus einem breiteren Spektrum unterschiedlicher Säume (d. h. nicht aus einer weiten Spanne verschiedener Vergleichstatbestände) abgeleitet werden. Wertzahleninterpretationen sind aber immer relativ und abhängig von der Verteilung realisierter Zustände in einer Landschaft. Aus der Literatur liegen anders als für Gehölze Wertzahlenvorschläge nicht vor (zu beschreibenden Vergleichsrahmen siehe Kaule 1991).

Tab. 13: Zuordnungsvorschlag für die Gesamtwertzahl zur Saumqualität zu einer ordinalen Bewertungsstufe

<b>Gesamtwertzahl zur Gehölzqualität</b>	<b>Wertinterpretation</b>
< 1	<i>gering</i>
1 – 2,4	<i>mittel</i>
2,5 – 4,9	<i>wertvoll</i>
≥ 5	<i>sehr wertvoll</i>

## Weitere Merkmale zur Differenzierung, zur Ensemblebewertung oder für andere Fragestellungen; Bewertungscluster 3 und 4

### Bewertungscluster 3: Dichte und Biotopverbund

Die Flächendichte und der Verbund von linearen Gehölzen beeinflusst wesentlich deren Bedeutung für den Artenschutz<sup>17</sup>. Insbesondere für die Nutzung bzw. Pflege der Gehölze ist die Betrachtung von Ensembles hilfreich, denn unter dem Aspekt der nächst höheren Raumeinheit (Ensemble statt Einzelelement) kann besser gesichert werden, dass trotz Pflege oder Nutzung immer ausreichend viele geeignete Habitatqualitäten im Aktionsraum betroffener Arten vorhanden sind.

---

<sup>17</sup> Artenschutz ist die Förderung und Sicherung schutzbedürftiger Arten und Vermeidung unnötiger Gefährdung dieser und weiterer Arten. Artenschutz betrifft keinesfalls nur gesetzlich streng oder besonders geschützte Arten, von denen manche nicht einmal besonders schutzbedürftig sind, während wiederum sehr viele der schutzbedürftigen Arten nicht besonders oder streng geschützt sind.



Zwölfer et al. (1984) schlagen folgende Flächendichtefaktoren für Hecken vor:

Tab. 14: Bewertung der Flächendichte von Hecken

<b>Heckendichte</b>	<b>Flächendichtefaktor</b>
<i>mittlere Heckendichte (bezogen auf 25 ha) über 80 m/ha (= Heckengesamtlänge 2000 m/25 ha)</i>	<i>* 2,0</i>
<i>mittlere Heckendichte zwischen 25 m und 80 m/ha (= Heckengesamtlänge/25 ha = 625 m – 2000 m/25 ha)</i>	<i>* 1,5</i>
<i>Mittlere Heckendicht unter 25 m/ha</i>	<i>* 1,0</i>

Der Flächendichtefaktor soll demnach mit der Gesamtwertzahl zur Gehölzqualität multipliziert werden.

Alternativ dazu könnten die Biotopflächen jeweiliger UFR (Unzerschnittene Funktionsräume verschiedener Verbundklassen) verwendet werden. Bei den von Hänel (2007) entwickelten UFR lassen sich neben Flächendichtefunktionen auch Abstandseigenschaften, Spiegelfronten und Barriereigenschaften zwischenliegender Verkehrsinfrastruktur abbilden (Prinzip siehe [https://www.researchgate.net/publication/236669021\\_Bundesweite\\_Prioritaten\\_zur\\_Wiedervernetzung\\_von\\_OkosystemenDie\\_Uberwindung\\_strassenbedingter\\_Barrieren](https://www.researchgate.net/publication/236669021_Bundesweite_Prioritaten_zur_Wiedervernetzung_von_OkosystemenDie_Uberwindung_strassenbedingter_Barrieren)). Zustands-Wertigkeitsrelationen für die UFR in Bezug auf die Knick- oder Heckendichte sind noch nicht entwickelt.

#### Bewertungscluster 4: Zusatzmerkmale und die Bewertungsfaktoren nach Eigner 1982

Für weitere Faktoren, die zusätzlich zur Einbindung in Lebensraumnetze die Lebensraumqualität linearer Gehölze beeinflussen, sind ebenfalls noch keine Zustands-Wertigkeits-Relationen und damit keine kardinalen Faktoren entwickelt, die eine weitere Differenzierung erlauben. Von einer weitergehenden numerischen Differenzierung sind auch kaum noch entscheidungserhebliche Ergebnisse zu erwarten.

Tab. 15: Mögliche Zusatzmerkmale<sup>18</sup> zur Bewertung linearer Gehölze

<b>Merkmal</b>	<b>Ausprägung</b>	<b>Ordination / zu prüfende (derzeit sehr hypothetische) Faktoren</b>
<i>Historisches Alter</i>	<i>&gt; 150 Jahre</i>	<i>1,5</i>
	<i>&gt; 100 Jahre</i>	<i>1,2</i>
	<i>&gt; 50 Jahre</i>	<i>1,1</i>
	<i>&lt; 50 Jahre</i>	<i>1,0</i>
<i>Bodenrelief (nicht Wälle, s.u.)</i>	<i>vielfältig, stark ausgeprägt</i>	<i>1,1</i>
	<i>± eben</i>	<i>1,0</i>
<i>Standortseigenschaften</i>	<i>hypertroph</i>	<i>0,5</i>
	<i>eutroph</i>	<i>0,8</i>
	<i>eu- bis mesotroph</i>	<i>1,0</i>
	<i>mesotroph</i>	<i>1,3</i>
	<i>oligotroph</i>	<i>1,8</i>
<i>Barriereigenschaften und Anforderungen an den Kronenschluss (Überwindung von Zielkonflikten)</i>	<i>lückenlos &gt; 750 m</i>	<i>0,9</i>
	<i>regelmäßige Kurzlücken</i>	<i>1,1</i>
<i>Exposition und Neigung</i>	<i>ambivalent je nach Zielorganismen</i>	
<i>Knickwall</i>	<i>ambivalent je nach Zielorganismen</i>	
<i>Verbiss- und Verbissformen</i>	<i>kein Verbiss</i>	<i>1,0</i>
	<i>geringer Verbiss</i>	<i>1,1</i>
	<i>mäßiger Verbiss in Verbindung mit hoher Formenvielfalt</i>	<i>1,2</i>
	<i>sehr starker Verbiss</i>	<i>0,8</i>
<i>Verstecke (Steinhaufen, lokale Reishaufen aber kein Kompost u. dergl.)</i>	<i>zahlreich</i>	<i>1,1</i>
<i>Zäunungen, Barrieren</i>	<i>Abzäunung</i>	<i>0,9</i>
	<i>starke Verinselung durch Barrieren wie Bordsteine, Mauern</i>	<i>0,6</i>
<i>Belastung durch angrenzende Nutzungen</i>	<i>starker Verkehr (DTV &gt; 5.000), Streusalzeintrag</i>	<i>0,9</i>
	<i>starker Düngereintrag</i>	<i>0,7</i>
	<i>starker Dünger- und Pestizideintrag</i>	<i>0,5</i>

Zum Vergleich mit den Bewertungskriterien der Bewertungscluster 1 - 4 ist im Anschluss der Bewertungsvorschlag von Eigner (1982) dargestellt, der ähnliche Merkmale und Gewichtungen vorschlägt, aber ausschließlich für Knicks entwickelt ist, die Gehölzarten gleichwertig behandelt, aus kulturhistorischem Gesichtspunkt Wallformen besonders positiv bewertet und die Krautschicht bzw. die Saumverfügbarkeit oder die Gehölzdichte und die Altersklassenvielfalt nicht integriert.

