

# HOCHSCHULE OSNABRÜCK

UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

## Planung eines silvopastoralen Agroforstsystems zur Anpassung an den Klimawandel



### Bachelorarbeit

im Studiengang Wirtschaftsingenieurwesen im Agri- und Hortibusiness (B. Eng.)

an der Fakultät Agrarwissenschaften und Landschaftsarchitektur

Vorgelegt von: Eric Bruhn

Matrikelnummer: 829187

Ausgabedatum: 15.12.2022

Abgabedatum: 09.03.2023

Erstprüferin: Prof. Dr. Kathrin Deiglmayr

Zweitprüfer: Prof. Dr. Stefan Taeger

# Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis</b>	<b>I</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>III</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>VI</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>VII</b>
<b>1 Einleitung und Problemstellung</b>	<b>1</b>
<b>2 Stand des Wissens</b>	<b>2</b>
<b>2.1 Der Klimawandel in Niedersachsen</b>	<b>2</b>
<b>2.2 Auswirkungen auf die Milchkuhhaltung in Niedersachsen</b>	<b>5</b>
<b>2.3 Silvopastorale Agroforstwirtschaft zur Klimawandelanpassung</b>	<b>8</b>
2.3.1 Allgemeines zur silvopastoralen Agroforstwirtschaft	8
2.3.2 Vorteile und Herausforderungen der silvopastoralen Agroforstwirtschaft	9
2.3.3 Gestaltung silvopastoraler Agroforstsysteme	14
2.3.4 Bewirtschaftung silvopastoraler Agroforstsysteme	18
2.3.5 Auswahl geeigneter Gehölze	19
2.3.6 Rechtliches zu Agroforstsystemen	20
<b>3 Material und Methoden</b>	<b>22</b>
<b>3.1 Milchkuhbetrieb Bruhn GbR</b>	<b>22</b>
<b>3.2 Standortbedingungen der Weide</b>	<b>23</b>
3.2.1 Lage, Größe und Höhe der Weide	23
3.2.2 Bisheriges und zukünftiges Klima	24
3.2.3 Bodeneigenschaften	26
3.2.4 Vegetation und Sonstiges	29
<b>3.3 Aktuelle Bewirtschaftung der Weide</b>	<b>30</b>
<b>3.4 Planung der Agroforstsysteme</b>	<b>30</b>
3.4.1 Definition der Anforderungen an ein Agroforstsystem aus der Sicht des Betriebs	30
3.4.2 Erstellung der Gestaltungsentwürfe	30
3.4.3 Auswahl der Gehölzarten	33
3.4.4 Erstellung der Bepflanzungskonzepte	34
3.4.5 Erstellung des Anlage- und Bewirtschaftungskonzepts	35
<b>4 Ergebnisse</b>	<b>36</b>
<b>4.1 Anforderungen an ein Agroforstsystem aus der Sicht des Betriebs</b>	<b>36</b>
<b>4.2 Gestaltungsentwürfe</b>	<b>36</b>
4.2.1 Gestaltungsentwurf 1	37
4.2.2 Gestaltungsentwurf 2	40
<b>4.3 Ausgewählte Gehölzarten</b>	<b>42</b>
4.3.1 Baumarten für die Wertholznutzung	42
4.3.2 Gehölzarten für die Futterlaubproduktion	43
4.3.3 Gehölzarten für eine Windschutzheckenpflanzung	44

<b>4.4</b>	<b>Bepflanzungskonzepte</b>	<b>46</b>
4.4.1	Bepflanzungskonzept 1	46
4.4.2	Bepflanzungskonzept 2	50
<b>4.5</b>	<b>Anlage- und Bewirtschaftungskonzept</b>	<b>53</b>
<b>5</b>	<b>Diskussion</b>	<b>56</b>
<b>5.1</b>	<b>Diskussion der angewandten Methoden</b>	<b>56</b>
<b>5.2</b>	<b>Diskussion der Agroforstsystemplanungen</b>	<b>58</b>
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>63</b>
<b>7</b>	<b>Abstract</b>	<b>64</b>
<b>8</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>65</b>
<b>Anhang</b>		<b>89</b>
<b>Eidesstattliche Erklärung</b>		<b>121</b>

## Abkürzungsverzeichnis

€	Euro
°C	Grad Celsius
%	Prozent
$\sum KAK_{\text{eff}}$	Summe der effektiven Kationenaustauschkapazität
AR5	Fifth Assessment Report, deutsch: Fünfter Sachstandsbericht
AUKM	Agrarumwelt- und Klimamaßnahmen
BF	Bodenfeuchtigkeit
BS-Wert	Basensättigungsgrad
cm	Zentimeter
cm/d	Zentimeter pro Tag
CO <sub>2</sub>	Kohlenstoffdioxid
DeFAF	Deutscher Fachverband für Agroforstwirtschaft e. V.
dm	Dezimeter
dt	Dezitonne
EGFL	Europäische Garantiefonds für die Landwirtschaft
ELER	Europäischer Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des ländlichen Raums
EU	Europäische Union
EU-27	Europäische Union mit 27 Mitgliedsstaaten
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations, deutsch: Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen
FK	Feldkapazität
FLL	Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung und Landschaftsbau
g	Gramm
GAB	Grundanforderungen an die Betriebsführung
GAP	Gemeinsame Agrarpolitik der EU

GAPDZG	Gesetz zur Durchführung der im Rahmen der Gemeinsamen Agrarpolitik finanzierten Direktzahlungen
GAPDZV	Verordnung zur Durchführung der GAP-Direktzahlungen
GAPKondV	Verordnung zur Durchführung der im Rahmen der Gemeinsamen Agrarpolitik geltenden Konditionalität
GLÖZ	gute landwirtschaftliche und ökologische Bedingungen
GPV	Gesamtporenvolumen
h	Stunde
ha	Hektar
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change, deutsch: Weltklimarat
ISSs	intensive silvopastoral systems, deutsch: intensive silvopastorale Systeme
kA	kapillare Aufstiegsrate
kF	gesättigte Wasserleitfähigkeit
kg	Kilogramm
LBEG	Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie
LER	Land Equivalent Ratio
LGLN	Landesamt für Geoinformation und Landesvermessung
LUFA	Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt
m <sup>2</sup>	Quadratmeter
mg	Milligramm
MJ	Megajoule
mm	Millimeter
mm/a	Millimeter pro Jahr
mm/d	Millimeter pro Tag
nFK	nutzbare Feldkapazität
nFKWe	nutzbare Feldkapazität des effektiven Wurzelraums
NHN	Normalhöhennull

ppm	parts per Million, deutsch: Millionstel
RCP 8.5	representative concentration pathway with radiative forcing of 8.5 W/m <sup>2</sup> , deutsch: repräsentativer Konzentrationspfad mit einem Strahlungsantrieb von 8,5 W/m <sup>2</sup>
SN	Vertragen von Staunässe
t	Tonne
THI	Temperature-Humidity-Index, deutsch: Temperatur-Luftfeuchtigkeits-Index
TM	Trockenmasse
T <sub>Max</sub>	Temperaturmaximum
T <sub>Min</sub>	Temperaturminimum
TR	Trockenheitsresistenz
TRD	Trockenrohddichte
TW	Totwasser
ÜT	Überflutungstoleranz
W/m <sup>2</sup>	Watt pro Quadratmeter
WO	Wuchsordnung

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Der Temperaturanstieg in Niedersachsen seit 1881 (LBEG 2019, BORSCHE et al. 2018, verändert).....	3
Abb. 2: Bildliche Darstellung der Bodenfeuchte unter Gras in der Bodentiefe 0 bis 60 cm im Sommerhalbjahr in Prozent nutzbare Feldkapazität (nFK) (KASPAR et al. 2022, verändert). 7	
Abb. 3: Ruhende Milchkühe im Schatten von Bäumen (BRUHN 2022). ....	10
Abb. 4: Effekt von Bäumen auf das Graswachstum während einer Sommertrockenheit (CARRARA o. J. zitiert nach PALMA et al. 2017). ....	11
Abb. 5: Auswirkungen einer Hecke auf die Windgeschwindigkeit und den Landschaftswasserhaushalt (MÜLLER 1990 zitiert nach ANDERßON 2022, verändert). ....	13
Abb. 6: Eine Milchkuh bestämt eine junge Futterlaubanlage (NOVAK o. J. zitiert nach MOLLIER 2019).....	14
Abb. 7: Mögliche Anordnungsformen von Gehölzen (NEWMAN 2019, verändert).....	15
Abb. 8: Querschnitt einer Strauch-Baumhecke (ANDERßON 2022, verändert).....	16
Abb. 9: Die häufigsten Schnittmethoden für Futterlaub in Neu Seeland (CHARLTON et al. 2003, verändert).....	19
Abb. 10: Standort des Milchkuhbetriebs Bruhn GbR (WIKIPEDIA 2010, verändert). ....	22
Abb. 11: Lage und Größenmaße der Fläche (LGLN o. J., verändert). ....	23
Abb. 12: Bodenprofil der Weide (BRUHN 2022). ....	28
Abb. 13: Gestaltungsentwurf 1 (LGLN o. J., verändert). ....	39
Abb. 14: Gestaltungsentwurf 2 (LGLN o. J., verändert). ....	41
Abb. 15: Bepflanzungsplan 1 (LGLN o. J., verändert).....	46
Abb. 16: Bepflanzungsplan 1, detailliert (LGLN o. J., verändert).....	47
Abb. 17: Bepflanzungsplan 2 (LGLN o. J., verändert).....	50
Abb. 18: Bepflanzungsplan 2, detailliert (LGLN o. J., verändert).....	51

## Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Ausgewählte Gestaltungsparameter für silvopastorale Agroforstsysteme, insbesondere für eine streifenförmige Anordnung .....	17
Tab. 2: Klimaparameter für die Weide für die Zeiträume 1971 bis 2000, 2021 bis 2050 und 2071 bis 2100 (MU Niedersachsen o. J.).....	25
Tab. 3. Beschreibung des Bodenprofils .....	28
Tab. 4: Bestandteile der Agroforstsystemplanung .....	36
Tab. 5: Baumarten für die Wertholznutzung .....	42
Tab. 6: Gehölzarten für die Futterlaubproduktion.....	43
Tab. 7: Gehölzarten für eine Windschutzhecke, trockenerer Bereich.....	44
Tab. 8: Gehölzarten für eine Windschutzhecke, feuchterer Bereich .....	45
Tab. 9: Ästung der ausgewählten Wertholzbäume .....	54



# 1 Einleitung und Problemstellung

Die globale Erderwärmung führt auch in Niedersachsen zu weitreichenden klimatischen Veränderungen (BORSCHE et al. 2018). Die durchschnittliche Jahresmitteltemperatur könnte im Zeitraum 2071 bis 2100 um 3,5 Grad Celsius (°C) höher sein als im Bezugszeitraum 1971 bis 2000. Bereits heute ist ein Trend häufigerer wärmerer Tage zu verzeichnen (BORSCHE et al. 2018, DWD 2022). Verschiedene Größen im Wasserkreislauf verändern sich aufgrund der Erderwärmung, was zu einer Betroffenheit der Landwirtschaft wegen ausgetrockneter Böden führt (BORSCHE et al. 2018, RIEDEL et al. 2021, KASPAR et al. 2022). Das Dürrejahr 2018 verursachte deutschlandweit einen geschätzten Schaden von 770 Millionen Euro (€) in den betroffenen landwirtschaftlichen Betrieben (BMEL 2022). Langfristig könnten die Sommerniederschläge in Niedersachsen um bis zu 12 Prozent (%) sinken und das aktuelle Defizit der klimatischen Wasserbilanz in den Sommermonaten könnte sich verdoppeln (BORSCHE et al. 2018). Insgesamt droht der Klimawandel Belastungen für Milchkuhbetriebe durch Ertragsausfälle im Grünlandfutterbau und hitzeleidender Kühe mit sich zu bringen (COLLIER et al. 2012, ELSÄßER et al. 2020). Die gezielte Nutzung von Gehölzen in Form von silvopastoralen Agroforstsystemen stellt eine Möglichkeit zur Anpassung an den Klimawandel für Milchkuhbetriebe dar (KARKI et GOODMAN 2010, PENT et al. 2020, PENT et FIKE 2022). Silvopastorale Agroforstsysteme können das Mikroklima zu Gunsten von Milchkühen und der Futterpflanzen verändern, die Bodenfruchtbarkeit steigern und eine alternative Futterquelle mit Futterlaub bieten (BELSKY 1994, KARKI et GOODMAN 2010, GABRIEL 2018, PENT et FIKE 2022). Allerdings werden die Gestaltung und damit die Auswirkungen eines Agroforstsystems durch verschiedene Parameter entschieden (SILVA-PANDO et al. 2002, BENDER et al. 2009, DUPRAZ et al. 2018, THEVATHASAN et al. 2018, JOSE et al. 2019). Mit dieser Bachelorarbeit soll anhand einer Weide des niedersächsischen Milchkuhbetriebs Bruhn GbR herausgefunden werden, wie und mit welchen Gehölzarten zwei unterschiedliche silvopastorale Agroforstsysteme geplant werden können. Anschließend sollen die geplanten Systeme in Hinblick auf verschiedene Punkte, wie der Eignung zur Anpassung an den Klimawandel oder der Bewirtschaftungsmöglichkeit, betrachtet werden, um eine Handlungsempfehlung auszusprechen.

## 2 Stand des Wissens

Im Folgenden werden Veränderungen relevanter Treibhausgase und die bereits beobachteten Entwicklungen des niedersächsischen Klimas dargestellt. Außerdem werden die Erwartungen für das zukünftige Klima in Niedersachsen beschrieben. Die Erwartungen basieren vor allem auf den Fünften Sachstandsbericht (AR5) des Weltklimarates (IPCC) und dessen Weiterwieser-Szenario (RCP 8.5). Der Klimareport Niedersachsen von BORSCHE et al. (2018) überträgt die Ergebnisse des AR5 auf die niedersächsische Ebene. Die Erwartungen sind in Relation zum Bezugszeitraum 1971 bis 2000 angegeben und sind in die mittleren Änderungen für einen kurzfristigen Zeitraum (Jahr 2021 bis 2050) und einen langfristigen Zeitraum (Jahr 2071 bis 2100) unterteilt. Anschließend wird in Kapitel 2.2 erläutert, welche Auswirkungen der Klimawandel auf Milchkuhbetriebe in Niedersachsen bereits hat und weiterhin haben wird.

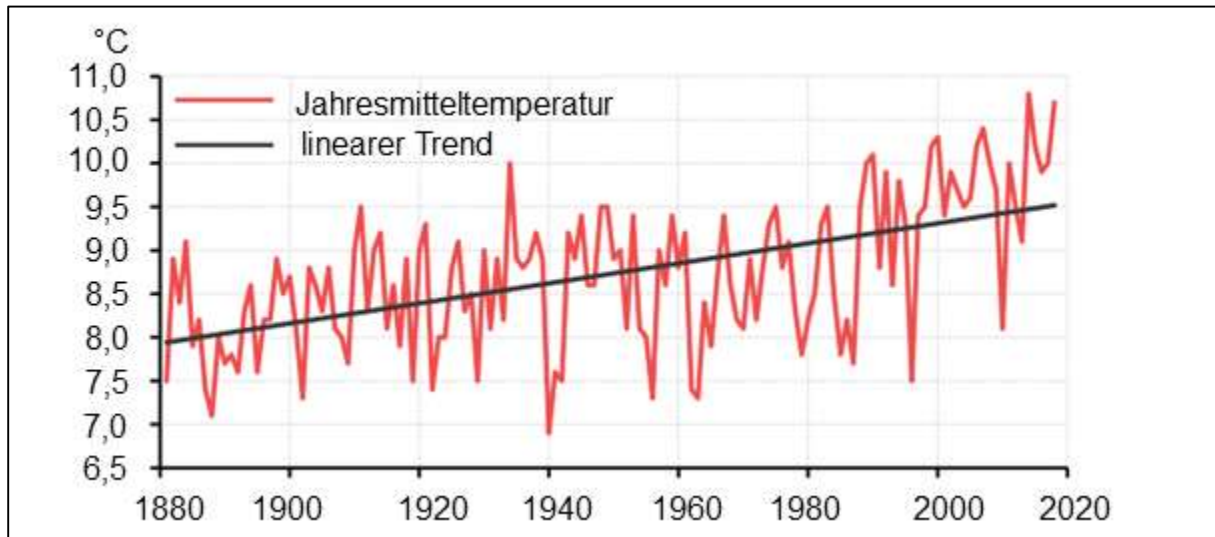
### 2.1 Der Klimawandel in Niedersachsen

Die Konzentrationen von Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>), Methan (CH<sub>4</sub>) und Lachgas (N<sub>2</sub>O) in der Atmosphäre erhöhten sich in den letzten 100 Jahren rapide (ARIAS et al. 2021). Beispielsweise stieg die Konzentration von CO<sub>2</sub> seit 1960 von etwa 320 parts per million (ppm) auf ungefähr 420 ppm im Jahr 2021 an (UBA 2022). Mit den Konzentrationsanstiegen der Treibhausgase ist eine global beobachtbare Erhöhung der Jahresmitteltemperatur und eine Veränderung weiterer Klimaparameter sowohl auf globaler als auch auf regionaler Ebene verbunden (BORSCHE et al. 2018).

Gemäß dem Klimareport Niedersachsen von BORSCHE et al. (2018) erhöhte sich die Jahresmitteltemperatur in Niedersachsen im Zeitraum 1881 bis 2018 um ca. 1,5 °C (Abb. 1). Daneben ist eine zunehmende Häufigkeit der Sommertage und der heißen Tage pro Jahr beobachtbar (ebd.). Sommertage haben eine Tageshöchsttemperatur (T<sub>max</sub>) von mindestens 25 °C und heiße Tage eine T<sub>max</sub> von mindestens 30 °C. Gleichzeitig sank die Anzahl der jährlichen Frosttage von 1951 bis 2018 um 23 Tage (ebd.). Frosttage haben ein Temperaturminimum (T<sub>min</sub>) unter 0 °C. Kurzfristig prognostiziert der Klimareport eine Erhöhung der Jahresmitteltemperatur um 1,4 °C. Die langfristige Zunahme der Jahresmitteltemperatur beträgt etwa 3,5 °C.

BORSCHE et al. (2018) beschreiben ein teilweise früheres Eintreten der phänologischen Jahreszeiten im Zeitraum von 1991 bis 2017 vergleichend zum Referenzzeitraum 1961 bis 1990. Demnach setzen vor allem die Frühlingsperioden früher als die anderen phänologischen Zeiten ein. Dies ist auf den in Relation starken Temperaturanstieg und der starken Temperaturabhängigkeit der phänologischen Prozesse während des Vegetationsbeginns

zurückzuführen (ebd.). Zusätzlich meint das Autorenteam, dass bis auf den Spätherbst und Winter alle phänologischen Jahreszeiten früher beginnen und teilweise auch länger werden. Dadurch verlängert sich zwar die Vegetationsperiode innerhalb eines Jahres, jedoch nimmt damit auch das Spätfrostisiko für Pflanzen zu.



**Abb. 1: Der Temperaturanstieg in Niedersachsen seit 1881 (LBEG 2019, BORSCHE et al. 2018, verändert).**

Im Zeitraum 1881 bis 2018 stieg der Jahresniederschlag in Niedersachsen um durchschnittlich 15 % bzw. um ca. 100 Millimeter (mm) (BORSCHE et al. 2018). Explizit erhöhte sich der Winterniederschlag um 52 mm, der Herbstniederschlag um 28 mm, der Frühlingsniederschlag um 16 mm und der Sommerniederschlag um 2 mm. Fortführend beschreiben BORSCHE et al. (2018) eine Zunahme der Tage mit hoher Niederschlagsmenge pro Jahr seit 1951 um 2,3 Tage. Ab 10 mm wird die tägliche Niederschlagsmenge als hoch eingestuft. Mit der Temperatur erhöht sich das Potenzial für extreme Niederschlagsmengen (RIEDEL et al. 2021). Kurzfristig erwarten BORSCHE et al. (2018) eine geringe Steigerung des mittleren Jahresniederschlags um 4 % und langfristig um 8 %. In einer jahreszeitlichen Betrachtung der langfristigen Prognose wird der Winterniederschlag um 24 %, der Frühjahrsniederschlag um 12 % und der Herbstniederschlag um 7 % steigen. Der Sommerniederschlag wird hingegen um bis zu 12 % abnehmen.