<sup>18</sup> In Anlehnung an Kaule (1991, S. 248 ff, 282 ff) – ob aber multiplikative Wertzahlenverfahren praktikabel und nützlich sind, muss vor einer Anwendung noch sehr kritisch untersucht werden.

## Bewertungskriterien nach Eigner

Zum Vergleich sind nachfolgend die Bewertungskriterien nach Eigner dargestellt.

Tab. 16: Zusammenstellung von Bewertungskriterien und zugehörigen Wertpunkten nach Eigner (1982)

<b>Merkmale</b>	<b>Merkmalsausprägung und Wertpunkte (WP)</b>	<b>WP</b>
Aufbau (Relief)	Ebenerdig	1
	Degradierter Wall	2
	Stabiler Wall	3
Gehölzanordnung	1-reihig	1
	2-reihig	2
	Mehrreihig/flächig* [*gemeint ist nach außen über den Wall gewachsen]	3
Gehölzbestand	Spärlich	1
	Lückig	2
	Dicht	3
Besonderheiten	Besondere Grenzlinie [gemeint ist Ökotonvielfalt]	1-3
	Beherrschende Höhenlage [gemeint ist Raumwirksamkeit für das Landschaftsbild]	1
	Besondere Verbundfunktion (Lage zwischen Komplementärbiotopen)	1
	Besondere Windschutzfunktion	0-3
	Überhälter	1
	Sonderformen (besonders geformte Bäume)	1
	Besondere Arten (bezogen auf Gehölzarten wie z.B. Ilex ...)	1-2
<b>Zwischensumme (Grundwertung, GW)</b>		<b>Σ</b>
Faktor Gehölzartenvielfalt GV	Eine Gehölzart vorherrschend (< 90 %)	1
	Wenige Gehölzarten (2-5 Arten) vorherrschend	2
	Bunte Knicks in charakteristischer Kombination; (in Anlehnung an Weber 1967, aber ohne Beachtung der Vielfalt der krautigen Vegetation)	3
<b>Wertezahlenprodukt (WZP) = GW*GV</b>		<b>WZP</b>
<b>Gesamtwert (GW)</b>	<b>WZP &gt; 20 = Hochwertig</b> <b>WZP = 12 bis 19 = Mittlere Wertigkeit</b> <b>WZP &lt; 12 = Weniger wertvoll</b>	<b>GW</b>

## Ergebnisse zum Bewertungscluster 1, Gehölzqualität

Alle im Kapitel „Methodik“ aufgeführten Kartierparameter liegen digital verfügbar als tabellarische Dokumentation vor (Excel 2016®).

Die für eine Bewertung wichtigsten Merkmale sind im Folgenden vergleichend dargestellt und nach der oben beschriebenen Vorschrift bewertet.

### Ergebnisse zum Gehölzartenfaktor: Die Arten der untersuchten Gehölzabschnitte

In den 9, jeweils 100 m langen Abschnitten wurden 22 heimische oder seit langem eingebürgerte Gehölzarten gefunden (in Vergleichsaufnahmen von 9 Straßenbegleitgehölzen 40 Arten; insgesamt wurden 42 heimische oder seit langem eingebürgerte Gehölzarten kartiert).

Die auf die Art bestimmten gebietsfremden Gehölzarten, das sind Büschelrose, Kartoffelrose und Kupfer-Felsenbirne, wurden in den Knicks nicht gefunden. Diese 3 Arten traten nur in wenigen Exemplaren zusätzlich zu den genannten 40 Arten der Straßenbegleitgehölze auf. Zu Arten wie der kaukasischen bzw. armenischen Brombeere könne keine Aussagen gemacht werden. Der Japanische Staudenknöterich (keine Gehölzart) wurde an einem Straßenrand mit ca. 140 Trieben gefunden.

In den Knicks sind Schlehe, Hasel und Brombeere etwas häufiger als im Straßenbegleitgrün, Hainbuche und Schwarzer Holunder sind deutlich häufiger. Im Straßenbegleitgrün sind Rote Heckenkirsche, Roter Hartriegel und Sommerlinde etwas häufiger als im Knick, deutlich häufiger sind im Begleitgrün Bergahorn und Kirschen.

Stachelbeere, Liguster und Birne wurden insgesamt in nur in einem Exemplar aufgefunden sie werden in der weiteren Auswertung (Bewertung) nicht weiter berücksichtigt.

Die Arten und die relative Anzahl der Individuen bzw. Sprosse/Stockausschläge der Arten der Knicks sind im Folgenden tabellarisch aufgeführt.

Tab. 17: Relative Anzahl der Individuen bzw. Sprosse/Stockausschläge der verschiedenen Gehölzarten sowie von stehendem Totholz  
Hinweis: 0,0% bedeutet nicht in jedem Fall, dass die Art fehlt, z.T. sind Einzelexemplare mit einem Anteil von weniger als 1 Promille vorhanden.

<b>Knickbezeichnung</b>	<b>B_K8</b>	<b>B_K9</b>	<b>B_K10</b>	<b>D_K5</b>	<b>D_K6</b>	<b>D_K7</b>	<b>F_K1</b>	<b>F_K2</b>	<b>F_K4</b>	<b>Ø Knicks (n=9)</b>	<b>Ø SBG (n=9)</b>
Rose	10,5%	2,7%	2,1%	5,8%	7,9%	6,2%	3,3%	7,7%	1,1%	5,3%	4,8%
Schlehe	10,5%	13,7%	10,5%	10,6%	8,7%	10,1%	8,9%	23,1%	3,4%	11,0%	4,5%
Stieleiche	3,5%	2,7%	9,5%	5,8%	5,5%	0,8%	2,2%	1,5%	0,0%	3,5%	4,2%
Weißdorn	14,0%	4,1%	5,3%	4,8%	7,9%	10,9%	7,8%	1,5%	0,0%	6,2%	3,4%
Hasel	4,7%	15,1%	14,7%	5,8%	0,8%	6,2%	10,0%	7,7%	2,3%	7,5%	2,8%
Weide	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	10,1%	24,4%	15,4%	34,5%	9,4%	7,1%
Brombeere	11,6%	12,3%	9,5%	8,7%	7,1%	2,3%	6,7%	9,2%	11,5%	8,8%	2,3%
Eberesche	0,0%	2,7%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,3%	0,5%
Feldahorn	1,2%	1,4%	0,0%	6,7%	0,8%	22,5%	4,4%	0,0%	32,2%	7,7%	3,8%
Bergahorn	1,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	7,2%
Bergulme	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	1,5%
Birne	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,5%
Europäische_Steckpalme	1,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,0%
Europäisches Pfaffenhütchen	3,5%	1,4%	2,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	1,1%	0,9%	3,7%
Faulbaum	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,3%
Feldulme	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,8%
Gewöhnliche_Esche	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	10,0%	18,5%	0,0%	3,2%	2,9%
Gewöhnliche_Roskastanie	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,2%
Gewöhnliche_Traubenkirsche	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	1,2%
Gewöhnliche_Waldrebe	0,0%	0,0%	0,0%	1,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,2%
Gewöhnlicher_Liguster	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%
Gewöhnlicher_Schneeball	0,0%	0,0%	0,0%	1,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,6%
Grauerle	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	1,0%