Die Verdunstung erhöhte sich in Norddeutschland bereits um mehr als 12 % im Zeitraum 1960 bis 2010 (TEULING et al. 2019). Mit einem Temperaturanstieg erhöht sich der Verdunstungsanspruch der Atmosphäre (RIEDEL et al. 2021). Weitere Faktoren, die die Verdunstung erhöhen können, sind eine höhere Globalstrahlung, eine längere Vegetationsperiode, ein stärkeres Pflanzenwachstum und eine veränderte Landnutzung

(TEULING et al. 2019). Kurzfristig nimmt die jährliche Verdunstung um 7 % und langfristig um 19 % zu (BORSCHE et al. 2018).

Im Bezugszeitraum betrug die klimatische Wasserbilanz im jährlichen Durchschnitt etwa 185 mm (BORSCHE et al. 2018). Im Sommerhalbjahr wies die klimatische Wasserbilanz allerdings ein durchschnittliches Defizit von 69 mm auf. Kurzfristig nimmt die klimatische Wasserbilanz pro Jahr geringfügig ab. Langfristig wird eine starke Abnahme von 66 % angenommen. Für das Sommerhalbjahr wird kurzfristig von einer Minderung um 25 % ausgegangen und eine langfristige Verdoppelung des aktuellen Defizits vermutet. Durch die sinkende klimatische Wasserbilanz ist mit geringeren Bodenwasservorräten, geringerer Grundwasserneubildung und geringeren Abflussmengen zu rechnen (RIEDEL et al. 2021).

Mit einem Temperaturanstieg nimmt die Wahrscheinlichkeit für Dürren zu (THOBER et al. 2018). SPINONI et al. (2017) gehen von zukünftig häufigeren und stärkeren Dürren in Niedersachsen aus. Treibende Faktoren einer Dürre sind Niederschlagsmangel, hohe Verdunstungsraten, ein kontinuierlicher Basisabfluss, hohe Windgeschwindigkeiten sowie eine niedrige relative Luftfeuchtigkeit (RIEDEL et al. 2021). Im Sommerhalbjahr werden ab 2050 längere Phasen ohne Niederschlag auftreten (BRIENEN et al. 2012). RIEDEL et al. (2021) erläutern, dass Trockenereignisse in Deutschland bisher oft mit sehr hohen Temperaturen und starker Sonneneinstrahlung auftraten. Weiter erklären RIEDEL et al. (2021), dass sich Dürren aufgrund niedriger Bodenfeuchtigkeit und der daraus resultierenden geringeren tatsächlichen Verdunstung selbstverstärkt. HARI et al. (2020) berechnen, dass die Wahrscheinlichkeit für Dürredoppeljahre, wie das Dürredoppeljahr 2018/2019, ab 2050 stark zunehmen wird.

Zusammenfassend ist bereits von 1881 bis 2018 ein Anstieg der Jahresmitteltemperatur in Niedersachsen aufgrund des Konzentrationsanstiegs von Treibhausgasen zu beobachten gewesen. Langfristig wird die Jahresmitteltemperatur weiter zunehmen. Im Sommer ist häufiger mit Temperaturen über 25 °C zu rechnen. Der Wasserkreislauf wird sich verändern. Der Jahresniederschlag wird weiter ansteigen. Besonders im Winterhalbjahr wird mehr Niederschlag fallen. Im Sommer wird der Niederschlag jedoch abnehmen. Aufgrund der steigenden Temperaturen wird eine höhere Verdunstung in Niedersachsen erwartet, sodass die klimatische Wasserbilanz im Sommerhalbjahr ein wesentlich größeres Defizit aufweisen wird.

## 2.2 Auswirkungen auf die Milchkuhhaltung in Niedersachsen

Die Veränderungen in der Atmosphäre und der damit einhergehende Klimawandel hat vielfältige und komplexe Auswirkungen auf die landwirtschaftliche Produktion (GÖMANN et al. 2017). Diese sind sowohl positiv als auch negativ. Im Folgenden werden die Auswirkungen auf die Futterproduktion im Grünland und auf die Milchkuhhaltung begrenzt.

Das Treibhausgas CO<sub>2</sub> ist einer der bedeutsamsten Pflanzennährstoffe (WEIGEL 2011). Die geringe Konzentration von CO<sub>2</sub> in der Atmosphäre begrenzt oft die Primärproduktion von C3-Pflanzen (SCHUBERT 2018). Als Konsequenz bewirkt eine erhöhte CO<sub>2</sub>-Konzentration häufig eine Steigerung der Photosyntheserate für C3-Pflanzen (GÖMANN et al. 2017, WEIGEL 2011). Dadurch wird der Ernteertrag positiv beeinflusst (ELSÄBER et al. 2020, STEFFEN et BERGKNECHT 2006). Diese Wirkung des Konzentrationsanstiegs wird als CO<sub>2</sub>-Düngeeffekt bezeichnet (GÖMANN et al. 2017).

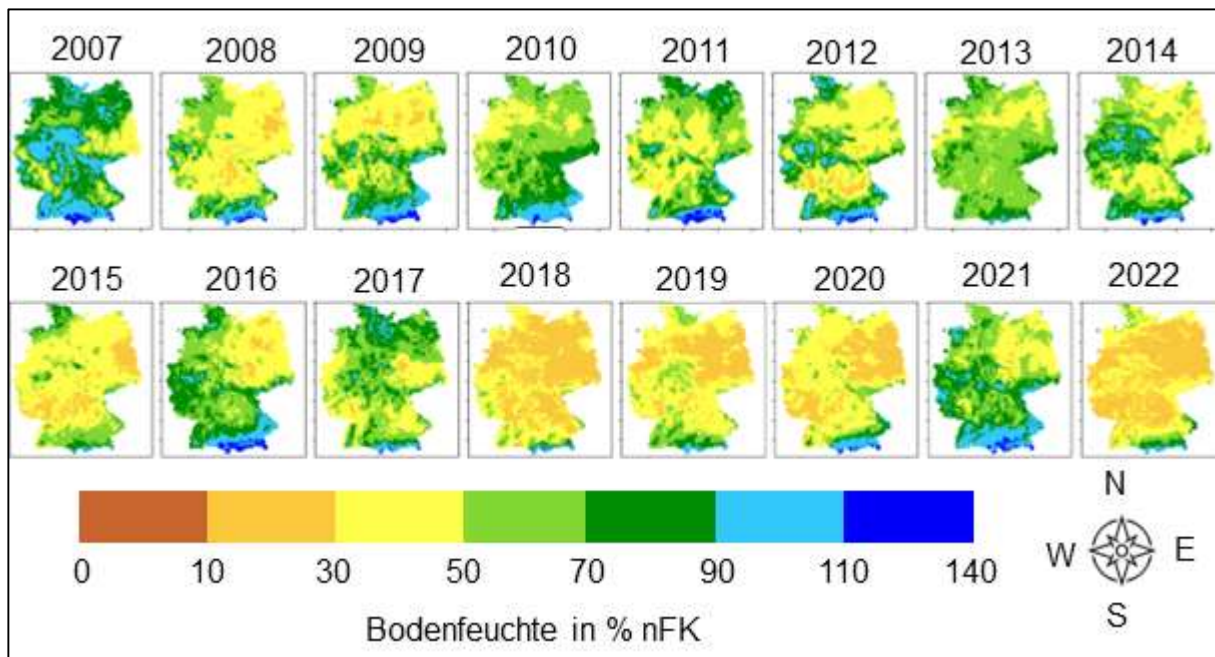
Ein Anstieg der Temperaturen könnte grundsätzlich für ein schnelleres Pflanzenwachstum sorgen (BLOOR et al. 2010). Ein Überschreiten des Temperaturoptimums begrenzt allerdings das Pflanzenwachstum (DE BOECK et al. 2008). Nach ELSÄBER et al. (2020) beginnen aufgrund der höheren Temperaturen im Frühjahr die Vegetationsperiode und damit auch das Graswachstum vorzeitig. Dies könnte eine frühere Grasnutzung ermöglichen. Jedoch ist mit dem früheren Wachstumseintritt eine frühzeitigere Nutzung des Bodenwassers verbunden (RIEDEL et al. 2021). Grundlage für ein optimales Graswachstum ist nach ELSÄBER et al. (2020) eine ausreichende Bodenfeuchtigkeit bzw. Wasserversorgung. Temperaturen ab 30 °C wirken zunehmend letal und Hitzeschäden in Form von Substanzverlusten können auftreten (ebd.).

Das DLG-Merkblatt zur Vermeidung von Hitzestress bei Milchkühen von BÜSCHER et al. (2021) gibt als optimalen Temperaturbereich für laktierende Milchkühe 4 bis 16 °C an. Der Temperatur-Luftfeuchtigkeitsindex (THI) dient zur Einstufung des Hitzestresses von Milchkühen (RIEDEL et al. 2021). Der THI wird in Abhängigkeit von der relativen Luftfeuchtigkeit und der Temperatur berechnet (COLLIER et al. 2012). COLLIER et al. (2012) haben eine Tabelle erstellt, die eine Einordnung der relativen Luftfeuchtigkeit, der Temperatur, des jeweiligen THI und der dazugehörigen Stufe des Hitzestresses ermöglicht. Das HELMHOLTZ-ZENTRUM HEREON (o. J.) gibt für Niedersachsen eine durchschnittliche relative Luftfeuchtigkeit von 73 % im Sommer für den Zeitraum 1981 bis 2010 an. Gemäß der Tabelle von COLLIER et al. (2012) sinkt die Milchleistung bereits bei einer relativen Luftfeuchtigkeit von 70 % und einer Temperatur von 22 °C. Die Abnahme der Milchleistung basiert auf der geringeren Futterraufnahme der Kühe (BÜSCHER et al. 2021). In einer Studie

messen GANTNER et al. (2011) signifikante Abnahmen der Milchleistung aufgrund von Hitzestress. Mit einer Zunahme der Jahresmitteltemperatur und der Häufigkeit an Tagen, die ein  $T_{\text{Max}} \geq 25 \text{ °C}$  aufweisen, werden Milchkühe stärker und häufiger an Hitzestress leiden (GAULY et al. 2013). Die Belastung durch Hitze kann außerdem das Immunsystem schwächen und im Extremfall zum Tod führen (PENT et FIKE 2022).

Starke Niederschläge sind laut ELSÄßER et al. (2020) bei gutem Zustand des Grünlands selten problematisch. Allerdings beeinträchtigen Überschwemmungen und Staunässe das Wachstum der Süßgräser, zum Beispiel des Deutschen Weidelgrases (*Lolium perenne* L.) (KLAPP 1965). Gemäß ELSÄßER et al. (2020) hängt das Ausmaß einer Beeinträchtigung von der Dauer der Belastung ab. Die Klimawirkungsstudie Niedersachsen von ELBRACHT et al. (2019) erläutert, dass die zukünftigen Trockenperioden im Sommer in einer schlechteren Nährstoffausnutzung resultieren. Dadurch entstehen im Herbst Nährstoffüberhänge (ebd.). Laut der Klimawirkungsstudie führen die Zunahme an Starkregenereignissen und eine teilweise Verschiebung der Niederschläge in das Winterhalbjahr zu einem höheren Verlagerungsrisiko von nicht sorbierbaren Nährstoffen wie z.B. Nitrat und damit zu höheren Stickstoffverlusten.

Aufgrund der zunehmend negativeren klimatischen Wasserbilanz im Sommerhalbjahr trocknen die Böden im Frühjahr vorzeitiger und im Sommer stärker aus (KASPAR et al. 2022). Mit dem Klimawandel wird vor allem Wasser der begrenzende Faktor für die Nutztierhaltung werden (STEINFELD et al. 2006, DE FRAITURE et al. 2010). In Abb. 2 ist zu sehen, wie sich die Bodenfeuchte, ausgedrückt in % der nutzbaren Feldkapazität in 0 bis 60 Zentimetern (cm) Bodentiefe, im Sommerhalbjahr des Zeitraums 2007 bis 2022 entwickelte. Die nutzbare Feldkapazität dient als Maß für die Wasserversorgung der Pflanzen und variiert mit den Bodeneigenschaften (STAHR et al. 2016). Abb. 2 verdeutlicht, dass sich die geringe Wasserverfügbarkeit des Jahres 2018, welches als Rekordjahr in Bezug auf die Trockenheit gilt, in den Jahren 2019, 2020 und 2022 in etwa wiederholte (KASPAR et al. 2022).



**Abb. 2: Bildliche Darstellung der Bodenfeuchte unter Gras in der Bodentiefe 0 bis 60 cm im Sommerhalbjahr in Prozent nutzbare Feldkapazität (nFK) (KASPAR et al. 2022, verändert).**

Die Grünlandvegetation ist nach ELSÄßER et al. (2020) auf eine ausreichende Wasserversorgung für ein starkes Wachstum angewiesen. WILLNER (2018) zitiert nach ELSÄßER et al. (2020) gibt für einen nordostdeutschen Standort an, dass die Trockenmasseerträge von Landessortenversuchen mit Deutschem Weidelgras im Jahr 2018 aufgrund von Wassermangel etwa 50 % geringer als im Jahr 2016 waren. ELSÄßER et al. (2020) weisen darauf hin, dass ein Großteil der Kulturgräser 90 % ihrer Wurzelmasse in den oberen 15 cm des Bodens hat. Weiter werden Weidelgräser als flachwurzelnd und mit einem hohen Wasserbedarf sowie geringer Toleranz gegenüber Trockenheit beschrieben.

Zusammengefasst haben die erhöhte CO<sub>2</sub>-Konzentration und der leichte Anstieg der Jahresmitteltemperatur innerhalb der näheren Zukunft zwar positive Auswirkungen auf das Pflanzenwachstum, jedoch wirken trockenere Böden dem entgegen. Die zukünftig geringere klimatische Wasserbilanz im Sommerhalbjahr stellt deswegen ein Problem für den Grünlandfutterbau dar. Häufigere und heißere Tage bedingen einen stärkeren Hitzestress und Tierleid für Milchkühe. Dies schlägt sich in niedrigeren Milchleistungen nieder. Insgesamt ist damit zu rechnen, dass die aktuelle Milchviehwirtschaft in Niedersachsen durch den Klimawandel in Form von Erntelücken im Futterbau und Hitzebelastung der Milchkühe beeinträchtigt wird. Dementsprechend sind gezielte Anpassungsmaßnahmen empfehlenswert (ELSÄßER et al. 2020).

## **2.3 Silvopastorale Agroforstwirtschaft zur Klimawandelanpassung**

Die Agroforstwirtschaft beschreibt eine Landnutzung, bei der Gehölze in landwirtschaftliche Systeme integriert werden (GORDON et al. 2018a, NAIR et al. 2021, EURAF o. J.). Silvopastorale Systeme stellen Agroforstsysteme dar, in denen Gehölze, Futterbau und die Tierhaltung miteinander kombiniert werden (NAIR 1985). Im Folgenden wird die Agroforstwirtschaft in Kombination mit der Milchkuhhaltung bezüglich ihrer Vorteile und Herausforderungen beschrieben. In der englischsprachigen Literatur zur Agroforstwirtschaft werden Gehölze häufig auf „trees“ begrenzt. Deswegen wird sich nachfolgend häufig auf Bäume bezogen, obwohl Agroforstsysteme auch andere Gehölze, wie Sträucher, beinhalten und die gleichen Vorteilswirkungen wie mit Bäumen erzielen können (KOST et KADEREIT 2014, PENT et FIKE 2022).

### **2.3.1 Allgemeines zur silvopastoralen Agroforstwirtschaft**

Häufige Motivationsgründe für Landwirte, silvopastorale Systeme anzulegen, sind der Schatten für Nutztiere, eine Vergrößerung der Weidefläche, eine erhöhte Futterdiversität sowie eine erhöhte Futtermittelverfügbarkeit während des Sommers und in Dürren (OREFICE et al. 2016). DEN HERDER et al. (2016) geben in einem Bericht die Verbreitung der Agroforstwirtschaft in der europäischen Union (EU-27) an. Gemäß dem Bericht zählen in der EU-27 etwa 9 % der landwirtschaftlichen Fläche zur Agroforstwirtschaft. Dies entspricht einer Fläche von 15,4 Millionen Hektar (ha). Davon werden 98 %, ca. 15,1 Millionen ha, der silvopastoralen Nutzung zugeordnet. In Europa werden die meisten silvopastoralen Systeme in Spanien, Griechenland, Frankreich, Italien und Portugal bewirtschaftet.

Die Kombination der Nutztierhaltung mit Gehölzen ist in einer historischen Betrachtung keine Neuheit (KONOLD et REEG 2009). Erst mit der Spezialisierung und Industrialisierung der Landwirtschaft verloren Gehölze ihren Nutzungswert (GRÜNEWALD et REEG 2009). SMITH (2010) nennt verschiedene silvopastorale Systeme, die in der Vergangenheit in den gemäßigten Breiten weitverbreitet waren. Dazu zählen die Streuobstwiesen, die Waldweide, die Schneitelwirtschaft, die Nutzung von Hecken und die spanischen Dehesas, welche heute noch im großen Umfang bestehen (MORENO et PULIDO 2009, SMITH 2010). Gehölze sorgten hauptsächlich zur Versorgung mit Früchten, Holz als Energieträger oder Baumaterial sowie zur Futterproduktion (EICHHORN et al. 2006). Futterlaub wurde in Europa vor allem dort genutzt, wo die Versorgung mit krautigen Pflanzen durch Dürren oder Kältephasen eingeschränkt wurde (EMANUELLSON et al. 2009).



### **2.3.2 Vorteile und Herausforderungen der silvopastoralen Agroforstwirtschaft**

Die silvopastorale Agroforstwirtschaft bietet Vorteile auf verschiedenen Ebenen (GRÜNEWALD et REEG 2009). Ebenso bestehen vielfältige Herausforderungen (BUTTOUD 2013, NEWMAN et GORDON 2018). Im Folgenden werden allgemeine Aspekte von silvopastoralen Systemen und die Milchkuhhaltung, der Grasanbau sowie die Futterlaubproduktion in silvopastoralen Systemen behandelt.

#### **Allgemeine Vorteile und Herausforderungen**

Die Agroforstwirtschaft wird seit mehreren Jahrzehnten als nachhaltiges Landnutzungssystem für die gemäßigten Breiten diskutiert (GRÜNEWALD et REEG 2009). Schließlich erfüllen Agroforstsysteme aufgrund ihrer Multifunktionalität gleichzeitig mehrere Landnutzungsansprüche. Beispielsweise ermöglichen sie die Holz- und Futterproduktion auf derselben Fläche und bieten Vorteile für die Biodiversität (GRÜNEWALD et REEG 2009, RIGUEIRO-RODRÍGUEZ et al. 2009). Die Etablierung silvopastoraler Systeme kann in zwei Weisen zu Ertragssteigerungen führen (BUERGLER et al. 2005, PENT 2020). Die erste und häufigste Weise der Ertragssteigerungen tritt ein, wenn die Produktivität der Systembestandteile im kombinierten Anbau höher ist als bei einem getrennten Anbau auf der gleichen Flächengröße (PENT 2020, PENT et FIKE 2022). Diese Produktivitätssteigerung lässt sich mit der Land Equivalent Ratio (LER) ausdrücken. PENT (2020) zeigt mit einer Metaanalyse, dass silvopastorale Systeme in der Regel eine LER größer als 1 ergeben. In der Metaanalyse wurde eine durchschnittliche LER für silvopastorale Agroforstsysteme mit Futter- und Holzproduktion von ca. 1,52 errechnet. In diesem Fall produziert 1 ha eines silvopastoralen Systems durchschnittlich so viel wie 0,71 ha Wald und 0,81 ha Grünland zusammen. Die zweite Weise der Ertragssteigerung kommt zustande, wenn die Erträge einer einzelnen Komponente, beispielsweise des Grünlands, zunehmen (BUERGLER et al. 2005). Eine grundsätzliche Herausforderung von Agroforstsystemen ist die Komplexität in der Bewirtschaftung in Raum und Zeit (NEWMAN et GORDON 2018). Ferner stellt der Schutz der Bäume vor Nutztieren einen Finanz- und Arbeitsaufwand dar. Die Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen (FAO) beschreibt in ihrem Dokument „Advancing Agroforestry on the Policy Agenda – A guide for decision makers“ wirtschaftliche Faktoren, wie eine späte Kapitalrendite, unterentwickelte Märkte und fehlende Förderungsmaßnahmen seitens der Politik als Barrieren für die Agroforstwirtschaft (BUTTOUD 2013). Zusätzlich ist das Bewusstsein für die Vorteile der Agroforstwirtschaft gering, die rechtliche Stellung von Agroforstsystemen ungewiss und die Trennung unterschiedlicher Sektoren, wie zwischen der Land- und Forstwirtschaft zu stark (ebd.).