<i>Knickbezeichnung</i>	<i>B_K8</i>	<i>B_K9</i>	<i>B_K10</i>	<i>D_K5</i>	<i>D_K6</i>	<i>D_K7</i>	<i>F_K1</i>	<i>F_K2</i>	<i>F_K4</i>	<i>∅ Knicks (n=9)</i>	<i>∅ SBG (n=9)</i>
<i>Hainbuche</i>	20,9%	11,0%	3,2%	33,7%	48,8%	5,4%	2,2%	0,0%	0,0%	13,9%	2,5%
<i>Hängebirke</i>	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,7%
<i>Linde</i>	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%
<i>Moorbirke</i>	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%
<i>Pappel</i>	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%
<i>Rotbuche</i>	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,9%
<i>Rote_Heckenkirsche</i>	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	6,1%
<i>Roter_Hartriegel</i>	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	2,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,3%	5,6%
<i>Schwarzer_Holunder</i>	8,1%	15,1%	18,9%	9,6%	4,7%	10,1%	11,1%	10,8%	3,4%	10,2%	1,4%
<i>Schwarzerle</i>	0,0%	2,7%	9,5%	0,0%	0,0%	5,4%	0,0%	0,0%	0,0%	2,0%	0,0%
<i>Sommerlinde</i>	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	4,3%
<i>Spitzahorn</i>	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	1,5%
<i>Stachelbeere</i>	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%
<i>Vogelkirsche, Kirschpflaume, P. spec.</i>	0,0%	0,0%	3,2%	0,0%	0,0%	0,0%	1,1%	0,0%	0,0%	0,5%	7,6%
<i>Wald-Geißblatt</i>	1,2%	2,7%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,4%	0,0%
<i>Walnuss</i>	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,2%
<i>Wildapfel</i>	0,0%	0,0%	2,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,2%	0,7%
<i>Winterlinde</i>	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,6%
<i>Zitterpappel</i>	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	4,0%
<i>Büschelrose</i>	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,8%
<i>Kartoffelrose</i>	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%
<i>Kupfer-Felsenbirne</i>	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,5%
<i>Totholz</i>	8,1%	12,3%	9,5%	6,7%	7,9%	7,8%	7,8%	4,6%	10,3%	8,3%	8,3%



Tab. 18: Resultierende Artenwertpunkte

Knickbezeichnung	B_K8	B_K9	B_K10	D_K5	D_K6	D_K7	F_K1	F_K2	F_K4	Ø Knicks (n=9)	Ø SBG (n=9)
Anzahl heim. Arten	13,0	13,0	12,0	11,0	9,0	12,0	12,0	9,0	8,0	11,0	20,0
Wertpunkte für											
Rose	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	0,0	2,7	3,0
Schlehe	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,3
Stieleiche	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	0,0	3,0	0,0	0,0	2,0	2,7
Weißdorn	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	0,0	0,0	2,3	2,3
Hasel	3,0	3,0	3,0	3,0	0,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,7	2,0
Weide	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,0	3,0	3,0	3,0	1,3	2,7
Brombeere	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	1,7
Eberesche	0,0	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	1,0
Feldahorn	0,0	0,0	0,0	3,0	0,0	3,0	3,0	0,0	3,0	1,3	2,0
Sonstige*0,5	1,5	2,0	2,5	1,0	1,0	2,0	1,5	1,0	0,5	1,4	2,5
Sonstige*0,2	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2
<b>Summe Artenwertpunkte</b>	<b>19,5</b>	<b>23,0</b>	<b>20,7</b>	<b>22,0</b>	<b>16,0</b>	<b>23,0</b>	<b>25,5</b>	<b>16,0</b>	<b>15,5</b>	<b>20,1</b>	<b>23,4</b>
STABW $\sqrt{\frac{\sum (x-\bar{x})^2}{(n-1)}}$										3,6	4,4

## Gebietsfremde Gehölze

Der Korrekturfaktor für gebietsfremde Gehölze beträgt für jedes der untersuchten Gehölze 1, weil der Anteil solcher Gehölze immer weniger als 5 % beträgt.

## Ergebnisse zum Altersklassen- und Starkholzfaktor

Mit Ausnahme von Knick Drögendiek\_K5 sind in allen untersuchten Objekten eine Vielzahl von Altersklassen vertreten. Etwas mehr Unterschiede treten bezüglich des Anteils an Habitatbäumen, Überhältern oder liegenden Totholzes auf.

Tab. 19: Vorkommen verschiedener Altersklassen und von Starkholz in den untersuchten Objekten sowie resultierende Bewertungsfaktoren

Knickbezeichnung	Barkau- _K8	Barkau- _K9	Barkau- _K10	Drögen- dieK_K5	Drögen- dieK_K6	Drögen- dieK_K7	Fransen- berg_K1	Fransen- berg_K2	Fransen- berg_K4		
Knickbezeichnung Altersklassen	B_K8	B_K9	B_K10	D_K5	D_K6	D_K7	F_K1	F_K2	F_K4	∅ Knicks (n=9)	∅ SBG (n=9)
Alter1_5	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja		
Alter6_10	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja		
Alter11_20	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja		
Alter21_50	ja	ja	ja	nein	ja	ja	ja	ja	nein		
Alterü50	nein	nein	ja	nein	ja	nein	ja	nein	ja		
<b>Altersklassenfaktor</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	1,89	2
Anzahl Habitatbäume (HB)	0	2	2	1	1	0	1	1	1		
Anzahl Überhälter (Üb)	1	2	3	0	4	5	4	1	1		
Totholzstämmen liegend (THSL)	1	1	0	3	2	20	1	0	0		
Faktor HB+ÜB	0,90	1,50	1,50	0,90	1,50	1,50	1,50	1,20	1,20		
THSL-Korrektur*						0,1					
<b>Stark- und Totholzholz- faktor</b>	<b>0,90</b>	<b>1,50</b>	<b>1,50</b>	<b>0,90</b>	<b>1,50</b>	<b>1,60</b>	<b>1,50</b>	<b>1,20</b>	<b>1,20</b>	<b>1,31</b>	<b>1,12</b>

\* Korrektur für > 20 THSI =+ 0,1, für > 30, < 40 THSI = +0,3; THSL = Totholzstämmen liegend

## Ergebnisse zur Breite/Zeiligkeit und zum Korrekturfaktor Saum

Die Knicks sind erwartungsgemäß oft zu schmal um ein für bodenlebende Kleintiere des Waldes ausreichendes Kronendach auszubilden (Straßenbegleitgrün war im Vergleich dazu wesentlich breiter). Ein Saum von wenigstens 1, 5 m Breite ist bei den Knicks i.d.R. nicht vorhanden (fehlt unerwartet oft aber auch an den Straßenbegleitgehölzen).

Tab. 20. Gehölzbreite und Saum

<i>Knickbezeichnung</i>	<i>Bar- kau_K8</i>	<i>Bar- kau_K9</i>	<i>Barkau- _K10</i>	<i>Drögen- diek_K5</i>	<i>Drögen- diek_K6</i>	<i>Drögen- diek_K7</i>	<i>Fransen- berg_K1</i>	<i>Fransen- berg_K2</i>	<i>Fransen- berg_K4</i>	<i>∅ Knick (n=9)</i>	<i>∅ SBG (n=9)</i>
<i>Knickbezeichnung (kurz)</i>	<b>B_K8</b>	<b>B_K9</b>	<b>B_K10</b>	<b>D_K5</b>	<b>D_K6</b>	<b>D_K7</b>	<b>F_K1</b>	<b>F_K2</b>	<b>F_K4</b>		
<i>Gehölzbreite in m</i>	3,3	3,8	5,1	2,5	6,6	6,3	3,4	3,7	1,5	4,0	13,5
<i>Zeiligkeit</i>	3	3	3	3	3	7	2	2	1	3,0	10
<i>Faktor Breite/Zeilen</i>	<b>1,0</b>	<b>1,0</b>	<b>1,0</b>	<b>0,8</b>	<b>1,0</b>	<b>1,5</b>	<b>0,8</b>	<b>0,8</b>	<b>0,5</b>	0,9	2,3
<i>Breiterer Saum, b in m</i>	1,4	0,4	0,6	0,8	0,6	1,1	1,1	0,6	1,8	0,9	2,0
<i>Korrekturfaktor: „Zu schmaler Saum“</i>	<b>0,5</b>	<b>0,5</b>	<b>0,5</b>	<b>0,5</b>	<b>0,5</b>	<b>0,5</b>	<b>0,5</b>	<b>0,5</b>	<b>1,0</b>	0,6	0,7

## Gesamtbewertung zum Bewertungscluster 1, Gehölzqualität: Anwendung der Bewertungsvorschrift auf die Testobjekte

Bei der Gesamtbewertung spielt eine erhebliche Rolle ob bei der Werteinterpretation das Vorhandensein eines Saums ( $b \geq 1,5$  m) mit betrachtet wird.

Tab. 21: Bewertungscluster 1, Gehölzqualität: Anwendung der Bewertungsvorschrift auf die Testobjekte

Knickbezeichnung	Barkau- _K8	Barkau- _K9	Barkau- _K10	Drögd. _K5	Drögd. _K6	Drögd. _K7	Fr.berg_K1	Fr.berg_K2	Fr.berg_K4	Ø Knicks (n=9)	Ø SBG (n=9)
Anzahl ± heimischer Arten	13,0	13,0	12,0	11,0	9,0	12,0	12,0	9,0	8,0	11,0	20,0
<b>Knicks (Kurzname)</b>	<b>B_K8</b>	<b>B_K9</b>	<b>B_K10</b>	<b>D_K5</b>	<b>D_K6</b>	<b>D_K7</b>	<b>F_K1</b>	<b>F_K2</b>	<b>F_K4</b>		
Wertpunkte f. d. Gehölz- artenzusammensetzung											
Rose	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	0,0	2,7	3,0
Schlehe	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,3
Stieleiche	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	0,0	3,0	0,0	0,0	2,0	2,7
Weißdorn	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	0,0	0,0	2,3	2,3
Hasel	3,0	3,0	3,0	3,0	0,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,7	2,0
Weide	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,0	3,0	3,0	3,0	1,3	2,7
Brombeere	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	1,7
Eberesche	0,0	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	1,0
Feldahorn	0,0	0,0	0,0	3,0	0,0	3,0	3,0	0,0	3,0	1,3	2,0
Sonstige*0,5	1,5	2,0	2,5	1,0	1,0	2,0	1,5	1,0	0,5	1,4	2,5
Sonstige*0,2	0	0	0,2	0	0	0	0	0	0	0,0	1,2
<b>Summe Artenwert- punkte</b>	<b>19,5</b>	<b>23</b>	<b>20,7</b>	<b>22</b>	<b>16</b>	<b>23</b>	<b>25,5</b>	<b>16</b>	<b>15,5</b>	<b>20,1</b>	23,4
Korrekturfaktor Neophy- ten	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<b>Altersklassenfaktor</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>1,89</b>	2
<b>Stark- und Totholzholz- faktor</b>	<b>0,90</b>	<b>1,50</b>	<b>1,50</b>	<b>0,90</b>	<b>1,50</b>	<b>1,60</b>	<b>1,50</b>	<b>1,20</b>	<b>1,20</b>	<b>1,31</b>	1,12
<b>Faktor Breite/Zeilen</b>	<b>1,0</b>	<b>1,0</b>	<b>1,0</b>	<b>0,8</b>	<b>1,0</b>	<b>1,5</b>	<b>0,8</b>	<b>0,8</b>	<b>0,5</b>	<b>0,9</b>	2,3

Knickbezeichnung	Barkau- _K8	Barkau- _K9	Barkau- _K10	Drögd._K5	Drögd._K6	Drögd._K7	Fr.berg_K1	Fr.berg_K2	Fr.berg_K4	Ø Knicks (n=9)	Ø SBG (n=9)
Ø Gehölzbreite in m*	3,3	3,8	5,1	2,5	6,6	6,3	3,4	3,7	1,5	4,0	13,5
Ø Zeiligkeit	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	7,0	2,0	2,0	1,0	3,0	9,8
<b>Wertzahl Gehölzqualität</b>	<b>35,10</b>	<b>69,00</b>	<b>62,10</b>	<b>15,84</b>	<b>48,00</b>	<b>110,40</b>	<b>61,20</b>	<b>30,72</b>	<b>18,60</b>	<b>50,11</b>	120,39
Zwischenbewertung	<b>mittel</b>	<b>s. wert- voll</b>	<b>s. wert- voll</b>	<b>gering</b>	<b>wertvoll</b>	<b>s. wert- voll</b>	<b>s. wert- voll</b>	<b>mittel</b>	<b>gering</b>	<b>wertvoll</b>	s. wertvoll
Korrekturfaktor: „ Zu schmaler Saum“	<b>0,5</b>	<b>0,5</b>	<b>0,5</b>	<b>0,5</b>	<b>0,5</b>	<b>0,5</b>	<b>0,5</b>	<b>0,5</b>	<b>1,0</b>	<b>0,6</b>	0,7
Gesamtwertzahl	17,55	34,50	31,05	7,92	24,00	55,20	30,60	15,36	18,60	26,09	88,39
Werteinterpretation	gering	mittel	mittel	gering	mittel	wertvoll	mittel	gering	gering	mittel	s. wertvoll