### **Vorteile und Herausforderungen für die Milchkuhhaltung**

Die Leistungsfähigkeit von Nutztieren wird nicht nur durch die Fütterung, sondern auch durch die Gesundheit und das Wohlbefinden bestimmt (FRASER et al. 2013). Hitzestress kann die Milchleistung um bis zu 2000 Kilogramm (kg) pro Kuh und Jahr senken (ST-PIERRE et al. 2003). Bäume wirken verschiedenen Stressfaktoren für Nutztiere entgegen, in dem sie beispielsweise das Mikroklima durch Schattenwurf verbessern (KARKI et GOODMAN 2010, PENT et FIKE 2022). Nutztiere präferieren Schatten bei hohen Lufttemperaturen und suchen ihn aktiv auf (PENT et al. 2020b). Abb. 3 zeigt Milchkühe, die kollektiv im Schatten einer Hecke ruhen. KENDALL et al. (2006) ermitteln signifikant höhere Tagesleistungen von Milchkühen mit Zugang zu Schatten. Silvopastorale Agrosforstsysteme können weitere negative Auswirkungen des Hitzestresses, wie eine höhere Krankheitsanfälligkeit oder gar einen Hitzetod, verhindern (PENT et FIKE 2022).



**Abb. 3: Ruhende Milchkühe im Schatten von Bäumen (BRUHN 2022).**

Neben Vorteilen ist die Milchkuhhaltung in silvopastoralen Systemen mit Problemen verbunden (PENT et al. 2018, OREFICE et al. 2017). KARKI et GOODMAN (2015) messen eine höhere Luftfeuchtigkeit als im offenen Grünland. Bei gleicher Temperatur, aber erhöhter Luftfeuchtigkeit, steigt der THI (COLLIER et al. 2012). Hinzu kommt, dass Gehölze den Wind bremsen und der Abkühlungseffekt des Winds dadurch gemindert wird (PENT et FIKE 2022). Auch die Wärmeabgabe an die Atmosphäre wird durch Baumkronen beeinträchtigt, weshalb Nutztiere in der Nacht nicht so stark wie im offenen Grünland abkühlen können (PENT et al. 2018, PENT et FIKE 2022). OREFICE et al. (2017) nennen als weitere Herausforderungen für silvopastorale Systeme die Einzäunung der Gehölze, den hohen Pflegeaufwand der Systeme und eine eingeschränkte Bewirtschaftung mit Maschinen.

## Vorteile und Herausforderungen in der Grasproduktion

FROST et MCDUGALD (1989) zeigen, dass verschiedene Arten der Süßgräser und des Klees (*Trifolium* L.) in Kombination mit Bäumen ein höheres Massewachstum haben können als im offenen Grünland. Sowohl in Monaten mit durchschnittlichem Niederschlag als auch in Dürreperioden konnte in einem Agroforstsystem mit Blauweiche (*Quercus douglasii* Hook. & Arn.) ein signifikant höheres Massewachstum festgestellt werden. In Abb. 4 ist erkennbar, wie die Vegetation unter Bäumen langsamer austrocknet. BUERGLER et al. (2005) ermitteln ein höheres Futtermassewachstum unter einer mittleren Baumdichte als unter einer geringen Baumdichte, welche dem offenen Grünland ähnelt. KORT (1988) berechnet in einer Analyse verschiedener Studien etwa 20 % höhere Heuerträge durch die Kombination mit Gehölzen.

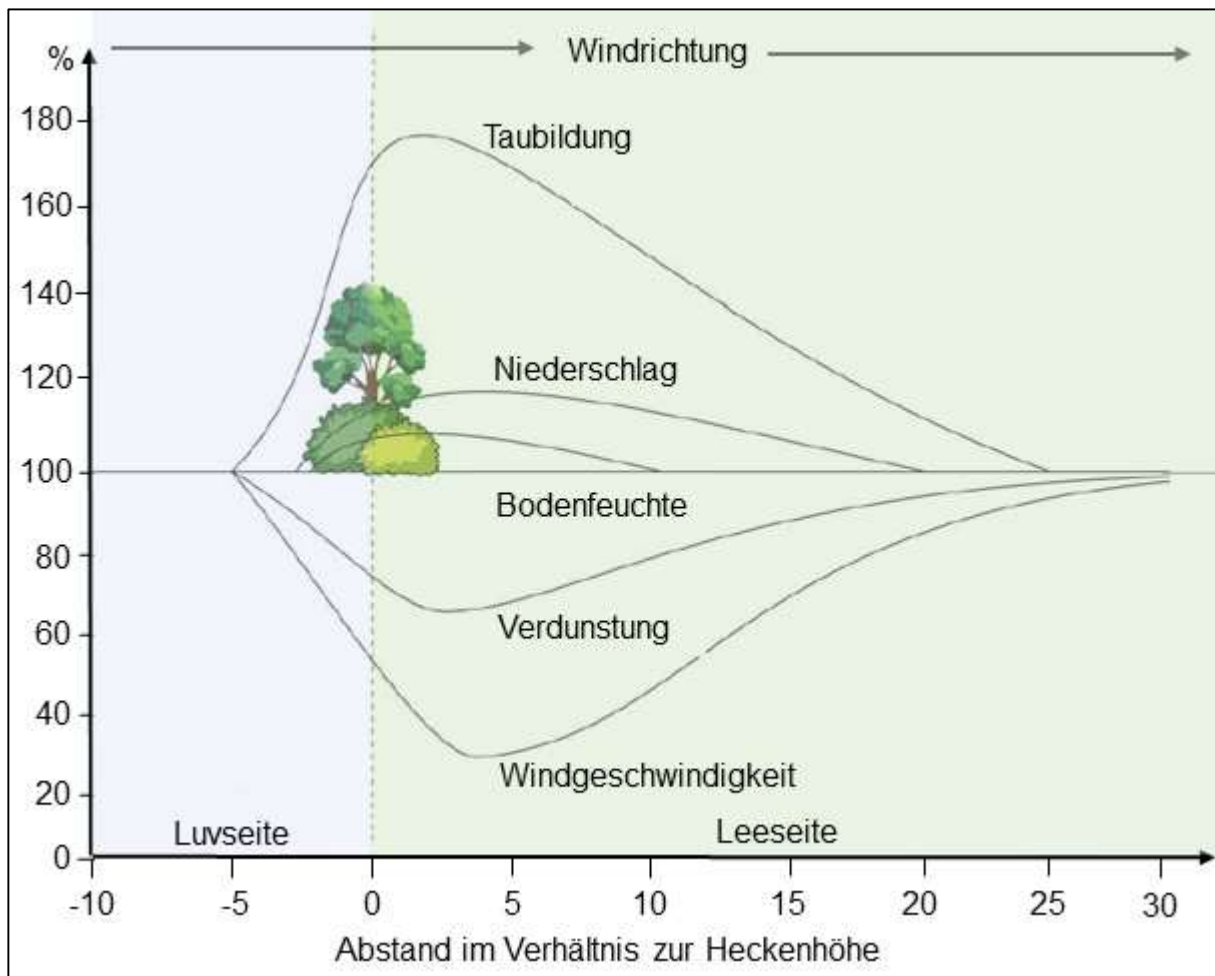


**Abb. 4: Effekt von Bäumen auf das Graswachstum während einer Sommertrockenheit (CARRARA o. J. zitiert nach PALMA et al. 2017).**

HOLLAND (1968) und HOLLAND (1973) jeweils zitiert nach FROST et MCDUGALD (1989) führt Ertragssteigerungen unter anderem auf eine erhöhte Bodenfruchtbarkeit zurück. Bäume verbessern den Boden auf physikalischer Ebene, in dem sie mit der Umsetzung ihrer Wurzeln Makroporen schaffen und dadurch die Lagerungsdichte senken sowie die Wasserinfiltration und insgesamt die Wasserhaltefähigkeit steigern (KELLMAN 1979, MALMER et al. 2010, DUPRAZ et al. 2018). Die chemischen Eigenschaften werden durch den Eintrag organischer Pflanzenteile verbessert (BELSKY 1994). Die Laubstreu und der Wurzelumsatz der Gehölze erhöhen die Menge an organischer Substanz im Boden, sodass eine Nährstoffanreicherung stattfindet und das Edaphon mit Nährsubstrat gefördert wird (NEHER 1999, BELSKY 1994, DUPRAZ et al. 2018). Darüber hinaus können verschiedene Baumarten Luftstickstoff mit Symbiosepartnern fixieren (BARSTCH et al. 2020). Außerdem bringen tiefe Wurzeln von Bäumen Nährstoffe aus dem Unterboden an die Oberfläche, die für Gräser schwer zu erreichen sind (DUPRAZ et al. 2018). Dieser Mechanismus wird als Nährstoffpumpe bezeichnet. Zusätzlich wird ein positiver Effekt von silvopastoralen Systemen auf arbuskuläre Mykorrhizapilze vermutet (LACOMBE et al. 2009, CHIFFLOT et al. 2009).

Neben den Effekten auf die Bodeneigenschaften und das Edaphon sind die Auswirkungen von Gehölzen auf das Mikroklima für das Pflanzenwachstum bedeutsam (JOSE et al. 2004, JOSE et al. 2019, PENT et FIKE 2022). KARKI et GOODMAN (2015) vergleichen in einer Studie das Mikroklima zwischen einem silvopastoralen System und einer Weide. Demnach sind die Luft- und Bodentemperaturen im Agroforstsystem signifikant geringer als im gehölzfreien Grünland. Durch das veränderte Mikroklima können Pflanzen vor Extremwetter geschützt werden (PENT et FIKE 2022). Abb. 5 auf der folgenden Seite veranschaulicht die Auswirkungen von Gehölzen in der Anordnung einer Hecke auf die Windgeschwindigkeit und Parameter des Landschaftswasserhaushalts. Auf der X-Achse ist der Abstand zur Hecke als Vielfaches der Heckenhöhe vermerkt. Auf der Y-Achse ist die Relation verschiedener Parameter des Mikroklimas zur offenen Fläche ablesbar. In dem Diagramm werden die reduzierte Windgeschwindigkeit und Verdunstung sowohl auf der Luv- als auch auf der Leeseite deutlich. Die Taubildung, der Niederschlag und die Bodenfeuchte hingegen steigen in Heckennähe an. Insgesamt kann ein Windschutz die Wassernutzungseffizienz landwirtschaftlicher Kulturen verbessern (DAVIS et NORMAN 1988, DICKEY 1988). Auch ein Schattenwurf von Baumkronen kann sich positiv auf das Mikroklima auswirken (FELDHAKKE 2001). Eine höhere Futterqualität ist durch Beschattung ebenfalls möglich (NEEL et BELESKY 2017).

Die Effekte der Bäume auf die Futtermenge und -qualität hängen von vielen Faktoren, wie der Pflanzenart, dem Klima, der Globalstrahlung, der Topografie, der Jahreszeit, den Bodenverhältnissen und den Eigenschaften der Bäume selbst, ab (DIBALA et al. 2022, PENT et FIKE 2022). Je älter Bäume werden, desto größer wird die Konkurrenz für den Unterwuchs um Licht, Nährstoffe und Wasser (PENT et FIKE 2022). Ein zu hohes Maß an Schatten wirkt sich negativ auf das Wachstum von Futtergräsern aus (HUSSAIN et al. 2009). PENT et al. (2019) verdeutlichen in einer Studie, dass die Effekte auf das Graswachstum stark von der Gehölzart abhängig sind. Während die Erträge in der Studie unter der Amerikanischen Gleditschie (*Gleditsia triacanthos*) im Vergleich zum offenen Grasland durchschnittlich 2 % höher sind, sind die Erträge unter Schwarznussbäumen (*Juglans nigra*) durchschnittlich etwa 28 % niedriger.



**Abb. 5: Auswirkungen einer Hecke auf die Windgeschwindigkeit und den Landschaftswasserhaushalt (MÜLLER 1990 zitiert nach ANDERSON 2022, verändert).**

### Vorteile und Herausforderungen von Futterlaub

Das Ziel moderner Futterlaubsysteme ist es, eine frische und alternative Futterquelle zu bieten, wenn im Sommer krautige Pflanzen austrocknen (ROBINSON 1985, LE HOUÉROU 1993). Gemäß CORREAL (1987) zitiert nach DUPRAZ et al. (2018) kann keine krautige Pflanze mit Futtersträuchern mithalten und ähnliches, qualitatives Futter im Spätsommer produzieren. Abb. 6 zeigt, wie eine Milchkuh einen jungen Futterstrauch bestäubt. RAHMANN (2004) analysierte 50 Gehölzarten auf deren Inhaltsstoffe. Teilweise übertreffen die Rohprotein- und Fettgehalte der untersuchten Gehölze die Gehalte von intensiv genutzten Weidegräsern. Neben Makronährstoffen enthält Futterlaub auch essenzielle Mikronährstoffe (RAHMANN 2004, KEMP et al. 2003). Des Weiteren produzieren Gehölze auch Früchte, wie Eicheln, Bucheckern, und Kastanien, die zur Tierernährung genutzt werden können (DUPRAZ et al. 2018).



**Abb. 6: Eine Milchkuh beißt eine junge Futterlaubanlage (NOVAK o. J. zitiert nach MOLLIER 2019).**

Für Herbivore werden unterschiedliche Angaben zum maximal empfohlenen Anteil des Futterlaubs in der Gesamtfuttermenge gemacht (RAHMANN 2004). Für Rinder gelten 10 % als Richtwert. In einer Untersuchung stellten MANACORDA et al. (1996) zitiert nach PERI et al. (2018) fest, dass Rinder 2 bis 21 % ihrer Nahrung mit Gehölzen decken. Etwa 80 % der Gehölze enthalten sekundäre Pflanzennährstoffe (BRYANT et al. 1992). Sekundäre Pflanzennährstoffe können die Verdaulichkeit des Futterlaubs senken (PAPANASTASIS et al. 2008). Darüber hinaus sind Futterlaubpflanzungen mit hohen Kosten und verschiedenen Schwierigkeiten im Management verbunden (LE HOUÉROU 1996, PAPANASTASIS et al. 1999, TALAMUCCI et PARDINI 1999).

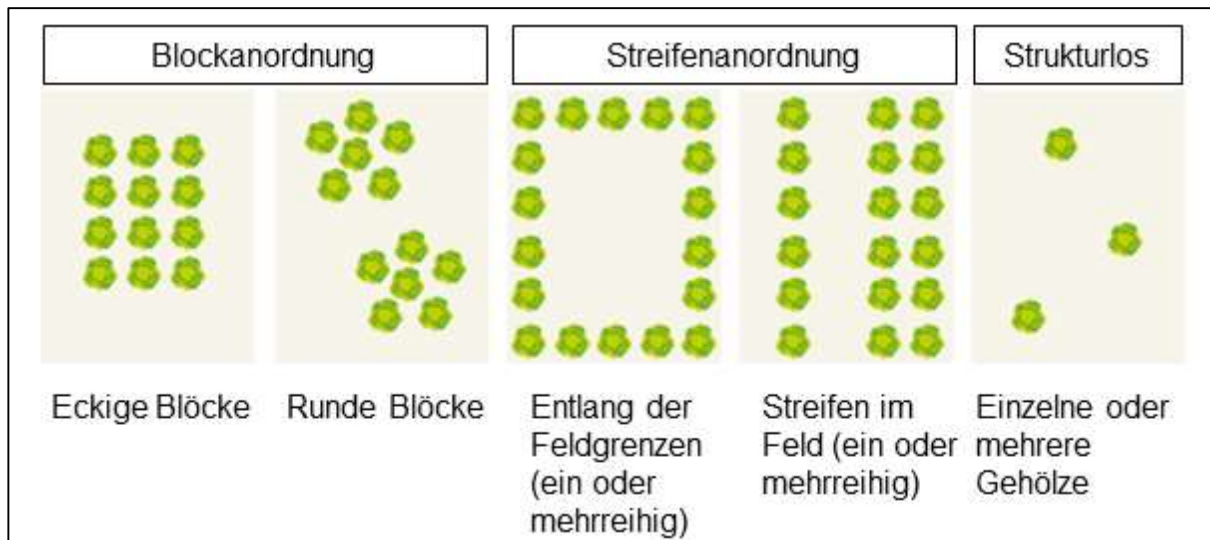
### **Fazit der Vorteile und Herausforderungen von silvopastoralen Systemen**

Zusammengefasst bieten Agroforstsysteme vielfältige Vorteile in der Milchproduktion. Drei Effekte von silvopastoralen Agroforstsystemen stellen sich als besonders bedeutsam dar. Erstens kann das Mikroklima verbessert werden, sodass das Wohlbefinden und die Leistungsfähigkeit von Milchkühen zunehmen. Das veränderte Mikroklima kann sich außerdem positiv auf das Futterwachstum auswirken. Zweitens wird die Bodenfruchtbarkeit durch Gehölze gefördert. Drittens bieten Gehölze eine alternative Futterquelle. Sowohl die Blätter als auch die Früchte sind potenziell nutzbar. Wie erfolgreich ein Agroforstsystem ist, ist von vielen Faktoren abhängig und damit variabel.

### **2.3.3 Gestaltung silvopastoraler Agroforstsysteme**

Silvopastorale Agroforstsysteme können vielfältig gestaltet werden (NEWMAN 2019). Ein grundsätzliches Ziel im Gestaltungsprozess ist es, positive Effekte, wie ein wachstumsförderndes Mikroklima für Gräser, zu bewirken und negative Effekte, wie Ertragsverluste durch Konkurrenz, mehr als auszugleichen (JOSE et al. 2019, CHALMIN

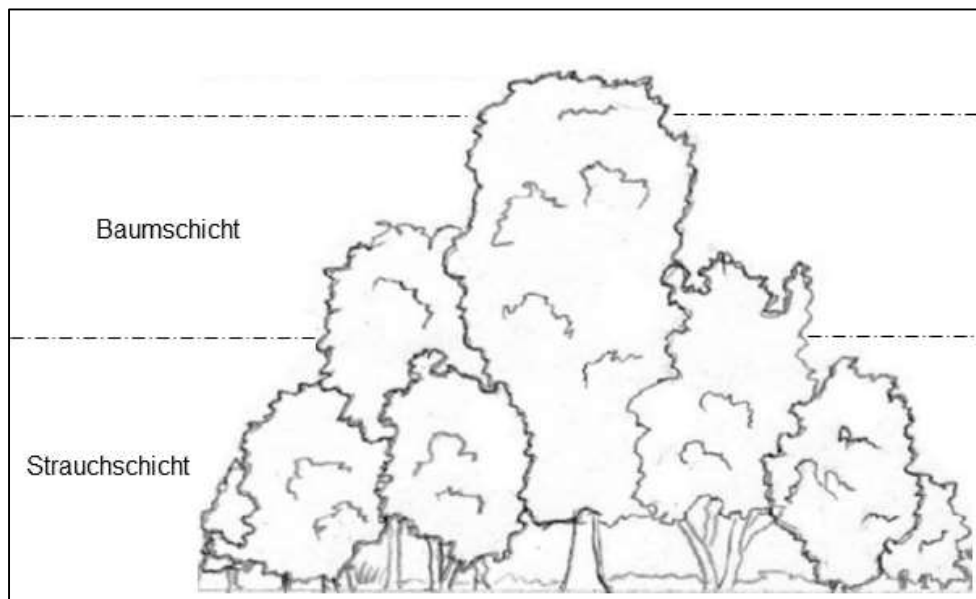
2009). In Abb. 7 sind verschiedene Anordnungsformen für Gehölze zu sehen. Gehölze können beispielsweise in eckigen oder runden Blöcken oder ohne bestimmte Struktur auf der Fläche verteilt werden (NEWMAN 2019). Jede Anordnungsform bietet unterschiedliche Vor- und Nachteile (LUSKE et al. 2017a, THEVATASAN et al. 2018).



**Abb. 7: Mögliche Anordnungsformen von Gehölzen (NEWMAN 2019, verändert).**

In Tabelle 1 ist unter anderem ersichtlich, von welchen Gestaltungsparametern die Charakteristik des Schattenwurfs beeinflusst werden kann. Diese sind vor allem die Gehölzdichte, die Gehölzart und die Gehölzstreifenausrichtung (SILVA-PANDO et al. 2002, JOSE et al. 2019, VAN LERBERGHE 2017). Für ein Schattenangebot in der Fläche eignet sich unter anderem ein System mit Edellaubbäumen zur Wertholzproduktion (BRIX et al. 2009). Wertholz soll einen großen Stammdurchmesser haben und frei von Ästen sein (BARTSCH et al. 2000). Dadurch kann Wertholz als Schnittholz oder Furnier verwendet werden. Ansonsten können Holzstämmen auch anderweitig genutzt werden. Der empfohlene Mindestabstand zwischen den Bäumen und die daraus resultierende Ernteanzahl pro ha ist von dem Zieldurchmesser des Wertholzes abhängig (SCHULZ et al. 2020). Aufgrund des Wachstums der Gehölze unterliegen Agroforstsysteme einer Dynamik, welche im Gestaltungsprozess berücksichtigt werden sollte (BENDER et al. 2009). Deswegen kann die Anzahl der langfristig bestehenden Gehölze von der Anzahl der gepflanzten Gehölze abweichen (SCHULZ et al. 2020). In Agroforstsystemen mit Wertholzproduktion werden standardmäßig Streifen angelegt (BENDER et al. 2009, BRIX et al. 2009). Daneben sind erweiterte Varianten, z. B. die Zusammensetzung mit Sträuchern, möglich (GÓMEZ-APARICIO 2004, UNSELD 2009). Schließlich nutzen unterschiedliche Gehölzarten unterschiedliche Höhen (NEWMAN 2019). Für eine möglichst geringe Beschattung der Gräser wird zu einer Nord-Süd-Ausrichtung der Gehölzstreifen geraten (BENDER et al. 2009).

Zur Verbesserung des Mikroklimas, vor allem zur Reduzierung der Windgeschwindigkeit, eignen sich streifenförmige Strukturen (BAUDRY et al. 2000, BENDER et al. 2009, THEVATASAN et al. 2018). Das Ausmaß der Windreduzierung hängt ebenfalls von den Gestaltungsparametern Gehölzdichte, Gehölzart und Gehölzstreifenausrichtung ab (Tab. 1) (DUPRAZ et al. 2018, HEISLER et DEWALLE 1988, THEVATHASAN et al. 2018). Abb. 8 zeigt, wie eine Hecke mit Gehölzarten verschiedener Größen gestaltet werden kann. Klassischerweise setzt sich eine Hecke aus einer Strauch- und einer Baumschicht zusammen (ANDERßON 2022).



**Abb. 8: Querschnitt einer Strauch-Baumhecke (ANDERßON 2022, verändert).**



**Tab. 1: Ausgewählte Gestaltungsparameter für silvopastorale Agroforstsysteme, insbesondere für eine streifenförmige Anordnung**

Parameter	Beeinflusst	Quelle
Gehölzdichte	a) Schatten (Stärke)	SILVA-PANDO et al. (2002)
	b) Windreduzierung	DUPRAZ et al. (2018)
	c) Durchwurzelung	DUPRAZ et al. (1995) zitiert nach DUPRAZ et al. (2018)
	d) Gehölzwachstum	PAPACHRISTOU et al. (2020)
	e) Konkurrenz	VAN LERBERGHE (2017)
Gehölzart	a) Schatten (Stärke)	JOSE et al. (2019)
	b) Windreduzierung	HEISLER et DEWALLE (1988)
	c) Durchwurzelung	PENT et FIKE (2022)
Gehölzstreifenausrichtung	a) Schatten (Einfallort)	VAN LERBERGHE (2017)
	b) Windreduzierung	THEVATHASAN et al. (2018)
	c) Bewirtschaftungsrichtung	NEWMAN (2019)
Gehölzstreifenabstand	a) Windreduzierung	BÖHM et al. (2014)
	b) Bewirtschaftung (Einsetzbare Maschinen)	VAN LERBERGHE (2017)
	c) Konkurrenz	BENDER et al. (2009)
	d) Belüftung der Fläche	BENDER et al. (2009)
Gehölzstreifenlänge	a) Windreduzierung	THEVATHASAN et al. (2018)
	b) Bewirtschaftung (Wendemöglichkeiten)	VAN LERBERGHE (2017)

### **2.3.4 Bewirtschaftung silvopastoraler Agroforstsysteme**

Das Ziel der Bewirtschaftung ist ebenfalls wie in der Gestaltung, positive Effekte für die landwirtschaftliche Produktion zu fördern und negative Effekte mehr als auszugleichen (JOSE et al. 2019). Daran schließen sich produktionstechnische Ziele, beispielsweise im Wertholzanzbau oder in der Futterlaubproduktion an (CHARLTON et al. 2003, BENDER et al. 2009, SCHULZ et al. 2020).

#### **Bewirtschaftung von silvopastoralen Wertholzsystemen**

Das Ziel im Wertholzanzbau ist es, qualitativ hochwertiges Holz für die Furnier- oder Möbelherstellung zu produzieren (BENDER et al. 2009, SCHULZ et al. 2020). Dafür kommen in der Regel nur gerade und astfreie Stämme infrage. Gleichzeitig wird in Kombination mit der Tierhaltung der Schattenwurf wegen der zuvor beschriebenen Vorteile beabsichtigt (FROST et al. 1989, BENDER et al. 2009, PENT et al. 2020b, SCHULZ et al. 2020). Zu Beginn der Integration müssen die Bäume vor Schäden durch Weidetiere geschützt werden (CHALMIN 2009). Aufgrund des fehlenden Konkurrenzdrucks im Kronenbereich, der in Wäldern vorhanden ist, müssen die Bäume im Agroforstsystem geastet werden (BRIX et al. 2009). Im Alter zwischen 45 und 70 Jahren können die Edellaubbäume geerntet werden (BENDER et al. 2009, BRIX et al. 2009).

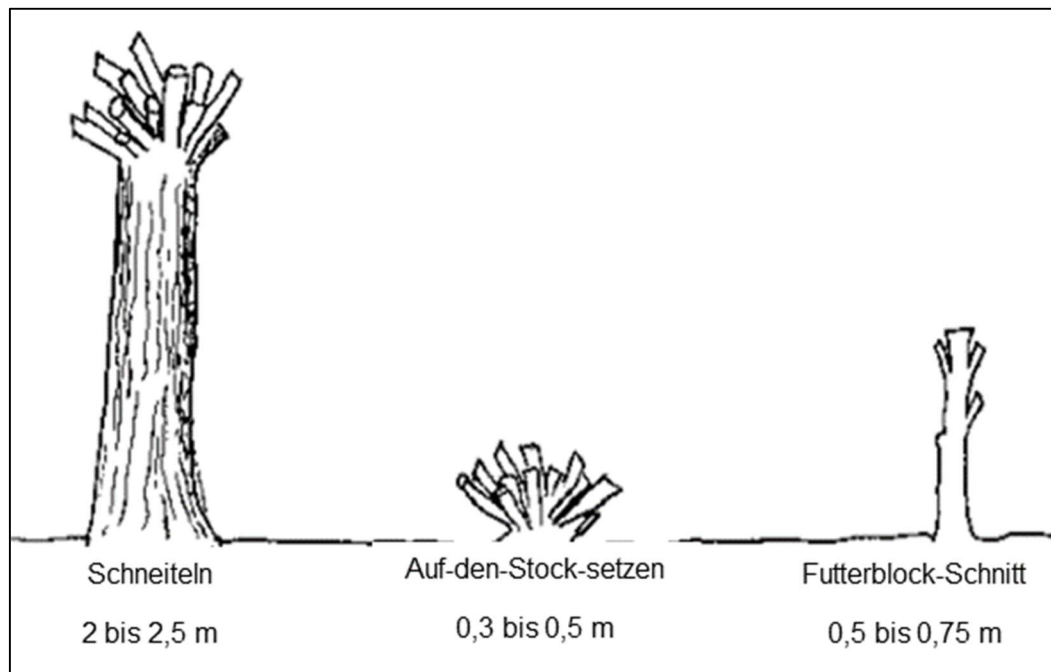
#### **Bewirtschaftung von Windschutzhecken**

Bei der Pflege von Windschutzhecken ist der möglichst permanente Erhalt der beabsichtigten Struktur das Hauptziel (DVL 2006). Ohne Pflegemaßnahmen verändert sich die Zusammensetzung der Gehölze aufgrund der natürlichen Sukzession zu einer Baumhecke (ANDERSON 2022). Der Erhalt der Struktur wird durch Verjüngung der Hecke erreicht (DVL 2006). Ein „Auf-den-Stock-setzen“ größerer Abschnitte, das „Knicken“ oder Entnahmen größerer Bäume sind Möglichkeiten der Heckenpflege (DVL 2006, SCHULZ et al. 2020, ANDERSON 2022).

#### **Bewirtschaftung von Futterlaubsystemen**

Neu angelegte Futtergehölze sollten etwa drei Jahre vor Nutztieren geschützt werden (CHARLTON et al. 2003). Futterlaub kann unterschiedlich bewirtschaftet werden (CHARLTON et al. 2003, DUPRAZ et al. 2018, GABRIEL 2018). Laub kann direkt von Nutztieren beäst oder durch Ästen, Schneiteln, „Auf-den-Stock-setzen“ oder Fällen einzelner Gehölze geerntet und gelagert werden (CHARLTON et al. 2003, DUPRAZ et al. 2018). Futterlaubgehölze können als Futterlaubbaum oder als Futterlaubstrauch bewirtschaftet werden (LUSKE et al. 2017b). Abb. 9 zeigt die in Neu Seeland am häufigsten angewandten Schnittmethoden. Der Schnitt von Gehölzen fördert weiteres Wachstum von Trieben (LUSKE et al. 2017b). Die maximale

Beweidungshöhe für Holstein-Milchkühe liegt bei etwa 2 m (LUSKE et al. 2017b, VANDERMUELEN et al. 2016).



**Abb. 9: Die häufigsten Schnittmethoden für Futterlaub in Neu Seeland (CHARLTON et al. 2003, verändert).**

### 2.3.5 Auswahl geeigneter Gehölze

Um eine erfolgreiche Pflanzung mit hoher Anwuchsrate durchzuführen, müssen Gehölze standort- und umweltgerecht ausgewählt werden (BENDER et al. 2009). Unter Standortfaktoren werden die Gegebenheiten im Gelände und unter Umweltfaktoren unmittelbar wirkende Faktoren verstanden (KÖRNER 2014). Zu den Standortfaktoren gehören Klima, Relief, Boden und biotische Faktoren und unter den Umweltfaktoren werden Licht, Wärme, Wasser, chemische Faktoren sowie Stress und Störungen verstanden. Die wichtigsten Standort- und Umweltfaktoren in der Baumartenauswahl zur Wertholzproduktion sind nach BENDER et al. (2009) und OTTO (2014) die Niederschlagsmenge und -verteilung, der Wasserhaushalt, insbesondere die Wasserspeicherfähigkeit, das Auftreten von Staunässe und Perioden mit Überflutung, die Spät- und Frühfrostgefährdung, die Durchlüftung sowie der Nährstoffgehalt des Bodens. Gebietseigene Gehölzarten gelten als optimal angepasst an die jeweiligen Standortbedingungen (LFU Bayern o. J.). Zukünftig müssen Gehölze in Deutschland wegen des Anstiegs der Durchschnittstemperaturen resistent gegenüber Trockenheit sein und gleichzeitig eine Winterhärte aufweisen (SPINONI et al. 2017, HAMKENS et al. 2020, ROLOFF 2021a). Des Weiteren wirken Pflanzen auf ihre Umwelt

(MATYSSEK et al. 2010, NEWMAN 2019). Die Ertragsleistung des Unterwuchses wird unter anderem durch die Gehölzart bestimmt (PENT et FIKE 2022).

Für die Wertholzerzeugung sind Baumarten auszuwählen, die auf dem Furnierholzmarkt nachgefragt werden und ein gerades Stammwachstum aufweisen (SCHULZ et al. 2020). Um das Risiko eines Ertragsausfalls in Wertholzsystemen zu mindern, sollten verschiedene Baumarten im System gemischt werden (BENDER et al. 2009).

Damit eine Windschutzhecke möglichst permanent ihre Wirkung entfalten kann, muss sie regelmäßig zurückgeschnitten werden (REIF et al. 1995, DVL 2006). Dadurch bleibt die beabsichtigte Struktur erhalten. Dementsprechend müssen Gehölze ausgewählt werden, die die geplanten Pflegemaßnahmen vertragen und wieder austreiben können (REIF et al. 1995, DVL 2006). Für mehrreihige Hecken können Gehölze verschiedener Größe kombiniert werden (Abb. 8) (REIF et al. 1995, DVL 2006).

Für Futtergehölze existieren unterschiedliche Kriterien (CHARLTON et al. 2003, LUSKE et al. 2017b, GABRIEL 2018). Zum einen müssen Futterlaubgehölze nach dem Äsen von Tieren oder nach einem Rückschnitt wiederaustreiben (CHARLTON et al. 2003). Außerdem sollten die Gehölze schnellwachsend sein (LUSKE et al. 2017b, GABRIEL 2018). Eine zu starke Wüchsigkeit ist allerdings nachteilig, da neue Triebe zu schnell zu dick für die Nutztiere werden (LUSKE et al. 2017b). Zum anderen sind die Nährwerte, wie Energie- und Proteingehalt, Mineralstoffgehalte und vorhandene sekundäre Pflanzennährstoffe von großer Bedeutung (IBRAHIM et al. 2001, RAHMANN 2004). Häufig werden Leguminosen als Futtergehölze ausgewählt, da sie hohe Proteinwerte aufweisen (IBRAHIM et al. 2001, PEZO et al. 2018). Dennoch kommen auch andere Gehölze wegen der Bedeutung weiterer Nährstoffe infrage (IBRAHIM et al. 2006, CALLE et al. 2013, PEZO et al. 2018). Die Verdaulichkeit der Blätter ist ebenfalls zu beachten (RAHMANN 2004, MAHIEU et al. 2021). Außerdem ist die Dornenfreiheit der Futterlaubgehölze ein wichtiges Kriterium, wenn das Laub von Rindern bestäet werden soll (RAHMANN 2004).

### **2.3.6 Rechtliches zu Agroforstsystemen**

Die deutsche Agrarpolitik findet auf verschiedenen Stufen statt (BÖHM 2020). Im Rahmen der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) der Europäischen Union (EU) finden eine Einkommensunterstützung durch Direktzahlungen, Marktmaßnahmen und Maßnahmen zur Entwicklung des ländlichen Raums statt (EUROPÄISCHE KOMMISSION o. J.a). Die Finanzierung der Direktzahlungen und Marktmaßnahmen geschieht durch den Europäischen Garantiefonds für die Landwirtschaft (EGFL) (EUROPÄISCHE KOMMISSION o. J.a). Dieser

Fonds wird auch 1. Säule genannt (EUROPÄISCHE KOMMISSION o. J.b). Die Maßnahmen zur Entwicklung des ländlichen Raums werden durch den Europäischen Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des ländlichen Raums (ELER) kofinanziert, welcher als 2. Säule bezeichnet wird (EUROPÄISCHE KOMMISSION o. J.a, EUROPÄISCHE KOMMISSION o. J.b).

### **Förderung von Agroforstsystemen durch den EGFL bzw. der 1. Säule**

Gemäß § 4 der Verordnung zur Durchführung der GAP-Direktzahlungen (GAPDZV) gelten Agroforstsysteme als landwirtschaftliche Fläche, wenn verschiedene Bedingungen eingehalten werden (GAPDZV 2022). Gemäß den Bedingungen müssen Agroforstsysteme mit einem Nutzungskonzept durch eine Behörde positiv geprüft und mit dem vorrangigen Ziel der Rohstoffproduktion oder Nahrungsmittelproduktion angebaut werden. Des Weiteren müssen die Gehölze entweder in mindestens zwei Streifen angelegt werden, die maximal 40 % der landwirtschaftlichen Fläche einnehmen, oder in einer verstreuten Pflanzung mit mindestens 50 und maximal 200 Stück pro ha gepflanzt werden. Gemäß § 11 der GAPDZV und § 4 des Gesetzes zur Durchführung der im Rahmen der Gemeinsamen Agrarpolitik finanzierten Direktzahlungen (GAPDZG) gehören Agroforstsysteme zur förderfähigen Fläche, auf die Anspruch auf die Einkommensgrundstützung von 156 € pro ha besteht (GAPDZG 2021, GAPDZV 2022, LWK NIEDERSACHSEN 2022, BMEL 2021). Zusätzlich müssen jedoch auch der gute landwirtschaftliche und ökologische Zustand der Flächen (GLÖZ) und die Grundanforderungen an die Betriebsführung (GAB) eingehalten werden (LWK NIEDERSACHSEN 2022). Des Weiteren kann die Bewirtschaftung von Agroforstsystemen im Sinne des § 20 Abs. 3 der GAPDZG, auch als Öko-Regelung 3 bekannt, mit 60 € pro ha gefördert werden (BÖHM 2022, GAPDZG 2021, BMEL 2021). Dafür müssen gemäß Anlage 5 Punkt 3 der GAPDZV weitere Voraussetzungen erfüllt werden (GAPDZV 2022). Gehölze, die nicht einem rechtlich anerkannten Agroforstsystem beigeordnet werden, würden nach § 23 der Verordnung zur Durchführung der im Rahmen der Gemeinsamen Agrarpolitik geltenden Konditionalität (GAPKondV) als Landschaftselemente gelten, für die ein Beseitigungsverbot gilt (BÖHM 2022, GAPKondV 2022).

### **Förderung durch den ELER bzw. die 2. Säule**

Zur Entwicklung ländlicher Räume fördern die Bundesländer die Umsetzung von Agrarumwelt- und Klimamaßnahmen (AUKM), die durch den Bund und den ELER bezuschusst werden (BMEL 2019). In Niedersachsen werden Stand März 2022 keine AUKM für als Agroforstsystem deklarierte Systeme finanziell unterstützt (ML NIEDERSACHSEN 2022).

### 3 Material und Methoden

#### 3.1 Milchkuhbetrieb Bruhn GbR

Nachfolgend wird der Milchkuhbetrieb Bruhn GbR beschrieben.

##### Standort

Der Milchkuhbetrieb Bruhn GbR befindet sich im Norddeutschen Tiefland in der Ostfriesisch-Oldenburgischen Geest Niedersachsens (DIERCKE WELTATLAS 2008, NLWKN 2010). Die Gemeinde heißt Edewecht und liegt im Landkreis Ammerland.



**Abb. 10: Standort des Milchkuhbetriebs Bruhn GbR (WIKIPEDIA 2010, verändert).**

##### Bewirtschaftung des Betriebs

Der Betrieb hält etwa 140 Milchkühe der Rinderrasse Holstein-Friesian im Bioland-Standard. Die Nachzucht bilden etwa 110 Tiere. Insgesamt werden etwa 140 ha bewirtschaftet. Davon sind ca. 50 ha Ackerland und 90 ha Dauergrünland. Etwa 30 ha der Gesamtfläche wurden zur besseren Bewirtschaftung drainiert. Eine Beweidung der Hof nahen Flächen findet entsprechend der Bioland-Richtlinien statt. Im Betrieb sind im Regelfall fünf Personen mit einer summierten Arbeitskraft von 4,7 beschäftigt. Erntearbeiten werden sowohl mit dem eigenen Maschinenpark als auch mit einem Lohnunternehmen erledigt.