## Ergebnisse zu Bewertungscluster 2, Saumqualität: Anwendung der Bewertungsvorschrift auf die Testobjekte

Weil im Winterhalbjahr kaum Unterschiede in der Saumqualität zu erkennen waren resultiert die Saumbewertung im Wesentlichen aufgrund der Breite des jeweils breiteren Saums. Diese ist bei den untersuchten Knicks im Durchschnitt 0,9 m, STABW 0,5 (bei den untersuchten Straßenbegleitgehölzen durchschnittlich 2 m, STABW 1,5).

Tab. 22: Bewertungscluster 2, Saumqualität: Anwendung der Bewertungsvorschrift auf die Testobjekte

<b>Knickname</b>	<b>Barkau _K8</b>	<b>Barkau _K9</b>	<b>Barkau _K10</b>	<b>Drögen- diek_K5</b>	<b>Drögen- diek_K6</b>	<b>Drögen- diek_K7</b>	<b>Fransen- berg_K1</b>	<b>Fransen- berg_K2</b>	<b>Fransen- berg_K4</b>
<i>Knickname kurz</i>	<i>B_K8</i>	<i>B_K9</i>	<i>B_K10</i>	<i>D_K5</i>	<i>D_K6</i>	<i>D_K7</i>	<i>F_K1</i>	<i>F_K2</i>	<i>F_K4</i>
<i>∅ Breite breiterer Saum</i>	<i>1,4</i>	<i>0,4</i>	<i>0,6</i>	<i>0,8</i>	<i>0,6</i>	<i>1,1</i>	<i>1,1</i>	<i>0,6</i>	<i>1,8</i>
<i>Wertzahl Saumbreite</i>	<i>0,9</i>	<i>0,5</i>	<i>0,7</i>	<i>0,7</i>	<i>0,7</i>	<i>0,9</i>	<i>0,9</i>	<i>0,7</i>	<i>0,9</i>
<i>Wertzahl Zonation</i>	<i>1,0</i>	<i>1,0</i>	<i>1,0</i>	<i>1,3</i>	<i>1,0</i>	<i>1,0</i>	<i>1,0</i>	<i>1,0</i>	<i>1,0</i>
<i>Qualität des artenreicheren Saums</i>	<i>1,0</i>	<i>1,0</i>	<i>1,0</i>	<i>1,0</i>	<i>1,0</i>	<i>1,0</i>	<i>1,0</i>	<i>1,0</i>	<i>1,0</i>
<i>Gesamtwertzahl</i>	<i>0,9</i>	<i>0,5</i>	<i>0,7</i>	<i>0,9</i>	<i>0,7</i>	<i>0,9</i>	<i>0,9</i>	<i>0,7</i>	<i>0,9</i>
<b>Werteinterpretation</b>	<b><i>s. gering</i></b>	<b><i>s. gering</i></b>	<b><i>s. gering</i></b>	<b><i>s. gering</i></b>	<b><i>s. gering</i></b>	<b><i>s. gering</i></b>	<b><i>s. gering</i></b>	<b><i>s. gering</i></b>	<b><i>s. gering</i></b>



## Ausblick: Vorläufige Prüfhypothesen

Aus den Bewertungen lassen sich unter Vorbehalt einer notwendigen vertiefenden und kritischen Untersuchung folgende Prüfhypothesen ableiten:

Die ermittelten wertgebenden Eigenschaften von Gehölzen und der Vergleich der Eigenschaften von Straßenbegleitgrün mit dem der untersuchten Knicks weisen darauf hin, dass den heutigen Knicks in der heutigen Umgebung (das sind i.d.R. intensiv genutzte Kulturen) wesentliche Eigenschaften fehlen, die zur Sicherung von gefährdeten Arten der Agrarlandschaft oder zum Verbund von Waldbiotopen benötigt werden. Wenn dies generell zutrifft, muss der Knickschutz in Schleswig-Holstein reformiert und an die heutigen Umweltbedingungen angepasst werden. Dieses betrifft die zwingend notwendige Ergänzung um Säume und die Erweiterung der Knicks wobei auch (im Hinblick auf die Anforderungen der Agrarwirtschaft, nicht des Artenschutzes) die Verringerung der Knickdichte zugunsten robusterer, funktional optimierter, breit gesäumter und barrierefrei in den Biotopverbund integrierter Feldgehölze erwogen werden kann.

Herkömmliche Knicks sind dennoch ein zwar sehr wichtiger aber kein effizienter Beitrag zur Sicherung der Biologischen Vielfalt in der modernen Kulturlandschaft, weil sie meist zu schmal sind und in der Regel keinen nennenswerten Krautsaum aufweisen. Die Konsequenz ist, dass überprüft werden sollte, ob die bisherige (in der heutigen, industriell geprägten Feldflur evtl. überkommene) Konservierung von Knicks im Sinne des Knickerlasses weiterhin sinnvoll ist. Dabei sollten 2 Fälle unterschieden werden:

1. Der Sonderfall sehr hoher (historischer) Knickdichten in dem ein konservierender Ansatz sowohl aus Gründen des Schutzes des kulturellen Erbes (Kulturdenkmal) als auch des Lebensnetzschutzes zu empfehlen ist und
2. der Regelfall, der für in geringer Dichte verbliebene Knicks gilt, die nur bei deutlicher Verbreiterung der Gehölze und Ergänzung um Säume bio-ökologisch so wirksam sein können, dass schutzbedürftige Arten nachhaltig davon profitieren können.

Als Lösung für den Regelfall bietet sich unter dem nach § 15 (3) im BNatSchG (Stand 13.10.2016) ausgedrückten Vorbehalt der möglichst umfassenden Sicherung der landwirtschaftlichen Nutzung aktuell bewirtschafteter Flächen „zweimal der Faktor 3“ an: Wenn zugunsten einer ökonomischen maschinellen Bewirtschaftung auf 1/3 der Knicklänge verzichtet wird und ansonsten 3-fach breitere, robuste Knick- und Saumstrukturen entwickelt werden, ist (*spekulativ*) zu erwarten, dass sich die Situation für den Großteil der typischen Arten der knickbetonten Feldflur zumindest nicht weiter verschlechtert. Hintergrund für diesen Vorschlag ist, dass je technisierter bzw. industrieller die Landbewirtschaftung auf dem Feld stattfindet, desto robuster muss die ausgleichende grüne Infrastruktur zwischen den Feldern entwickelt werden. Die historische Landnutzung und die Anordnung von historischen Landnutzungskomponenten sowie die Wechselbeziehungen zwischen diesen können nicht oder allenfalls im Ausnahmefall funktional konserviert werden.