##### Betriebsspezifische Fütterung der laktierenden Kühe

Die Rationsberechnung zielt pro laktierender, zweitkalbender Kuh auf eine Milchleistung von 21,5 kg Milch pro Tag mit 4,20 % Fett und 3,40 % Eiweiß als Inhaltsstoffen ab. Gemäß der

Rationsberechnung des Betriebs werden pro Kuh 17,2 kg Trockenmasse (TM) gefüttert. Die Gras- und Maissilage sowie das Milchleistungsfutter sollen jede Milchkuh mit 110,5 Megajoule und 2,39 kg Rohprotein (RP) versorgen.

### 3.2 Standortbedingungen der Weide

In diesem Unterkapitel werden die Standortbedingungen der Weide, auf der die silvopastoralen Systeme geplant werden sollen, beschrieben. Es werden verschiedene Standortbedingungen beschrieben, die für die Gehölzauswahl und für die Planung eines silvopastoralen Agroforstsystems wichtig sind.

#### 3.2.1 Lage, Größe und Höhe der Weide

Die Fläche liegt östlich von der Hofstelle auf einer Höhe von 2,50 bis knapp 4 m Normalhöhennull (NHN) (LBEG o. J.a). An der östlichen Längsseite befindet sich das Fließgewässer II. Ordnung Aue. Die Weide ist ca. 2,37 ha groß. Sie ist in der Mitte ungefähr 266,3 m lang und maximal 106,2 m breit. In Abb. 12 ist ein Luftbild mit den Größenverhältnissen dargestellt. In der Fläche sind nur geringe Höhenunterschiede vorhanden (Anhang 1). In der Länge ist keine Neigung und in der Breite ist eine Neigung von 0,1 % messbar (LBEG o. J.a).



Abb. 11: Lage und Größenmaße der Fläche (LGLN o. J., verändert).

### **3.2.2 Bisheriges und zukünftiges Klima**

Die Klimazone, in der sich der Betrieb und die Weide befinden, wird dem warmen gemäßigten Klima zugeordnet (Anhang 2, Klimazone Cfb). Die Niederschlagsverhältnisse werden als voll humid bezeichnet. Somit findet eine Grundwasseranreicherung statt (DWD o. J.a). Der Sommer gilt als warm (Anhang 2). In Tab. 3 sind ausgewählte Klimaparameter für die Zeiträume 1971 bis 2000, 2021 bis 2050 sowie 2050 bis 2071 aufgelistet. Die zukünftigen Angaben basieren auf dem Szenario RCP 8.5.

Der Vegetationsbeginn war im Zeitraum 1971 bis 2000 am 85. Jahrestag (DWD o. J.b). Im Jahr 2022 begann die Vegetationsperiode am 80. Jahrestag (DWD o. J.b). Frosttage kommen an der Station Doerpen bis in den Mai vor (Anhang 3). Dementsprechend besteht ein Spätfrostisiko (DWD o. J.c).

Der Niederschlag verteilt sich über alle Monate des Jahres (Anhang 4). Im Zeitraum 1971 bis 2000 ist der Niederschlag im Februar und April am geringsten und im Juni am höchsten. Im Zeitraum 1991 bis 2020 liegt das Minimum im April und das Maximum im Juli.

Die Sonnenscheindauer erhöhte sich im vieljährigen Mittel von 1428,9 (1971 bis 2000) auf 1590,0 Stunden (1991 bis 2020) pro Jahr (Anhang 5).

Die Hauptwindrichtung ist Süd-West bzw. Süd-Süd-West und West-Süd-West (Anhang 6). Aus diesen Richtungen weht der Wind am längsten und am stärksten pro Jahr.



**Tab. 2: Klimaparameter für die Weide für die Zeiträume 1971 bis 2000, 2021 bis 2050 und 2071 bis 2100 (MU Niedersachsen o. J.)**

		Zeitraum		
Parameter	Zeitabschnitt	1971 bis 2000	2021 bis 2050 (RCP 8.5)	2071 bis 2100 (RCP 8.5)
Mittlere Temperatur	Vegetationsperiode	14 °C	15 bis 16 °C	17 bis 18 °C
Sommertage ( $T_{\max} \geq 25 \text{ °C}$ )	Kalenderjahr	23,0 Tage	30 bis 40 Tage	50 bis 60 Tage
Heiße Tage ( $T_{\max} \geq 30 \text{ °C}$ )	Kalenderjahr	4,0 Tage	5 bis 10 Tage	15 bis 20 Tage
Frosttage	Kalenderjahr	60,0 Tage	40 bis 50 Tage	20 bis 30 Tage
Mittlerer Niederschlag	Vegetationsperiode	379 mm	300 bis 400 mm	300 bis 400 mm
Klimatische Wasserbilanz	Vegetationsperiode	-75 mm	-125 bis -50 mm	-250 bis -125 mm

### **3.2.3 Bodeneigenschaften**

#### **Beprobung**

In der Fläche wurde ein Bodenprofil (Abb. 12, Tab. 3) angelegt und 8 Bohrstockproben möglichst gleichmäßig von der Fläche genommen (Anhang 7). Der Boden ist ein auenbeeinflusster Gley. Die Bohrstockproben 5 und 7 (Anhang 7) sowie das Höhenprofil der Breite (Anhang 1) weisen auf eine historische Aufschüttung und Eindeichung der Aue hin.

#### **Bodenmerkmale**

Für das Bodenprofil wurden insgesamt 9 Horizonte bestimmt. Davon sind 8 in Abb. 13 erkennbar. Daneben ist in Tab. 4 jeweils die Bezeichnung, die Tiefe, die Bodenart, der pH-Wert, der Humusgehalt sowie die Bezeichnung der Durchwurzelungsstärke angegeben. Die Hauptbodenart ist Sand (SS und Su2). Ein Schichtwechsel ist in der Tiefe von 58 bis 80 cm vorhanden, bei dem die Bodenart als stark sandiger Lehm klassifiziert wird (Sl4). Der oberste Horizont rAp1 ist filzartig durchwurzelt (W6). Darunter ist der Boden bis zu einer Tiefe von 33 cm stark bis sehr stark (W4 bis W5) und noch tiefer schwach bis gar nicht durchwurzelt (W0 bis W2). Alle Horizonte sind carbonatfrei. Die Bohrstockproben außerhalb der historischen Aufschüttung ähneln dem Bodenprofil (Anhang 8).

Ein wesentlicher Unterschied zwischen der Eindeichung und dem Rest der Weide ist die Mächtigkeit des ersten Mineralbodenhorizonts (Anhang 8). Dieser geht ca. bis zu einer Tiefe zwischen 70 und 80 cm und grenzt sich durch seine braune bis schwarze Farbe von dem zweiten Horizont ab. Die Farbe deutet auf höhere Humusgehalte hin.

#### **Physikalische Eigenschaften**

Die physikalischen Bodeneigenschaften sind in Anhang 9 sichtbar. Die Horizonte des Bodenprofils weisen in den ersten drei Horizonten eine mittlere bis geringe Trockenrohdichte (TRD) auf. Ab dem vierten Horizont in 33 cm Tiefe ist die TRD hauptsächlich hoch. Die Luftkapazität (LK) ist im gesamten Profil überwiegend hoch und ermöglicht dadurch eine schnelle Erwärmung im Frühjahr (STAHR et al. 2016). Die für das Bodenprofil ermittelte nutzbare Feldkapazität des effektiven Wurzelraum (nFKWe) summiert sich innerhalb einer Tiefe bis 90 cm auf 170,7 mm und ist damit als hoch eingestuft. Der kapillare Aufstieg aus dem Grundwasser beträgt in der Vegetationszeit 358,6 mm und das pflanzenverfügbare Bodenwasser dementsprechend 529,3 mm. Die gesättigte Wasserleitfähigkeit (kf) ist bis in 141 cm Tiefe hoch bis sehr hoch.

Eine Drainage liegt im Vergleich zu den umliegenden Weiden nicht vor. Wegen der Nähe zu dem Fließgewässer Aue sind im Winterhalbjahr Überschwemmungen von ein bis zwei Wochen möglich. Außerdem weist der Horizont II Sd-Go leicht wasserstauende Merkmale auf.


Die nächste Grundwassermessstelle ist wenige hundert Meter entfernt und 5,41 m über NN (NLWKN 2021). Damit ist die Messtelle etwa 1,5 m höher als die Weide. Der Grundwasserstand der Messtelle schwankt zwischen minimal 3,92 m und maximal 5,35 m über NN (Anhang 10) (NLWKN 2021). Im Zeitraum 1999 bis 2019 schwankten die langjährigen Monatsmittelwerte zwischen 4,60 m über NN. Die Grundwasserneubildung lag im Zeitraum 1971 bis 2000 zwischen 100 und 150 mm pro Jahr (mm/a) (LBEG o. J.c). Für die Jahre 2021 bis 2050 wird im Szenario RCP 8.5 eine bis zu 30 mm geringere Grundwasserneubildung pro Jahr erwartet (LBEG o. J.d).

Anhand einer Topografiekarte für Norddeutschland des NIBIS-Kartenservers wurde die Weide in zwei Feuchtigkeitsbereiche in Abhängigkeit der jeweiligen Höhe und Nähe zur Aue eingeteilt (Anhang 11). Der orangene Bereich ist der als trockener bewertete Bereich. Der blaue Bereich wird als feuchter eingestuft.

### **Chemische Eigenschaften**

Die chemischen Bodeneigenschaften sind Anhang 12 zu sehen. Der pH-Wert des Bodenprofils ist bis zum Schichtwechsel zwischen 4,9 und 5,7 und damit schwach bis mäßig sauer. Ab dem Schichtwechsel ist der Boden vor allem sehr schwach sauer. Die Oberbodenhorizonte sind mittel bis stark humos. Die effektive Kationenaustauschkapazität ( $\sum KAK_{\text{eff}}$ ) ist gering bis sehr gering. Der Boden hat eine hohen Basensättigungsgrad (BS-Wert) und ist basenreich. Nach den Messergebnissen der Landwirtschaftlichen Untersuchungs- und Forschungsanstalt (LUFA) sind pro 100 g Boden der Weide 9,9 mg Phosphor, 8,3 mg Kalium und 4,6 mg Magnesium vorhanden. Damit entsprechen die Phosphor- und Kaliumversorgung der Gehaltsklasse C, welche für die landwirtschaftliche Nutzung anzustreben ist, und die Magnesiumversorgung der Gehaltsklasse B, welche als zu niedrig eingestuft wird. Außerdem findet eine regelmäßige Kalk- und Gölledüngung statt. Dementsprechend wird der Boden als nährstoffreich eingeschätzt.

**Tab. 3. Beschreibung des Bodenprofils**



Nr.	Horizont-bezeichnung	Tiefe in cm	Bodenart	Durchwurzelung	Carbonatgehalt
1	rAp1	0-7	Su2	W6	keine Reaktion
2	Go-rAp2	7-23	Su2	W5	keine Reaktion
3	Gor	23-33	Su2	W4	keine Reaktion
4	Sw-Gro	33-58	Su2	W2	keine Reaktion
5	II Sd-Go	58-80	Sl4	W2	keine Reaktion
6	Gor	80-90	Su2	W2	keine Reaktion
7	Gro	90-110	Su2	W2	keine Reaktion
8	Gor	110-141	Ss	W0	keine Reaktion

**Abb. 12: Bodenprofil der Weide (BRUHN 2022).**

### 3.2.4 Vegetation und Sonstiges

#### Heutige potenzielle natürliche Vegetation

Die Gemeinde Apen, welche etwa 15 Kilometer (km) von dem Hof Bruhn entfernt ist, gibt die heutige potenzielle natürliche Vegetation (hpnV) für verschiedene Bodentypen bzw. Biotoptypen an (SPENTHOFF et al. 2017). Demnach würde sich auf landwirtschaftlich intensiv genutzten und aufgedüngten Bereichen ein Buchen-Eichenwald aus den charakterisierenden Gehölzarten Stieleiche (*Quercus robur*), Rotbuche (*Fagus sylvatica*), Hängebirke (*Betula pendula*) und Moorbirke (*Betula pubescens*) entwickeln.

#### Vegetation an der Weide

Die Gehölze entlang des unmittelbaren Weiderandes wurden bezüglich der Art, des Durchmessers, der Höhe sowie des Zustands aufgenommen (Anhang 13). Die Art wurde mit der Smartphone-App PictureThis bestimmt. Der Durchmesser und die Höhe wurden geschätzt. Der Zustand wurde subjektiv beurteilt.

Die Weide ist teilweise von Hecken umgeben, die in unterschiedliche Gruppen aufgeteilt sind (Anhang 14). Gruppe 1 wird größtenteils durch Berg-Ahorn (*Acer pseudoplatanus* L.), Stiel-Eiche (*Quercus robur* L.), Schwarzerz-Erle (*Alnus glutinosa* L.) und Silber-Pappel (*Populus alba* L.) geprägt. Gruppe 1 ist Bestandteil eines Biotops zwischen der Beispielweide und anderen Weiden. Gruppe 2 setzt sich größtenteils aus Bäumen der Art Spitz-Ahorn (*Acer platanoides* L.) zusammen, welche dort gepflanzt wurden und noch unter 8 m Höhe sind. Gruppe 3 besteht vor allem aus Stiel-Eichen, die größer als 10 m sind. Gruppe 3 ist eine Baumhecke. Gruppe 4 entspricht in etwa Gruppe 3, aber die Ausrichtung ist eine andere. Gruppe 5 besteht aus dichten Brombeersträuchern (*Rubus Armeniacus* FOCKE) und vereinzelt Bäumen mit geringer Höhe. Entlang der Aue sind hauptsächlich Gehölze der Gattung Weiden (*Salix* L.), welche größtenteils 2 bis 3 m groß sind und keinen dichten Bestand bilden (Gruppe 6). Bei der Auswertung der subjektiven Bewertung der Gehölze fallen Schwarzer Holunder (*Sambucus nigra* L.) und die Arten der Gattung Ahorn (*Acer* L.) durch ihren schlechten Zustand auf. Im guten Zustand sind die Gehölze Eingriffeliger Weißdorn (*Crataegus monogyna* JACQ.), Schwarz-Erle, Vogelbeere (*Sorbus aucuparia* L.), Hundsrose (*Rosa canina* L.), Stiel-Eiche, Gemeine Hasel (*Corlyus avellana* L.), Brombeere (*Rubus fruticosus* L.), Armenische Brombeere (*Rubus armeniacus* FOCKE), Gewöhnlicher Spindelstrauch (*Euonymus europaeus* L.) und verschiedene Weidenarten.

Ein Wildverbiss bei Neupflanzungen durch Rehe, Hasen und Mäuse ist möglich.

### **3.3 Aktuelle Bewirtschaftung der Weide**

Der Betrieb Bruhn ermöglicht den laktierenden Kühen so lange wie im Jahr möglich den Weidegang. Zur Pflege der Grasnarbe und Erhaltung der Produktivität wird die Weide nachgemäht und gestriegelt. Es findet auch eine Ernte von Grassilage und Heu statt. Die Fruchtbezeichnung in der Düngeplanung lautet „Grünland Mähweide 60 % W. 1“. Die Vegetation der Weide setzt sich hauptsächlich aus Deutschem Weidelgras, Weißlee (*Trifolium repens* L.) und geringen Anteilen der Gattung Löwenzahn (*Taraxacum*) und anderen Kräutern zusammen. Die Ertragserwartung liegt bei 94 Dezitonnen (dt) pro ha. Die Weide wird nach dem Bioland-Standard bewirtschaftet. Folglich werden beispielsweise keine chemisch synthetischen Stickstoffdünger und keine leicht löslichen Phosphate noch Herbizide eingesetzt. Je nach Bedarf findet eine Düngung mit Gülle statt.

### **3.4 Planung der Agroforstsysteme**

Im Folgenden werden die Methoden zur Planung der Agroforstsysteme beschrieben. Der Planungsprozess besteht aus der Definition von Anforderungen an ein Agroforstsystem, einem Gestaltungsentwurf, der Auswahl von Gehölzen und der Erstellung eines Bepflanzungskonzepts sowie des Anlage- und Bewirtschaftungskonzepts.

#### **3.4.1 Definition der Anforderungen an ein Agroforstsystem aus der Sicht des Betriebs Bruhn GbR**

Anhand der im Stand des Wissens beschriebenen Auswirkungen des Klimawandels auf die Milchkuhhaltung, der bisherigen, subjektiven Erfahrungen mit dem Klimawandel im Betrieb sowie der betriebspezifischen Bedingungen im Hinblick auf die Bewirtschaftung und Fütterung wurden Anforderungen aufgestellt, die ein silvopastorales Agroforstsystem erfüllen soll. Die Auswirkungen, Erfahrungen und betrieblichen Bedingungen, unter denen die Anforderungen aufgestellt werden sollen, sind in detaillierter Form in Anhang 15 aufgelistet.

#### **3.4.2 Erstellung der Gestaltungsentwürfe**

Für eine sinnvolle Gestaltung wurde im ersten Schritt nach Literatur zu Agroforst recherchiert. Die verfügbaren Bücher über Agroforst der Hochschulbibliothek Osnabrück sowie die wissenschaftliche Zeitschrift *Agroforestry Systems* wurden nach dem Begriff „Design“ bzw. „agroforestry design“ und „silvopasture design“ durchschaut. Zusätzlich wurde in der allgemeinen Google-Suche und in der wissenschaftlichen Suchmaschine Google-Scholar nach den obigen Begriffen gesucht. Die Webseite [www.agforward.eu](http://www.agforward.eu) wurde ebenfalls nach Gestaltungsmöglichkeiten durchschaut. In der Literatur wurde außerdem auf die Bewirtschaftung geachtet. Insgesamt wurden vier Funktionskomponenten zur Planung eines

silvopastoralen Agroforstsystems ausgewählt. Diese sind der Windschutz, die Futterlaubproduktion und die Zaunfunktion durch Hecken und der Schattenwurf. Anschließend wurde tiefergehend nach der Gestaltung von Hecken in der Hochschulbibliothek und in der allgemeinen Google-Suche sowie in Google-Scholar mit den Begriffen „Hecke“, „Heckengestaltung“ und „Windschutzhecke“ recherchiert. Eine Übersicht der verwendeten Literatur ist in Anhang 16.

Im nächsten Schritt wurden Möglichkeiten konzipiert, um die Standortbedingungen, die aktuelle Bewirtschaftungsform des Betriebs bzw. der Weide, die im ersten Schritt recherchierten Funktionskomponenten sowie die Gestaltungsparameter in Tab. 1 (Kap. 2.3.3) zu kombinieren und zwei Gestaltungspläne zu entwerfen. Die Bewirtschaftung mit dem Rotorschwader wurde als ausschlaggebend für die Mindestabstände zwischen den Gehölzstreifen und zum Feldrand bewertet. Schließlich ist nur durch die Nutzung des Rotorschwaders eine Futterwerbung möglich, die über mehrere Monate verwendet werden kann. Im Betrieb sind die Grünschnittsilage und die Heuballenpressung die von der Verwendung des Rotorschwaders abhängigen Ernteverfahren. Berechnungen mit der Arbeitsbreite des Rotorschwaders sind in Anhang 18.

Dann wurde ein erster Gestaltungsentwurf in der Computeranwendung QGIS angelegt. Dafür wurden zwei digitale Orthophotos von LGLN (o. J.) heruntergeladen, um die Weide vollständig darzustellen. Anschließend wurden Reihen zur Darstellung von Heckenstrukturen entlang des Weiderands eingezeichnet. Sie wurden so konzipiert, dass sie dem Querschnitt in Abb. 8 (Kap. 2.2.3) ähneln. Die Heckenstrukturen sollen also Gehölze unterschiedlicher Wuchsordnungen beinhalten. Grundsätzlich soll die Heckenstruktur aus einer Baumreihe mit Wertholznutzung, zwei Holzreihen mit anderweitiger Nutzung und zwei Futterlaubreihen auf beiden Seiten der Wertholzreihe bestehen. Zum Einzeichnen der Reihen eines Heckenstreifens wurden die Feldränder nachgezeichnet und um die entsprechenden Abstände parallel zur mittigen Wertholzreihe verschoben. Bei der Erstellung der Gestaltungsentwürfe wurde die umliegende Vegetation beachtet. Bis zu diesem Punkt sind beide Gestaltungsentwürfe gleich (Anhang 17). Insgesamt wurden drei Gehölzstreifen entlang des Weiderands eingezeichnet. Außerdem wurden die Zufahrten freigehalten.