Auch die veränderte Nutzung oder Pflege der Gehölze<sup>19</sup> hat neben dem veränderten Nutzungskontext großen Einfluss auf den Artenbestand. Die Pflege bestimmt wertgebende Merkmale wie z.B. die Gehölzartenzusammensetzung, die Altersstruktur der Gehölze oder die Formenvielfalt. Vice versa haben diese Merkmale wiederum Einfluss auf den Ertrag und die Bewirtschaftbarkeit oder die Ernte-technik. Die Pflege oder Beerntung muss in jedem Fall die wertgebenden Eigenschaften von Gehölzen und Gehölznetzen sichern oder, besser noch, optimieren. Wichtig dazu ist insbesondere eine

---

<sup>19</sup> Hinweise in Werner 2014, Schulz 2015, Reck & Müller 2017

streifenparallele oder abschnittsweise Nutzung. Aufgrund von Änderungen der Naturschutzgesetze ist darüber hinaus auch die Entwicklung einer guten fachlichen Praxis erforderlich, die gewährleistet, dass Pflege oder Nutzung den Anforderungen des strengen Artenschutzes (u.a. Verbotstatbestände nach § 44 BNatSchG) gerecht werden.

## Quellen

- Aichele, D. (2016): Assessment of influences of landscape vegetation structure and species-specific life history traits on road kill frequency in Schleswig-Holstein, Germany. Scientific field report. Christian-Albrechts-Universität zu Kiel. Institute for Natural Resource Conservation, Department of Landscape Ecology, 49 S.
- Assmann, T. (1999): The ground beetle fauna of ancient and recent woodlands in the lowlands of north-west Germany (Coleoptera, Carabidae). *Biodiversity & Conservation* 8 (11), 1499–1517.
- Auhagen, A. (1995): Einige Gedanken zur Bewertung von Eingriffen in Natur und Landschaft und zur Erhebung einer Ausgleichsabgabe. *Schr. R. Vegetationskunde* 27, 31–38.
- Barthel, J. (1997): Einfluß von Nutzungsmuster und Habitatkonfiguration auf die Spinnenfauna der Krautschicht (Araneae) in einer süddeutschen Agrarlandschaft. *Agrarökologie* 25, 1–175.
- Bechmann, A. (1989): Die Nutzwertanalyse. In: P. Strom und T. Bunge (Hg.): *Handbuch der Umweltverträglichkeitsprüfung*, Bd. 1.
- Bernotat, D.; Dierschke, V. (2016): Übergeordnete Kriterien zur Bewertung der Mortalität wildlebender Tiere im Rahmen von Projekten und Eingriffen. 3. Fassung –Stand 20.09.2016.
- Bloemer, S. (2014): Gehölzansaat als naturnahe und wirtschaftliche Alternative zur Pflanzung. *Natur und Landschaft* 46 (7), 211–218.
- Bock, W.; Daunicht, W.; Hansen, U.; Hingst, R.; Grajetzki, B.; Irmeler, U.; Pichinot, V. (1996): Knicks als Lebensraum für Tiere. *EcoSys. Beiträge zur Ökosystemforschung* (5), 39–52.
- Degener, R. (2017): BUND-Stichprobenkartierung Knickschutz. Schleswig-Holstein. *BUND Magazin* 1/17.
- Dittmann, S.; Thissen, E.; Hartung, E. (2017): Applicability of different non-invasive methods for tree mass estimation: A review. – *Forest Ecology and Management*. *Forest Ecology and Management* 398, 208–215.
- EC (2013 a): Grüne Infrastruktur (GI) — Aufwertung des europäischen Naturkapitals. Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen (COM 249 final).
- EC (2013 b): Commission Staff Working Document. Technical information on Green Infrastructure (GI). Online verfügbar unter, [http://ec.europa.eu/-en-vironnement/nature/ecosystems/docs/-green\\_infra-structures/1\\_EN\\_autre\\_document\\_travail\\_service\\_part1\\_v2.pdf](http://ec.europa.eu/-en-vironnement/nature/ecosystems/docs/-green_infra-structures/1_EN_autre_document_travail_service_part1_v2.pdf), zuletzt geprüft am 29.01.14.
- Ehlers, S. (2009): Die Bedeutung der Knick- und Landschaftsstruktur für die Haselmaus (*Muscardinus avelanarius*) in Schleswig-Holstein. Diplomarbeit am Ökologie-Zentrum. Christian-Albrechts-Universität zu Kiel. Fachabteilung Landschaftsökologie, 133 S..
- Eigner, J. (1982): Bewertung von Knicks in Schleswig-Holstein. *ANL, Laufener Spezial- und-Seminarbeiträge* 5, 110-117.
- Ellenberg, H. (1979ff): Zeigerwerte der Pflanzen Mitteleuropas, z.B. in Zusatzmaterialien zu Ellenberg, H., Leuschner, C.: *Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen*. Online verfügbar unter [www.utb-shop.de/9783825281045](http://www.utb-shop.de/9783825281045).
- Ellenberg, H. (1993): Ökologische Veränderungen in Biozönosen durch Stickstoffeintrag. *Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik* 636, 103–118.
- Fritz, M.: Grüne Infrastruktur in Europa – ein integrativer Ansatz. *Natur und Landschaft* 88, 497–502.