Zur weiteren Erstellung von Gestaltungsentwurf 1 (Abb. 13) sollte ein Gehölzstreifen (Gehölzstreifen 4) mittig zwischen Gehölzstreifen 1 und 3 in Bewirtschaftungsrichtung angelegt werden. Der Gehölzstreifen 4 soll aus einer Wertholzreihe und zwei parallelen, die Wertholzreihe umrandenden Futterlaubreihen bestehen, die gleichzeitig eine Zaunfunktion erfüllen. Dafür wurde eine Linie im Feld in der bisherigen Bewirtschaftungsrichtung gezogen.

Diese Linie wurde an den ersten Berührungspunkt mit der Hecke 1 aus der Weidenmitte kommend geschoben. Anschließend wurde eine parallele Linie im Abstand von 80 cm mit dem QGIS-Werkzeug „Feld versetzter (paralleler) Linien“ in Richtung der Feldmitte erstellt. Dieser Abstand soll einen Sicherheitsabstand zur Hecke während der Bewirtschaftung mit dem Schwader ermöglichen. Dies ist die obere Außenlinie. Die untere Außenlinie ist eine möglichst nah an Hecke 3 geschobene, parallele Linie von der oberen Außenlinie. Der Abstand zwischen diesen Linien beträgt 66 m. Zur Erstellung des Gehölzstreifens in der Mitte der Fläche wurde der Abstand der Außenlinien halbiert. Das Ergebnis ist 33 m. Dann wurden die maximalen Durchfahrten des Schwaders für eine Breite von 33 m berechnet. Zwischen zwei Gehölzstreifen mit einem Abstand von 33 m kann der Rotorschwader maximal vier Mal durchfahren. Die Mindestbreite dafür beträgt 31 m, wenn das Schwad jeweils 1,3 m breit und jeweils einen Sicherheitsabstand zu den Gehölzstreifen von 0,8 m einbehalten werden soll. Die Differenz des Abstands zwischen den Außenlinien und der doppelten Mindestbreite ergab 4 m als Breite für den mittigen Gehölzstreifen. Die Mindestbreite von 31 m wurde für das Vorgewende des mittigen Gehölzstreifens übernommen. Aufgrund des breiten Abstands zwischen der unteren Außenlinie und dem Gehölzstreifen 3 wurde ein zusätzlicher Gehölzstreifen (Gehölzstreifen 5) erstellt. Dieser sollte den Mindestabstand für zwei Durchfahrten des Schwaders zum Gehölzstreifen 3 haben. Wegen der geringen Breite wurden für den Gehölzstreifen 5 nur zwei Futterlaubreihen geplant.

In Gestaltungsentwurf 2 sollten die Gehölzstreifen in der Weide senkrecht zur Hauptwindrichtung mit möglichst geringem Abstand zueinander und zu den Gehölzstreifen am Feldrand geplant werden. Sie sollten die gleiche Struktur und Breite wie Gehölzstreifen 5 in Gestaltungsentwurf 1 haben. Zur Ausrichtung wurde eine Orientierungslinie am südlichen Feldrand senkrecht zur Hauptwindrichtung gezeichnet. Dann wurde die grundsätzliche Gehölzstreifenstruktur eingezeichnet und bis über den nördlichen Feldrand hinaus mit dem Werkzeug „Feld versetzter (paralleler) Linien“ wiederholt. Als nächstes wurde das Vorgewende eingezeichnet. Zuletzt wurde das Vorgewende von den Gehölzstreifenstrukturen mit dem QGIS-Werkzeug „Verschneidung“ abgeschnitten.

In beiden Gestaltungsentwürfen wurden alle Reihen für das endgültige Bepflanzungskonzept vorgezeichnet. Die genauen Strukturen und Abstände sind im jeweiligen Ergebnisteil der Gestaltungsentwürfe vorgestellt.



### **3.4.3 Auswahl der Gehölzarten**

#### **Auswahl der Wertholzbaumarten**

Zur Auswahl von Wertholzbaumarten wurden Handbücher, Leitfäden und Broschüren in der Rubrik Fachinformation in der Infothek des Deutschen Fachverbands für Agroforstwirtschaft (DeFAF) genutzt. Zur Beschreibung der ökologischen Eigenschaften der Baumarten wurde hauptsächlich die Enzyklopädie der Holzgewächse verwendet und durch weitere Literatur ergänzt. Da die Weide in einen feuchten und einen trockenen Bereich eingeteilt wurde, wurden für beide Bereiche jeweils drei unterschiedliche Baumarten ausgewählt. Für den trockenen Bereich war eine Trockenresistenz oder Eigenschaften, die auf eine Trockenresistenz hinweisen, ausschlaggebend. Für den feuchten Bereich wurde auf eine Verträglichkeit von feuchten Bodenverhältnissen und Staunässe sowie auf eine Überflutungstoleranz geachtet. Da manche in der Literatur genannten Wertholzbaumarten zum Zeitpunkt der Artenauswahl pathologische Schwierigkeiten hatten oder nicht die gewünschten Eigenschaften aufwiesen, wurde auf das Buch „Waldbau auf ökologischer Grundlage“ zur weiteren Baumartenauswahl zurückgegriffen. Für alle Baumarten wurden zusätzlich für die Planung und Bewirtschaftung eines Agroforstsystems hilfreiche Eigenschaften, wie die Baumhöhe und das Sukzessionsstadium, hinzugefügt. Zur Artenauswahl dienten hauptsächlich die Leitfäden von BENDER et al. (2009) und SCHULZ et al. (2020). Die Liste mit der vollständig verwendeten Literatur ist in Anhang 19.

#### **Auswahl der Futterlaubgehölze**

Zur Recherche von Futterlaubgehölzen wurden unterschiedliche Fachbücher über Agroforstwirtschaft in der Hochschulbibliothek genutzt. Google-Scholar, die Google-Suche und die wissenschaftliche Zeitschrift Agroforestry Systems wurden nach „Futterlaub“, „Gehölzfutter“, „temperate fodder trees“ und „temperate tree fodder“ durchsucht. Dabei konnte die Studie von RAHMANN (2004) gefunden werden. In dieser Studie sind zahlreiche Gehölze und deren Inhaltsstoffe zu finden. Die Webseite [www.agforward.eu](http://www.agforward.eu) bietet außerdem zahlreiche Kurzblätter. Über deren Literaturempfehlungen konnte die Studie von EMILE et al. (2017), die ebenfalls die Inhaltsstoffe von verschiedenen Gehölzarten angibt, gesichtet werden. Die jeweilige Gehölzart und die dazugehörigen Inhaltsstoffe wurden aus den Studien von RAHMANN (2004) und EMILE et al. (2017) in eine Excelliste übertragen. Anschließend wurden die Gehölzarten nach dem Rohproteingehalt sortiert. Als nächstes wurden die Gehölzeigenschaften zur Auswahl für den trockenen und den feuchten Bereich vor allem mit der Enzyklopädie der Holzgewächse herausgesucht. Außerdem wurden die Gehölze mit Dornen aussortiert. Eine Liste mit der verwendeten Literatur ist in Anhang 20.

### **Auswahl der Heckengehölze**

Die für die Wertholzproduktion und den Futterlaubanbau ausgewählten Gehölze wurden nach der Höhe verschiedenen Wuchsordnungen (WO) zugeordnet. Die Größeneinteilung ist orientiert an SCHWANENLAND BAUMSCHULE (o. J.). Die erste WO ist größer als 20 m und sollte die Wertholzbaumarten enthalten, die zweite WO zwischen 10 und 20 m sollte mit Baumarten, die zuvor für die Futterlaubproduktion ausgewählt wurden, besetzt werden und mit anderen Baumarten gefüllt werden. Dazu wurde das Buch „HECKEN – Geschichte und Ökologie. Anlage, Erhaltung & Nutzung.“ von KURZ et al. (2001) genutzt. Die dritte WO ist kleiner als 10 m und sollte von zuvor ausgewählten Futterlaubsträuchern besetzt werden. Diese WO wurde gegebenenfalls ergänzt mit Futterlaubgehölzen nach RAHMANN (2004), die kleiner als 10 m sind. Die Liste der benutzten Literatur ist in Anhang 21.

### **3.4.4 Erstellung der Bepflanzungskonzepte**

Zur Erstellung der Bepflanzungskonzepte wurden in der Literatur gängige Abstände zwischen den jeweiligen Nutzungsformen der Gehölze recherchiert. Für die Strukturierung der Wert- und Holzbaumarten wurde der Leitfaden von BENDER et al. (2009) herangezogen. Für die Futterlaubreihen wurden eigene Überlegungen angestellt. Die Gehölze konnten mit dem QGIS-Werkzeug „Punkte entlang einer Geometrie“ auf den Reihen in den entsprechenden Abständen verteilt werden.

Die Anzahl der Gehölze einer einzelnen Reihe wurde über die Attributtabelle bestimmt und in einer Excel-Liste aufsummiert.

Die restliche Weidegröße wurde bestimmt, indem die restliche Weidefläche neu eingezeichnet wurde. Dann konnte über die Funktion „area“ die Größe bestimmt werden.

Für die Dichte der Gehölze wurde die Weidegröße mit der bepflanzten Fläche der angrenzenden Weide summiert. Dann wurde die jeweilige Gehölzanzahl durch die Flächensumme dividiert.

Die gewünschten Eigenschaften und Qualitäten der Gehölze wurden mit NIESEL et THIEME-HACK (2016) in dem Buch „Bauen mit Grün. Die Bau- und Vegetationstechnik des Garten- und Landschaftsbaus“ und den Gütebestimmungen der Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung und Landschaftsbau (FLL) bestimmt.

### **3.4.5 Erstellung des Anlage- und Bewirtschaftungskonzepts**

#### **Anlagekonzept**

Das Anlagekonzept basiert überwiegend auf eigenen Erfahrungen und Ideen. Der Schutz der Futterlaubsträucher mit einem Elektrozaun wurde von LUSKE et al. (2017b) übernommen.

#### **Bewirtschaftungskonzept**

Das Bewirtschaftungs- und Nachpflanzungskonzept der Wertholzbäume wurde mit einer Orientierung an den Leitfäden von MORHART et al. (2015), BENDER et al. (2009) und SCHULZ et al. (2020) erstellt. Die Bewirtschaftungsmöglichkeiten der Holzbäume sind anhand von DVL (2006) und den Gegebenheiten im Betrieb überlegt worden. Die Bewirtschaftung der Futterlaubreihen ist an den Futterblock-Schnitt von CHARLTON et al. (2003) angelehnt. Zusätzlich wurde in der Google-Suche nach „Heckenpflege mit Traktor“ gesucht und auf die Firma GreenTec gestoßen. Diese bietet Anbaugeräte für Traktoren zur Heckenpflege an (GREENTEC o. J.).

## 4 Ergebnisse

Die Agroforstsystemplanungen setzen sich aus den definierten Anforderungen, einem Gestaltungsentwurf, den ausgewählten Gehölzarten, dem Bepflanzungskonzept sowie dem Anlage- und Bewirtschaftungskonzept zusammen. Die zwei in dieser Arbeit erstellten Agroforstsystemplanungen haben teilweise dieselben Bestandteile und setzen sich wie folgt zusammen:

**Tab. 4: Bestandteile der Agroforstsystemplanung**

Agroforstsystemplanung 1	Agroforstsystemplanung 2
Anforderungen an ein Agroforstsystem	
Gestaltungsentwurf 1	Gestaltungsentwurf 2
Ausgewählte Gehölzarten	
Bepflanzungskonzept 1	Bepflanzungskonzept 2
Anlage- und Bewirtschaftungskonzept	

### 4.1 Anforderungen an ein Agroforstsystem aus der Sicht des Betriebs

Ein Verhindern starker Milchleistungsabnahmen durch den Klimawandel ist das Hauptziel des Milchkuhbetriebs Bruhn GbR. Gleichzeitig soll die Bewirtschaftungsweise der Beispielweide beibehalten werden. Die Bewirtschaftung eines Agroforstsystems sollte möglichst wenig Arbeitszeit verursachen. Die Anforderungen an ein Agroforstsystem lauten deswegen:

1. Sicherstellung der Futtermittellieferung,
2. Minderung oder vollständige Verhinderung des Hitzestresses im Sommerhalbjahr,
3. Beibehaltung der auf der Weide angewandten Bewirtschaftungsweise,
4. möglichst mechanisierte Pflege und Bewirtschaftung der Gehölze.

### 4.2 Gestaltungsentwürfe

Die Gestaltungsentwürfe sind nur eine Grundlage für die Bepflanzungspläne. Deswegen werden in diesem Kapitel nur die geplanten Gehölzstreifen, deren Anordnung und Strukturierung und die jeweiligen Abstände beschrieben.

In beiden Gestaltungsentwürfen werden die Windschutz- und Futterlaubhecken Wertholzreihen, Holzreihen und Futterlaubreihen als Nutzungskomponenten verwendet. Der Unterschied zwischen Wertholzreihe und Holzreihe basiert auf der beabsichtigten Nutzung. Wertholzreihen sollen Edellaubbäume enthalten, die einen Stammdurchmesser von mindestens 45 cm entwickeln. Die Holzstreifen sollen an den Feldrändern zwischen den

Wertholz- und den Futterlaubreihen gepflanzt werden, um die Höhengenausnutzung beider Systemkomponenten zu verbinden und damit eine Heckenstruktur wie in Abb. 8 (Heckenquerschnitt) erzeugen. Die Gehölze der Holzreihen können einer anderweitigen Holznutzung, wie der Brenn- oder Industrielholzerzeugung, dienen.

#### **4.2.1 Gestaltungsentwurf 1**

Der Gestaltungsentwurf 1 (Abb. 13) sieht drei Gehölzstreifen am Rand der Weide vor. Am südwestlichen Feldrand befindet sich bereits ein dichtes Biotop mit Gehölzen unterschiedlicher Höhe. Der Gehölzstreifen 1 besteht aus einer Wertholzreihe und einer parallelen Holzreihe auf beiden Seiten der Wertholzreihe im Abstand von 2 m. Weiter hat der Gehölzstreifen 1 auf beiden Seiten der Wertholzreihe, neben der Holzreihe, eine innere Futterlaubreihe im Abstand von 3 m und eine äußere Futterlaubreihe im Abstand von 4 m. Die Holzreihe und die Futterlaubreihe in nordwestlicher Richtung neben der Wertholzreihe sollen auf der angrenzenden Weide gepflanzt werden, weil die Wertholzreihe in einer bereits bestehenden Heckenstruktur am Weiderand (Anhang 14, Gruppe 2 und Gruppe 3) etabliert werden soll. Den äußeren Futterlaubreihen wird ein Wachstum von 0,5 m in die Beispielweide bzw. in die angrenzende Weide zugesprochen, sodass Gehölzstreifen 1 insgesamt 9 m breit werden soll. Der Gehölzstreifen 2 besteht aus einer Holzreihe sowie einer inneren und einer äußeren Futterlaubreihe im Abstand von 1 bzw. 2 m zur Holzreihe. Auf die Wertholzreihe wurde wegen der Eichenbäume (Anhang 14, Gruppe 4) verzichtet. Bei einem Wachstum der äußeren Futterlaubreihe von 0,5 m nach außen soll Gehölzstreifen 2 2,5 m breit werden. Gehölzstreifen 3 ist so strukturiert wie Gehölzstreifen 1, nur wurde auf die zweite Futterlaubreihe, auf der dem Fließgewässer Aue zugewandten Seite, verzichtet, da sich am Ufer bereits eine Gehölzvegetation entwickelt. Der Gehölzstreifen 3 soll 8 m breit werden. Insgesamt sollen die Gehölzstreifen 1 bis 3 die Funktion des Windschutzes, der Futterlaubversorgung und eines Zauns erfüllen.

Der Gehölzstreifen 4 ist in der aktuellen Bewirtschaftungsrichtung ausgerichtet. Der minimale Abstand zum Gehölzstreifen 1 beträgt 31 m. Er setzt sich aus der vierfachen Arbeitsbreite des Rotorschwaders von 6,7 m zuzüglich zweifacher Schwadbreite von je 1,3 m und zweifachem Sicherheitsabstand von je 0,8 m zu den Gehölzstreifen zusammen. Der Gehölzstreifen 4 besteht aus einer Wertholzreihe, die von einer inneren Futterlaubreihe im Abstand von 1 m und einer äußeren Futterlaubreihe im Abstand von 1,5 m umrandet wird. Der Gehölzstreifen 5 wird bei einem Wachstum der äußeren Futterlaubreihe von 0,5 m in die Weidefläche aufsummiert 4 m breit und 200 m lang. Der minimale Abstand zu Gehölzstreifen 2, 3 und zum Biotop (Anhang 14, Gruppe 1) beträgt ebenfalls mindestens 31 m. Parallel zu Gehölzstreifen 4

soll ein Streifen nur aus Futterlaubreihen bestehend gepflanzt werden. Die Futterlaubreihen sollen parallel in einem Abstand von 1 m zueinander gepflanzt werden. Insgesamt soll Gehölzstreifen 5 2 m breit und ca. 54,5 m lang werden. Der Mindestabstand zwischen Gehölzstreifen 5 und Gehölzstreifen 3 beträgt 16,3 m. Er ist die Summe der doppelten Arbeitsbreite des Schwaders plus 1,3 m Schwadbreite und einem Sicherheitsabstand zu den Gehölzstreifen von je 0,8 m.

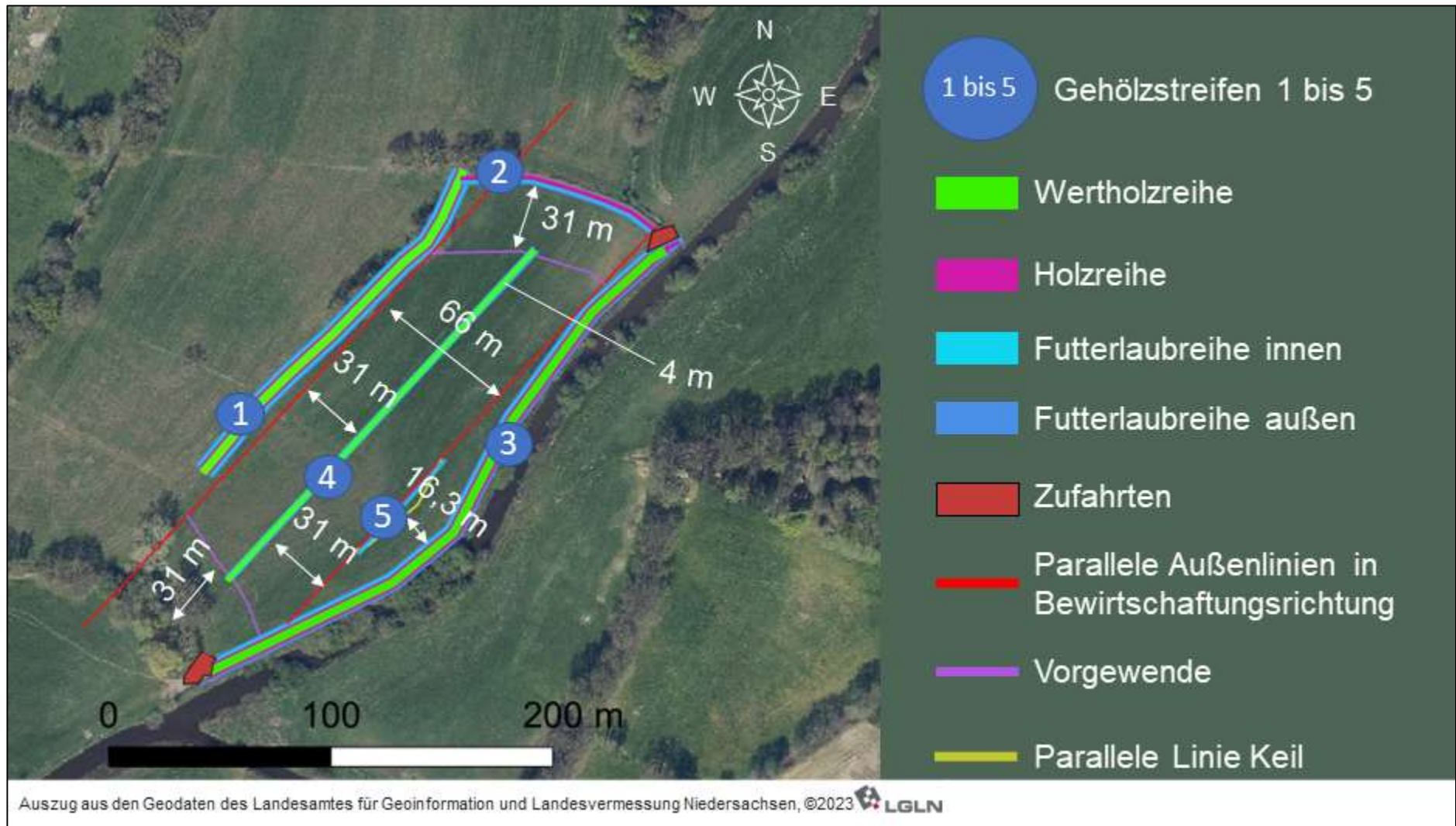


Abb. 13: Gestaltungsentwurf 1 (LGLN o. J., verändert).

#### **4.2.2 Gestaltungsentwurf 2**

Für den Gestaltungsentwurf 2 wurden die Gehölzstreifen 1 bis 3 aus Gestaltungsentwurf 1 übernommen. Die Gehölzstreifen 4 bis 18 haben außerdem dieselbe Struktur wie Gehölzstreifen 5 in Gestaltungsentwurf 1. In Gestaltungsentwurf 2 sind die Gehölzstreifen jedoch rechtwinklig zur Hauptwindrichtung angeordnet. Auch die Mindestabstände zu den Windschutzhecken und untereinander sind anders gewählt. Sie betragen hier mindestens 16,3 m. Die Berechnung wurde bereits in Gestaltungsentwurf 1 vorgestellt. Die Längen der einzelnen Gehölzstreifen betragen zwischen 9 und ca. 64 m.



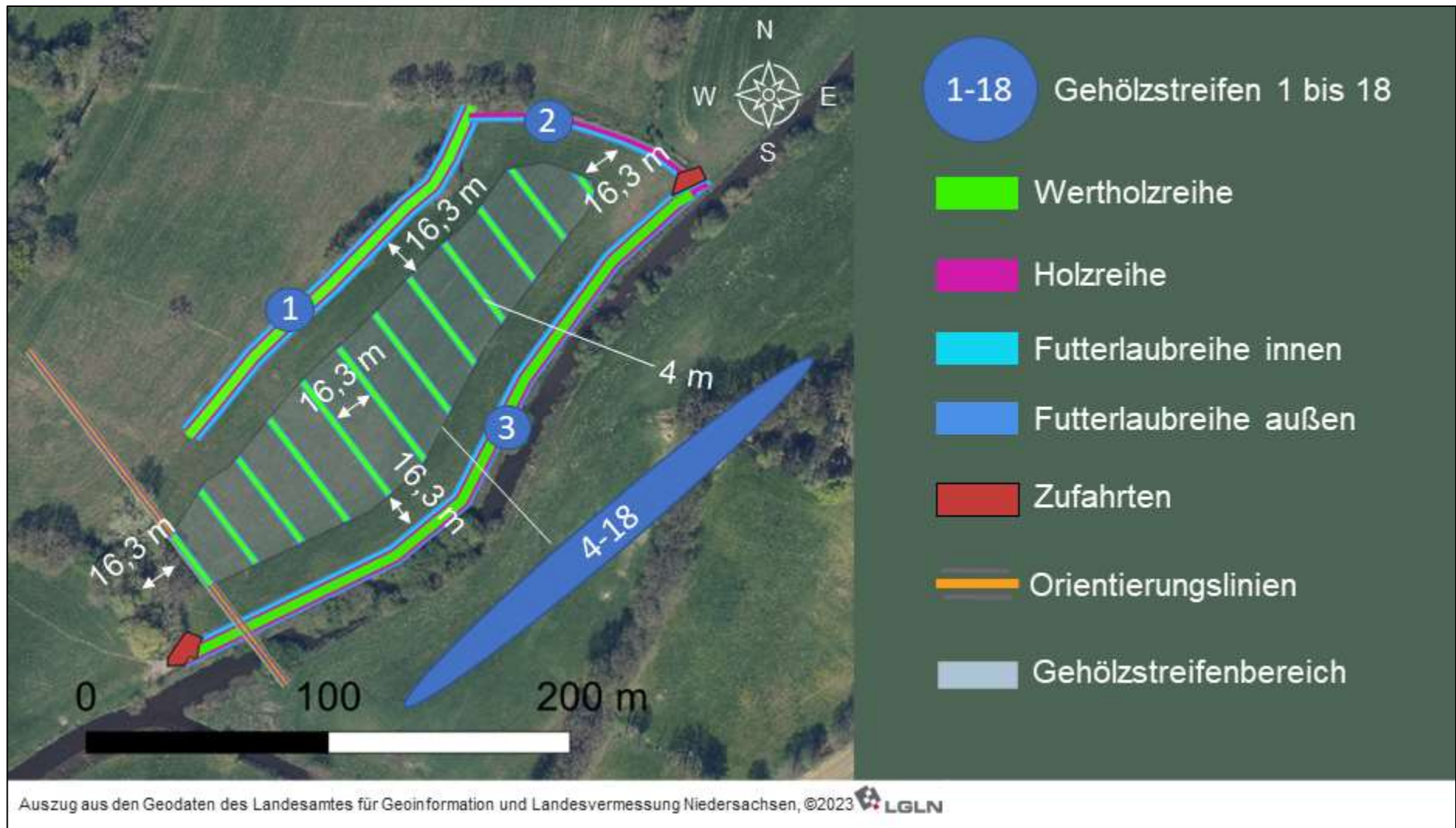


Abb. 14: Gestaltungsentwurf 2 (LGLN o. J., verändert).

### 4.3 Ausgewählte Gehölzarten

Es wurden dieselben Gehölzarten für beide Agroforstsystemplanungen ausgesucht. Deswegen werden die ausgewählten Gehölzarten beider Planungen in diesem Unterkapitel vorgestellt.

#### 4.3.1 Baumarten für die Wertholznutzung

In Tab. 5 sind die ausgewählten Baumarten für die Wertholznutzung aufgelistet. Sie sind sortiert in Baumarten für den trockeneren (rote Färbung) und feuchteren (blaue Färbung) Bereich der Fläche. Zusätzlich wurden die Höhe, der Anspruch an die Bodenfeuchtigkeit (BF), die Trockenheitsresistenz (TR), die Überflutungstoleranz (ÜT), das Vertragen von Staunässe (SN), die Verbreitung und das Auftreten in der Sukzession bzw. alternativ die Lichtbedürfnisse recherchiert. Die Quellen zu den Nummern in eckigen Klammern sind in Anhang 19.

**Tab. 5: Baumarten für die Wertholznutzung**

Baumart	Höhe	BF	TR	ÜT	SN	Verbreitung	Sukzession
<i>Prunus avium</i> L., Vogelkirsche, Wildkirsche	20 m [10]	Mäßig frisch bis frisch [10]	Ja [15]	Ja [15]	Nein [16]	Mischwälder [10]	Pionier [15]
<i>Quercus petraea</i> MATTUSCHKA, Traubeneiche	40 m [17]	trocken bis frisch [17]	Ja [17]	Nein [17]	Nein [17]	südliches Mitteleuropa [17]	lichtbedürftig [18]
<i>Sorbus domestica</i> L., Speierling	30 m [19]	Mäßig trocken [20]	Ja [20]	Nein [20]	Nein [20]	Eichenwälder [20]	lichtbedürftig [20]
<i>Acer pseudoplatanus</i> L., Bergahorn	30 – 40 m [10]	Frisch bis feucht [11]	Nein [11]	Mäßig [12]	Nein [2]	kollin bis subalpin, ausbreitend [10]	Pionier [11]
<i>Alnus glutinosa</i> L., Schwarz-Erle	25 m [10]	Frisch bis feucht [3]	Nein [13]	Ja [13]	Ja [2]	Auwälder [13]	Pionier [13]
<i>Quercus robur</i> L., Stieleiche	45 m [10]	trocken bis feucht [14]	Mittel [14]	Ja [14]	Ja [14]	Auwälder [14]	lichtbedürftig [14]

### 4.3.2 Gehölzarten für die Futterlaubproduktion

In Tab. 6 sind die ausgewählten Gehölzarten für die Futterlaubnutzung aufgelistet. Sie sind sortiert in Baumarten für den trockeneren (rote Färbung) und feuchteren (blaue Färbung) Bereich der Fläche. Zusätzlich wurden der Rohproteingehalt der Blätter (RP), der Anspruch an die Bodenfeuchtigkeit (BF), die Trockenheitsresistenz (TR), die Überflutungstoleranz (ÜT), das Vertragen von Staunässe (SN), die Verbreitung und das Auftreten in der Sukzession bzw. alternativ die Lichtbedürfnisse recherchiert. Die Quellen zu den Nummern in eckigen Klammern sind in Anhang 20.

**Tab. 6: Gehölzarten für die Futterlaubproduktion**

Baumart	RP	BF	TR	ÜT	SN	Verbreitung	Sukzession
<i>Morus alba</i> L., Maulbeere	20,4 % [1]	trocken bis feucht [3]	Ja [3]	Nein [3]	Nein [3]	Ost-Asien [3]	lichtbedürftig [3]
<i>Quercus robur</i> L., Stieleiche	18,2 % [1]	trocken bis feucht [5]	Mittel [5]	Ja [5]	Ja [5]	Auwälder [5]	lichtbedürftig [5]
<i>Acer campestre</i> L., Feldahorn	16,7 % [1]	trocken [6]	Ja [6]	-	-	Hecken, trockene Wälder, Auwaldböden [6]	Halbschatten [6]
<i>Rhamnus frangula</i> L., Faulbaum	23,2 % [1]	feucht bis nass [4]	Mäßig [7]	-	Nein [8]	Auenwälder [8]	Halbschatten [8]
<i>Salix fragilis</i> L., Bruchweide	19,6 % [1]	wechselfeucht bis nass [34]	-	Ja [9]	-	Bach- und Flussauen [9]	Pionier [9]
<i>Sambucus nigra</i> L., Schwarzer Holunder	18,5 % [1]	Frisch [19]	Nein [19]	-	Nein [19]	Lichtungen in Wäldern, Bachläufe [19]	offen bis Halbschatten [19]

### 4.3.3 Gehölzarten für eine Windschutzheckenpflanzung

In Tab. 7 sind die ausgewählten Gehölzarten für die Pflanzung einer Windschutzhecke im trockeneren Flächenbereich aufgelistet. Sie sind entsprechend der Höhe in Wuchsordnungen (WO) sortiert. Zusätzlich wurde die Nutzungsmöglichkeit (Nutz.), der Anspruch an die Bodenfeuchtigkeit (BF), die Trockenheitsresistenz (TR), die Überflutungstoleranz (ÜT), das Vertragen von Staunässe (SN), die Verbreitung und das Auftreten in der Sukzession bzw. alternativ die Lichtbedürfnisse recherchiert. Die Quellen zu den Nummern in eckigen Klammern sind in Anhang 21.

**Tab. 7: Gehölzarten für eine Windschutzhecke, trockenerer Bereich**

Baumart	WO	Höhe	Nutz.	BF	TR	ÜT	SN	Verbreitung	Sukzession
<i>Prunus avium</i> L., Vogelkirsche, Wildkirsche	I	20 m [10]	WH [2]	Mäßig frisch bis frisch [10]	Ja [15]	Ja [15]	Nein [16]	Mischwälder [10]	Pionier [15]
<i>Quercus petraea</i> MATTUSCHKA, Traubeneiche	I	40 m [17]	WH [17]	trocken bis frisch [17]	Ja [17]	Nein [17]	Nein [17]	südliches Mitteleuropa [17]	lichtbedürftig [18]
<i>Sorbus domestica</i> L., Speierling	I	30 m [19]	WH [2]	Mäßig trocken [20]	Ja [20]	Nein [20]	Nein [20]	Eichenwälder [20]	lichtbedürftig [20]
<i>Pyrus pyraeaster</i> L., Wildbirne	II	15 m [10]	H [2]	trocken bis feucht [29]	Ja [30]	Nein [30]	Nein [30]	Hecken [29]	Pionier [29]
<i>Acer campestre</i> , Feldahorn	II	15 m [10]	H [2]	trocken [31] bis frisch [2]	Ja [31]	Ja [32]	Ja [31]	lichte Laub- und Auwälder [31]	Lichtbedürftig [31]
<i>Betula pendula</i> ROTH, Sandbirke, Hängebirke	II	20 m [10]	H [2]	anspruchlos [2]	Nein [33]	Nein [33]	Ja [2]	Extremstandorte [33]	Pionier [33]
<i>Morus alba</i> L., Maulbeere	II	10 m [1]	F [22]	trocken bis feucht [23]	Ja [23]	Nein [23]	Nein [23]	Ost-Asien [23]	lichtbedürftig [23]
<i>Viburnum lantana</i> L., Wolliger Schneeball	III	4 m [10]	F [21]	trocken [10] bis frisch [34]	-	-	-	Hecken [34]	Licht und Halbschatten [34]
<i>Cornus sanguinea</i> L., Roter Hartriegel	III	3 m [10]	F [21]	mäßig trocken bis frisch [35]	Ja [35]	-	-	Trockene Hügel [35]	Offen bis Halbschatten [35]

In Tab. 8 sind die ausgewählten Gehölzarten für die Pflanzung einer Windschutzhecke im feuchteren Flächenbereich aufgelistet. Sie sind entsprechend der Höhe in Wuchsordnungen (WO) sortiert. Zusätzlich wurde die Nutzungsmöglichkeit (Nutz.), der Anspruch an die Bodenfeuchtigkeit (BF), die Trockenheitsresistenz (TR), die Überflutungstoleranz (ÜT), das Vertragen von Staunässe (SN), die Verbreitung und das Auftreten in der Sukzession bzw. alternativ die Lichtbedürfnisse recherchiert. Die Quellen zu den Nummern in eckigen Klammern sind in Anhang 21.

**Tab. 8: Gehölzarten für eine Windschutzhecke, feuchterer Bereich**

Baumart	WO	H	Nutz.	BF	TR	ÜT	SN	Nat. Verbr.	Sukzession
<i>Acer pseudoplatanus</i> L., Bergahorn	I	30 – 40 m [10]	WH, [2]	Frisch bis feucht [11]	Nein [11]	Mäßig [12]	Nein [2]	kollin bis subalpin, ausbreitend [10]	Pionier [11]
<i>Alnus glutinosa</i> L., Schwarz-Erle	I	25 m [10]	WH, [2]	Frisch bis feucht [3]	Nein [13]	Ja [13]	Ja [2]	Auwälder [13]	Pionier [13]
<i>Quercus robur</i> L., Stieleiche	I	45 m [10]	WH, [14]	trocken bis feucht [14]	Mittel [14]	Ja [14]	Ja [14]	Auwälder [14]	lichtbedürftig [14]
<i>Salix fragilis</i> L., Bruchweide	II	15 m [36]	H [36]	wechselfeucht bis nass [36]	-	Ja [36]	-	Bach- und Flussauen [36]	Pionier [36]
<i>Carpinus betulus</i> L., Hainbuche	II	20 m [10]	H [37]	Frisch bis nass [37]	Mittelmäßig [38]	-	Ja [38]	Wälder, Hecken [10]	Intermediär [38]
<i>Sorbus aucuparia</i> L., Eberesche	II	15 m [7]	H [42]	Anspruchslos [8]	Ja [38]	-	-	Moorwälder [10]	Pionier [28]
<i>Rhamnus frangula</i> L., Faulbaum	III	3 m [26]	F [21]	feucht bis nass [10]	Mäßig [25]	Mäßig [23]	Nein [26]	Auenwälder [26]	Halbschatten [26]
<i>Viburnum opulus</i> L., Gemeiner Schneeball	III	4 m [41]	F [21]	Feucht [41]	-	-	-	Auwälder [41]	Halbschatten bis Vollschatten [41]
<i>Sambucus nigra</i> L., Schwarzer Holunder	III	7 m [10]	F [21]	Frisch [28]	Nein [28]	-	Nein [28]	Lichtungen in Wäldern, Bachläufe [28]	offen bis Halbschatten [28]

## 4.4 Bepflanzungskonzepte

Die Bepflanzungskonzepte 1 und 2 bestehen aus einem Bepflanzungsplan, der insgesamt geplanten Gehölzanzahlen, der restlichen Weidegröße, der jeweiligen Gehölzdichte und aus den Qualitätsanforderungen an das Pflanzgut.

### 4.4.1 Bepflanzungskonzept 1

Das Bepflanzungskonzept 1 sieht insgesamt fünf Gehölzstreifen vor (Abb. 15). Diese sind die Streifen am Feldrand (Nr. 1 bis 3), ein Gehölzstreifen (Nr. 4) relativ in der Mitte der Weide und einen Gehölzstreifen zwischen Nr. 4 und Nr. 3. Ein detaillierterer Bepflanzungsplan folgt auf der nächsten Seite (Abb. 16).



Abb. 15: Bepflanzungsplan 1 (LGLN o. J., verändert).

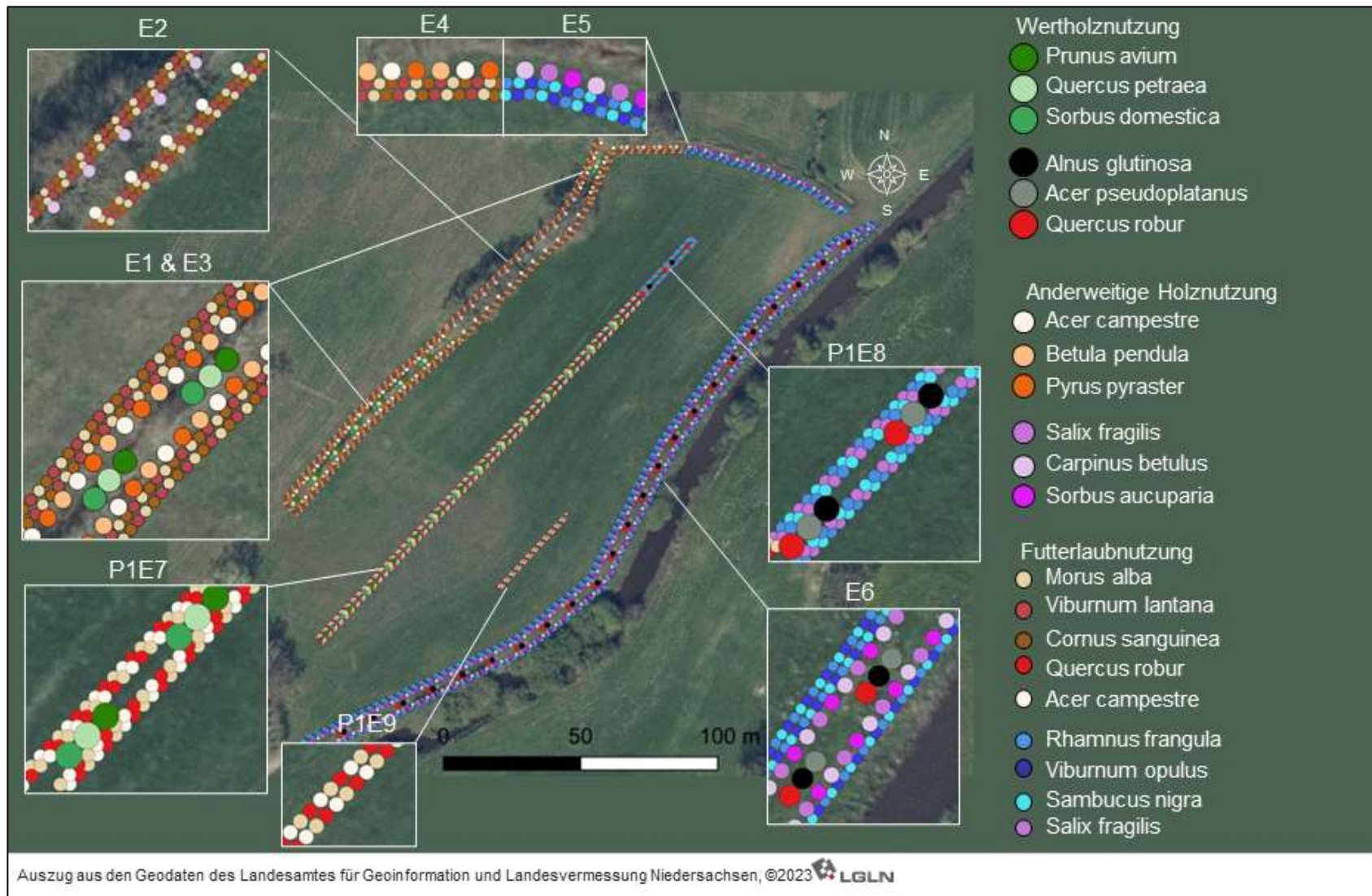


Abb. 16: Bepflanzungsplan 1, detailliert (LGLN o. J., verändert).