- Glänzer, U. & Buchmann, H. (1987): Rebhuhn – *Perdix perdix*. In: Hölzinger, J., Die Vögel Baden-Württembergs Band 1, Teil 2, 955 – 963.
- Glück, E.; Kreisel, A. (1986): Die Hecke als Lebensraum, Refugium und Vernetzungsstruktur und ihre Bedeutung für die Dispersion von Waldcarabidenarten. Laufener Seminarbeiträge 10, 64–83.
- Gürlich, S. (2009): Die Bedeutung historischer Alleen als Lebensraum für Käfer. In: LLUR (Hg.): Historische Alleen in Schleswig-Holstein - geschützte Biotope und grüne Kulturdenkmale. Abschlusspublikation des DBU-geförderten Modellprojekts 2005-2009. Kronshagen, Pirwitz Druck & Design, 49–82.
- Hänel, K. (2007): Methodische Grundlagen zur Bewahrung und Wiederherstellung großräumig funktionsfähiger ökologischer Beziehungen in der räumlichen Umweltplanung. Lebensraumnetzwerke für Deutschland. Dissertation. Universität Kassel. Fachbereich 06 – Architektur, Stadtplanung, Landschaftsplanung, 380 S.
- Heidt, E.; Plachter, H. (1996): Bewerten im Naturschutz: Probleme und Wege zu ihrer Lösung. Beitr. der Akademie für Natur- und Umweltschutz Baden-Württemberg 23, 193–252.
- Heydemann, B. (1984): zitiert in Informationen aus der Wissenschaft, LWF-Bericht Nr. 28.
- Heydemann, F.; Hansen, J.: Knicks, grüne Adern der Kulturlandschaft. Broschüre, Marius-Böger-Stiftung, 28 S.
- Hofmann, A. (2005): Elegans-Widderchen (*Zygaena angelicae elegans*) und Bergkronwicken-Widderchen (*Zygaena fausta*). In: G. Ebert (Hg.): Die Schmetterlinge Baden-Württembergs Band 10 Ergänzungsband, Ulmer.
- Irmeler, U.; Bock, W.; Daunicht, W.; Hanssen, U.; Hingst, R. (1996): Knicks als ökologische Verbundelemente in der Agrarlandschaft. EcoSys. Beiträge zur Ökosystemforschung 5, 193–203.
- Joos, R. (2006): Schutzverantwortung von Gemeinden für Zielarten in Baden-Württemberg. Dissertation. Universität Stuttgart. Institut für Landschaftsplanung und Ökologie.
- Kappen, L. (1996): Wallhecken als Gegenstand der Ökosystemforschung. EcoSys. Beiträge zur Ökosystemforschung 5, 1-10.
- Kaule, G. (1991): Arten- und Biotopschutz. 2. Aufl., Ulmer.
- Kimmel, M. (2015): Der Knick. Über Chancen und Grenzen des Erhalts eines kulturhistorischen Landschaftselements am Beispiel der Knicklandschaft Schleswig-Holsteins. Masterarbeit. Hochschule Neubrandenburg. Fachbereich Landschaftswissenschaften und Geomatik, Studiengang Landnutzungsplanung.
- Knauer, N. (1986): Landwirtschaft und Naturschutz. Bedeutung des Artenschutzes und mögliche Leistungen der Landwirtschaft. KALI-Briefe (Büntehof).
- Krebs, S. (2011): Neuanlage von Saumbiotopen auf Äckern. Landinfo 4, 8–12.
- Laußmann, H. (1998): Die mitteleuropäische Agrarlandschaft als Lebensraum für Heuschrecken (Orthoptera: Saltatoria). Agrarökologie 34.
- Lingner, S.; Thiessen, E.; Müller, K.; Hartung, E. (2018): Dry Biomass Estimation of Hedge Banks: Allometric Equation vs. Structure from Motion via Unmanned Aerial Vehicle. Journal of Forest Science 64 (4), 149–156.
- Link, M. (1996): Die Vegetation von Rainen in Mittelhessen in Abhängigkeit von ihrem Standort und der Nutzungsintensität angrenzender landwirtschaftlicher Flächen. Botanik und Naturschutz in Hessen 8, 5–85.
- Link, M.; Harrach, T. (1998): Artenvielfalt von Gras- und Krautrainen; Ermittlung einer Mindestbreite aus floristischer Sicht. Naturschutz und Landschaftsplanung 30, 5–9.
- Mordhorst, H., Rudolphi, H. (2009): Untersuchung ausgewählter Artengruppen unter Berücksichtigung ihrer Präferenz zum Biotoptyp Allee. In LLUR, Historische Alleen in Schleswig-Holstein – geschützte Biotope und grüne Kulturdenkmale, 34 - 43
- Nissen, H.; Lößner, P. Reck, H. (in Vorb./2019): GIS-gestützte Raumanalysen zum Flächenpotential von Straßenbegleitgrün. In: F. Zinner, H. Reck, K. Richter, S. Fritsch, H. Nissen und K. Müller: Modellhafte Untersuchungen des Begleitgrüns von Verkehrsflächen und ihrer Bedeutung für die biologische Vielfalt (Naturschutz und Biologische Vielfalt XXX).

- Petrak, M. (2008): Auf die Mischung kommt es an: Straßenbegleitgrün ohne Attraktion. Forschungsstelle für Jagdkunde und Wildschadenverhütung, Informationsblatt zum Bonner Jägertag 2008 - Verkehrswege und Wildwechsel - Analyse und Lösungswege. Bonn.
- Plachter, H.; Bernotat, D.; Müssner, R.; Riecken, U. (2002): Entwicklung und Festlegung von Methodenstandards im Naturschutz. *Schr.R. für Landschaftspflege und Naturschutz* 70.
- Puchstein, K. (1980): Zur Vogelwelt der schleswig-holsteinischen Knicks mit einer ornitho-ökologischen Bewertung der Knickstrukturen. *Corax* 2 (8), 62–108.
- Reck, H.: Das Zielartenkonzept: Ein integrativer Ansatz zur Erhaltung der biologischen Vielfalt? In: H. Wiggering und F. Müller (Hg.): *Umweltziele und Indikatoren – Wissenschaftliche Anforderungen an ihre Festlegung und Fallbeispiele*, Springer, 311–343.
- Reck, H.: Grüne Infrastruktur. In: C. Albert, R. Bürger-Arndt, M. Evers, C. Fischer, J. Freese, C. Galler et al. (Hg.): *Stand und Potenziale der Integration des Ökosystemleistungskonzeptes in bestehende Planungs- und Anreizmechanismen (Naturkapital Deutschland – TEEB DE: Inwertsetzung von Ökosystemleistungen ländlicher Räume)*, 258–262.
- Reck, H. (1996): Flächenbewertung für die Belange des Arten- und Biotopschutzes. *Beitr. der Akademie für Natur- und Umweltschutz Baden-Württemberg* 23, 71–112.
- Reck, H.; Hänel, K.; Strein, M.; Georgii, B.; Henneberg, M.; Peters-Ostenberg, E.; Böttcher, M.: *Green Bridges, Wildlife Tunnels and Fauna Culverts - The Biodiversity Approach / Grünbrücken, Faunatunnel und Tierdurchlässe - Anforderungen an Querungshilfen*. BfN-Skripten 522, 97 S.
- Reck, H.; Kaule, G. (1993): Zur Verpflanzung von Hecken und Halbtrockenrasen in der Flurbereinigung. Teil 2: Auswirkungen auf Tiere. *Verh. Ges. Ökol.* 22, S. 145–152.
- Reck, H.; Kaule, G. (1994): Straßen und Lebensräume - Ermittlung und Beurteilung straßenbedingter Auswirkungen auf Pflanzen, Tiere und ihre Lebensräume. *Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik* 645, 230 S.
- Reck, H.; Müller, K. (2017): Die Entwicklung von Verkehrsbegleitgrün als Bestandteil der Grünen Infrastruktur Deutschlands: Bedeutung, Zielbestimmung, Design, Pflege und Monitoring. Zwischenfazit (Stand April 2017) zum BfN-Vorhaben „Begleitgrün als Lebensraum. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V. Köln (Tagungsband Veitshöchheim, Landschaftstagung 2017).
- Reck, H.; Nissen, H.; Liesche, J.; Kriese, M. (2018): Vergleich der Überwindbarkeit von Fernstraßen und Grünbrücken durch Laufkäfer. In: F. Zinner, H. Reck und K. Richter: *Wirksamkeit von Querungshilfen für Kleintiere*. *Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik* 1131, 99–105.
- Reck, H.; Schulz, B.; Müller, K.; Nissen, H. (in Vorb.): *E + E-Leuchtturmprojekt Holsteiner Lebensraumkorridore (BfN 2016)*.
- Reck, H.; van der Ree, R.: Insects, snails and spiders: The role of invertebrates in road ecology. In: R. van der Ree, D. J. Smith und C. Grilo (Hg.): *Handbook of Road Ecology*. Oxford, John Wiley & Sons, 247–257.
- Rietze, J.; Reck, H. (1997): Wirksamkeit von Grünbrücken für wirbellose Tierarten - Untersuchungen an der B 31 neu und Synthese. *Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik* 756, 327–468.
- Schrautzer, J.; Irmeler, U.; Kappen, L. (1996): Ökosystemanalyse als Grundlage eines Bewertungs- und Leitbildkonzepts für den Knickschutz. *EcoSys. Beiträge zur Ökosystemforschung* 5, 225–241.
- Schlierer, A. (1984): Straßenbegrünung. Möglichkeiten und Grenzen der Gehölzansaat. *Taspo* 6, 14–17.
- Schmelz, F. T. (2001): *Lineare anthropogene Gehölz- und Saumstrukturen im Bachgau*. Dissertation. Justus-Liebig-Universität, Gießen. Geogr. Inst.
- Schmidt, O. (1999): Alte Bäume - Totholz von morgen. *Info. d. Wissenschaft/LWF- Aktuell* 18.
- Schmüser, H.; Broszio, F.; Fehlberg, U.; Reck, H. (2014): *Das Wildunfall- und Totfundkataster Schleswig-Holstein - ein Modell*. *Jagd und Artenschutz, Jahresbericht 2014*, 24–28.

- Schulz, B. (2015): Wie können die Ansprüche der Haselmaus bei der Pflege von Straßenbegleitgebüsch am besten berücksichtigt werden? Präsentation, bnur-Seminar 2015-63: Schutz von Flora und Fauna vor, während und nach der Baudurchführung bei Straßenbauprojekten.
- Schulz, B.; Büchner, S. (2018): Populations of *Muscardinus avellanarius* in north-western Europe can survive in forest poor landscapes, when there are enough hedges (Rodentia: Gliridae). *Lynx*, n. s. (Praha) 49, 58–68.
- Spreier, B. (1982): Bedeutung von Hecken in Flurbereinigungsgebieten als Reservoir für tierische Organismen, untersucht am Beispiel der Carabidae und Isopoda. Dissertation. Ruprecht-Karls Universität, Heidelberg, 188 S.
- Stamm, S. von; Welters, A. (1996): Zur Geschichte der schleswig-holsteinischen Knicks. *EcoSys. Beiträge zur Ökosystemforschung* 5, 11–22.
- Stickroth, H.; Schmitt, G.; Achtziger, R.; Nigmann, U.; Richert, E.; Heilmeier, H. (2003): Konzept für ein natur-schutzorientiertes Tierartenmonitoring. *Angewandte Landschaftsökologie* 50.
- Strein, M., Reck, H., Hänel, K. (in Vorb./2019): Wirksamkeitskontrollen an Querungshilfen - Untersuchungen zur Ableitung von Gestaltungsempfehlungen und Prüfkriterien für eine verbesserte und nachhaltige Funktionsfähigkeit (hier insbes.: Kapitel 3.1.5 Gehölzstreifen Hettingen). Erscheint voraussichtlich in *Naturschutz und Biologische Vielfalt*
- Studte, B.; Leideck, S.; Jünger, G.; Hefter, I.; Tischew, S. (2013): Naturnahe Begrünungsmaßnahmen in Offenlandlebensräumen. Aktuelle Situation, Methoden und Ausblick für Sachsen-Anhalt. *Naturschutz im Land Sachsen-Anhalt* 50, 3–11.
- Theves, F. (2013): Laufkäfer (Col., Carabidae) in Feldhecken Südwestdeutschlands - Vergesellschaftung und Biodiversität in Abhängigkeit von der Habitatqualität. Dissertation. Universität Hohenheim. Online verfügbar unter [https://opus.uni-hohenheim.de/volltexte/2013/852/pdf/Diss\\_Theves.pdf](https://opus.uni-hohenheim.de/volltexte/2013/852/pdf/Diss_Theves.pdf).
- Unterseher, B. (2015): Straßenbegleitgrün. Hinweise zur ökologisch orientierten Pflege von Gras- und Gehölzflächen an Straßen. Ministerium für Verkehr und Infrastruktur Baden-Württemberg, 61 S.
- Usher, M.B., Erz, W. (Hrsg.) (1994): Erfassen und Bewerten im Naturschutz. UTB, Quelle & Meyer, 340 S.
- Vermeulen, H. J.W. (1994): Corridor function of a road verge for dispersal of stenotopic heathland ground beetles. *Biological Conservation* 69 (3), 339–349.
- Verstrael, T., van den Hengel, B., Keizer, P.-J., van Schaik, T., de Vries, H., van den Berg, S. (2000): National highway verges ... national treasures! Drukkerij Ronaveld, Den Haag.
- Werner, M. (2014): Leitfaden für die fachgerechte Unterhaltungspflege von Gehölzflächen an Straßen. Landesbetrieb Straßenbau und Verkehr Schleswig-Holstein, 11 S. + Anhang.
- Wulf, A. (2000): Die Eignung landschaftsökologischer Bewertungskriterien für die raumbezogene Umweltplanung. Dissertation, CAU Kiel, 464 S.
- ZAK (o. D.): Informationssystem Zielartenkonzept Baden-Württemberg. Online verfügbar unter <https://www2.lubw.baden-wuerttemberg.de/public/abt5/zak/>.
- Zinner, F., Fritsch, S., Richter, K. (2019): Kapitel 5.1, Faunistische Studien zur Bedeutung des Straßenbegleitgrüns in der Ackerbörde von Sachsen-Anhalt / Raum Bernburg. In: Zinner, F., Reck, H., Richter, K., Fritsch, S., Nissen, H., Müller, K. (in Vorb./2019): Modellhafte Untersuchungen des Begleitgrüns von Verkehrsflächen und ihrer Bedeutung für die biologische Vielfalt. *Naturschutz und Biologische Vielfalt* XXX
- Zwölfer, H.; Bauer, G.; Heusinger, G.; Stechmann, D. (1984): Die tierökologische Bedeutung und Bewertung von Hecken. *Ber. ANL* 3 (2).