Das Bepflanzungskonzept 1 besteht aus verschiedenen Streifen, welche wiederum in Elemente (E) gegliedert sind (Abb. 16). Die Elemente, die nur im Bepflanzungskonzept 1 vorkommen haben P1 als Vorzeichen. E1 bis E4 und P1E7 und P1E9 sind im trockeneren Bereich der Weide (Anhang 11). E5, E6 und P1E8 sind hingegen im feuchteren Bereich.

### **Beschreibung der Elemente von Bepflanzungsplan 1**

#### E1 & E3: Streifen zur Wertholz-, anderweitigen Holz- und Futterlaubnutzung am Feldrand im trockeneren Bereich

Die Elemente 1 und 3 sind gleich strukturiert. In der Mitte der Streifen ist eine Wertholzreihe mit den Arten Wildkirsche, Traubeneiche und Speierling. Die Baumarten sind in Gruppen mit je einem Exemplar in einem Abstand von 2 m zueinander angeordnet. Der Abstand von Gruppenmitte zu Gruppenmitte beträgt 12 m. Parallel zur Wertholzreihe befindet sich auf beiden Seiten im Abstand von 2 m je eine Reihe mit Baumarten zur anderweitigen Holzproduktion. Die Abstände zwischen diesen Bäumen beträgt 2 m. Für diese Reihe sind Wildbirne, Feldahorn und Sandbirke in abwechselnder Reihenfolge eingezeichnet. Zusätzlich befinden sich auf beiden Seiten der Wertholzreihe im Abstand von 3 bzw. 4 m jeweils zwei Futterlaubreihen. Diese bestehen aus den Arten Weiße Maulbeere, Wolliger Schneeball und Roter Hartriegel. Der Abstand zwischen den Futterlaubgehölzen beträgt 1 m. Die Futterlaubgehölze der beiden Reihen sind nicht parallel, sondern versetzt angeordnet.

#### E2: Streifen zur anderweitigen Holz- und Futterlaubnutzung am Feldrand im trockeneren Bereich

Das zweite Element führt die Futterlaubreihen von E1 fort. Da am Ort von E2 bereits große Eichenbäume vorhanden sind, ist für dieses Element keine Wertholzpflanzung vorgesehen. Die südliche Holzreihe von den Eichenbäumen besteht aus Feldahornen, die nördliche Holzreihe aus Hainbuchen. Der Abstand zwischen den einzelnen Individuen beträgt in beiden Holzreihen je 6 m.

#### E4: Streifen zur anderweitigen Holz- und Futterlaubnutzung am Feldrand im trockeneren Bereich

Das Element 4 besteht aus einer Baumreihe zur anderweitigen Holzproduktion und zwei Futterlaubreihen. Die Arten und die Abstände sind jeweils dieselben wie in E1 und E3.

#### E5: Streifen zur anderweitigen Holz- und Futterlaubnutzung am Feldrand im feuchteren Bereich

Das E5 befindet sich nun anders als die zuvor beschriebenen Elemente im feuchteren Bereich der Weide. Dieses Element ist so strukturiert wie E4, jedoch sollen die Arten Bruchweide,



Hainbuche und Eberesche zur Holzproduktion und die Arten Faulbaum, Gemeiner Schneeball und Schwarzer Holunder zur Futterlaubproduktion verwendet werden.

#### E6: Streifen mit Wertholz-, anderweitiger Holz- und Futterlaubnutzung am Feldrand im feuchteren Bereich

E6 ist gleich wie E1 und E3 strukturiert. Hier werden jedoch die Baumarten Schwarz Erle, Stieleiche und Bergahorn für die Wertholzproduktion verwendet. Für die Holz- und Futterlaubnutzung werden die gleichen Arten von E5 verwendet.

#### P1E7: Streifen zur Wertholz- und Futterlaubnutzung im trockenen Feldbereich

P1E7 besteht aus einer Wertholzreihe, die von zwei Futterlaubreihen vollständig umrandet wird. Die geplanten Wertholzarten, die Anordnung und die Abstände sind dieselben wie in E1. Die Futterlaubarten sind hier jedoch andere. In P1E7 sollen die Arten Maulbeere, Stieleiche und Feldahorn gepflanzt werden. Außerdem sind die Abstände zwischen und in den Futterlaubreihen anders gewählt. Die Futterlaubreihen haben nur einen Abstand von 0,5 m zueinander und zwischen den einzelnen Gehölzen. Die Gehölze aus dem inneren und äußeren Futterlaubstreifen sind ebenfalls versetzt und nicht parallel zueinander gepflanzt.

#### P1E8: Streifen zur Wertholz- und Futterlaubnutzung im feuchten Feldbereich

P1E8 und P1E7 unterscheiden sich nur in der Artenwahl. Zur Wertholznutzung werden Bergahorn, Schwarz-Erle und Stieleiche verwendet. Zur Futterlaubnutzung sollen Faulbaum, Bruchweide und Schwarzer Holunder gepflanzt werden.

### **Anzahl der Gehölze**

Insgesamt setzt sich der Bepflanzungsplan 1 aus 148 Gehölzen zur Wertholznutzung, 478 Gehölzen zur anderweitigen Holznutzung und 1621 Gehölzen zur Futterlaubnutzung zusammen. In Anhang 22 ist eine Tabelle mit den genauen Anzahlen sortiert nach geplanter Nutzung und Art. Außerdem werden die Beschaffungsqualitäten beschrieben.

### **Restliche Weidengröße und Gehölzdichte**

Die restliche Weidengröße beträgt 1,88 ha. Die Weidengröße zuzüglich der Fläche, die auf der angrenzenden Weide bepflanzt werden soll, beträgt 2,45 ha. Für diese Größe wurden die Gehölzdichten kalkuliert. Damit lauten sie wie folgt:

Dichte (Gehölze pro ha):

- a) Nur Wertholzbäume: 60 Gehölze pro ha,
- b) Wertholzbäume mit Holzbäumen: 255 Gehölze pro ha,
- c) alle Gehölze: 916 Gehölze pro ha.

### Beschaffungskriterien für die Gehölzarten

Die Qualitätsanforderungen an die jeweilige Gehölzart sind mit in Anhang 22 nach den Gütebestimmungen der FLL vermerkt. Grundsätzlich sollen die verwendeten Pflanzen gesund und vital erscheinen. Pflanzware zur Wertholzproduktion soll als Hochstamm und geradschaftig besorgt werden. Zur Holznutzung ausgewählte Gehölzarten sollen als leichte Heister gepflanzt werden. Für die Futterlaubnutzung sollen die ausgewählten Gehölzarten in Strauchform mit mindestens drei Trieben verwendet werden.

#### 4.4.2 Bepflanzungskonzept 2

Das Bepflanzungskonzept 2 sieht insgesamt fünfzehn Gehölzstreifen vor (Abb. 17). Diese sind die Streifen am Feldrand (Nr. 1 bis 3) und die Gehölzstreifen im Feld (Nr. 4 bis 15). Ein detaillierterer Bepflanzungsplan folgt auf der nächsten Seite (Abb. 18).



Abb. 17: Bepflanzungsplan 2 (LGLN o. J., verändert).

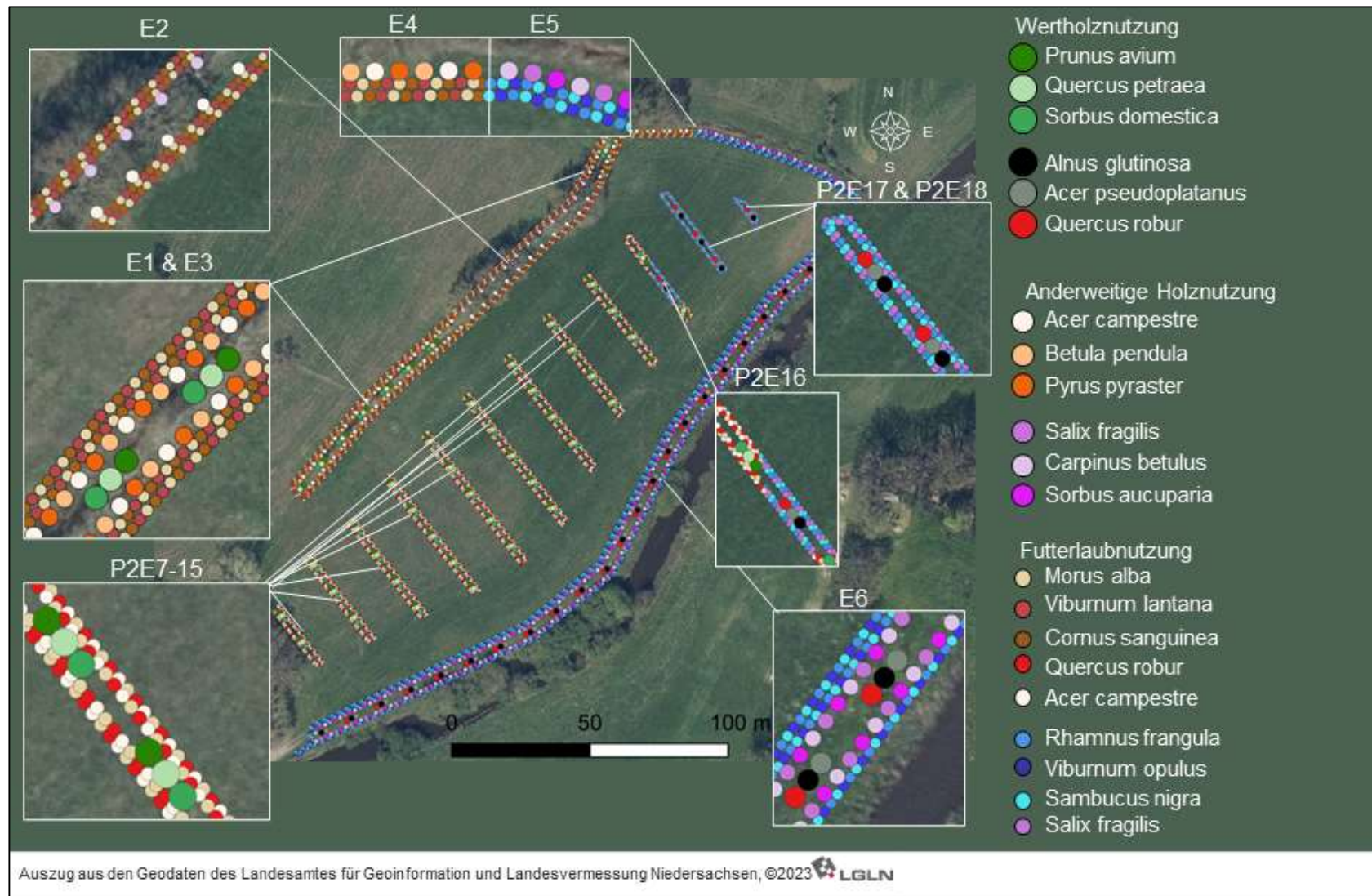


Abb. 18: Bepflanzungsplan 2, detailliert (LGLN o. J., verändert).

Das Bepflanzungskonzept 2 besteht ebenfalls aus verschiedenen Streifen (Abb. 17), welche wiederum in Elemente (E) gegliedert sind. Die Elemente, die nur im Bepflanzungskonzept 2 vorkommen haben P2 als Vorzeichen. E1 bis E4, P2E7 bis P2E15 und Teile von P2E16 befinden sich im trockeneren Bereich der Weide (Anhang 11). E5, E6, der mittlere Teil von P2E16, P2E17 und P2E18 sind hingegen im feuchteren Bereich.

### **Beschreibung der Elemente von Bepflanzungsplan 2**

E1 bis E6 sind genau wie in Bepflanzungsplan 1 mit denselben Gehölzarten und Abständen strukturiert. P2E7 bis P2E15 und der untere und obere Teil von P2E16 sind so wie Gehölzstreifen P1E7 im Bepflanzungsplan 1 strukturiert. Der mittlere Teil von P2E16, P2E17 und P2E18 bestehen aus denselben Gehölzarten mit denselben Abständen wie P1E8 im Bepflanzungsplan 1.

### **Anzahl der Gehölze**

Insgesamt besteht der Bepflanzungsplan 2 aus 223 Gehölzen zur Wertholznutzung, 478 Gehölzen zur anderweitigen Holznutzung und 2937 Gehölzen zur Futterlaubnutzung. In Anhang 23 ist eine Tabelle mit den genauen Anzahlen sortiert nach geplanter Nutzung und Art.

### **Restliche Weidengröße und Gehölzdichte**

Die restliche Weidengröße beträgt 1,78 ha. Die Weidengröße zuzüglich der Fläche, die auf der angrenzenden Weide bepflanzt werden soll, beträgt 2,45 ha. Für diese Größe wurden die Gehölzdichten kalkuliert. Damit lauten sie wie folgt:

Dichte (Gehölze pro ha):

- a) Nur Wertholzbäume: 90 Gehölze pro ha,
- b) Wertholzbäume mit Holzbäumen: 285 Gehölze pro ha,
- c) alle Gehölze: 1483 Gehölze pro ha.

### **Beschaffungskriterien für die Gehölzarten**

Die Qualitätsanforderungen an die jeweilige Gehölzart sind mit in Anhang 23 nach den Gütebestimmungen der Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung und Landschaftsbau (FLL) vermerkt. Die grundsätzlichen Kriterien sind dieselben wie im Bepflanzungskonzept 1.

## **4.5 Anlage- und Bewirtschaftungskonzept**

Da die Bepflanzungskonzepte die gleichen Systemkomponenten haben, werden die Anlage und Bewirtschaftung beider Bepflanzungskonzepte in diesem Unterkapitel unter einem Anlage- und Bewirtschaftungskonzept zusammengefasst und nicht getrennt behandelt.

### **Anlage der Elemente**

Die Pflanzung der E3 bis E6 und die Gehölzstreifen im Feld beider Bepflanzungspläne (P1E7 bis P1E9 und P2E7 bis P2E18) sollen angelegt werden, in dem eine Mulchschicht nach dem Vegetationsende auf dem jeweiligen Ort ausgebracht wird. Die Mulchschicht soll aus organischem Material bestehen und so dick ausgebracht werden, dass sie die darunterliegende Vegetation erstickt. Im nächsten Frühjahr sollen dann die Gehölze zur Futterlaubnutzung gepflanzt und mit einem 90 cm hohen Elektrozaun eingezäunt werden. Die Gehölze zur Wert- und anderweitigen Holzproduktion sollen erst gepflanzt werden, wenn die Futterlaubreihen so dicht gewachsen sind, dass sie ein nicht überwindbares Hindernis für Milchkühe darstellen. Die Gehölze zur Futterlaub- und anderweitigen Holzproduktion von E1 und E2 sollen ebenfalls auf der Fläche der Beispielweide bzw. der angrenzenden Weide platziert werden. Dies kann in gleicher Weise wie zuvor beschrieben geschehen. Für die Wertholzbäume von E1 müssen 24 Gehölze aus der bereits bestehenden Hecke entnommen werden (Anhang 13, Gruppe 2, gelbmarkierte Zeilen). Anschließend kann auch dort eine Mulchschicht aufgetragen werden. Die Wertholzbäume sollen ebenfalls erst gepflanzt werden, wenn die umliegenden Futterlaubreihen dicht zusammengewachsen sind. Um den Gehölzen von E2 ausreichend Licht zu geben, sollen drei der großen Stieleichen (Anhang 13, Gruppe 3 gelbmarkierte Zeilen) und drei mittelgroße Bäume entnommen werden.

### **Bewirtschaftung der Systemkomponenten**

Die Gruppen in den Wertholzreihen sollen um zwei Exemplare ausgedünnt werden, sobald die Konkurrenzverhältnisse zu stark sind und sich die Bäume gegenseitig in ihrem Wachstum behindern. Der Baum mit den besten Eigenschaften in Bezug auf die Wuchsform und Vitalität soll bestehen bleiben. Innerhalb der ersten 16 Jahre sollen die Bäume alle vier Jahre geästet werden. Die Ästungshöhe soll ca. ein Drittel der Höhenangaben in Tab. 5 in Kap. 5.3 betragen und durch 2,5 teilbar sein. Die angezielten maximalen Ästungshöhen und Ästungszeitpunkte sind in Tab. 9. ablesbar.

**Tab. 9: Ästung der ausgewählten Wertholzbäume**

Nr.	Art	Maximale Ästungshöhe	Zeitpunkt
1	Vogelkirsche	7,5 m	April bis Juni
2	Traubeneiche	12,5 m	ganzjährig
3	Speierling	10 m	ganzjährig
4	Bergahorn	10 m	ganzjährig
5	Schwarz-Erle	7,5 m	ganzjährig
6	Stieleiche	15 m	ganzjährig

Für die Ästung kann zu Beginn eine Rosenschere, später eine Astschere und Handsäge für dickere Äste und für höhere Äste eine Teleskop-Schere bzw. Teleskop-Säge verwendet werden. Auch der Einsatz des betriebseigenen Frontladertraktors mit Arbeitskorb ist denkbar. Der Zieldurchmesser für alle Wertholzbäume liegt bei mindestens 45 cm. Die Wertholzbäume sollen ca. nach 50 Jahren entnommen werden. Zusätzlich soll sich an dem erzielbaren Preis auf dem Wertholzmarkt orientiert werden.

Die Gehölze zur anderweitigen Holzproduktion müssen nicht zwingend gepflegt werden. Sie sollen vor allem als Windschutz dienen und können nach Bedarf zur anderweitigen Holznutzung entnommen werden. Eine anderweitige Nutzungsmöglichkeit ist bspw. die Feuerholzproduktion im Betrieb Bruhn. Ein Auf-Den-Stock-setzen ist auch denkbar, wenn die Kapazität der Arbeitskräfte im Betrieb dies hergibt.

Die Gehölze zur Futterlaubproduktion sollen jedes Jahr knapp über der Elektrozaunhöhe geschnitten werden. Wenn die Gehölze in den Zaunwachsen, sollen sie auch seitlich geschnitten werden. Für diese Maßnahmen soll die Astschere HX 230 mit dem Multiträger HXF 3302 der Firma GreenTec angeschafft werden. Sobald die Futterlaubgehölze so dicht sind, dass die Milchkühe nicht mehr durch die Gehölzreihen kommen, kann der Elektrozaun entfernt werden. Damit wird die vollständige Beäsung durch die Kühe möglich. Mit Ausnahme der Weißen Maulbeere werden in den Streifen am Feldrand Gehölze zur Futterlaubproduktion verwendet, die der Wuchsordnung III angehören. Damit sollen die Futterlaubreihen auch ohne Pflegemaßnahmen dicht verwachsen bleiben und der Einzäunung dienen.

Um die beabsichtigten Vorteile durch die Reihen mit der Wertholznutzung zu erhalten, sollten nach ca. 25 Jahren neue Edellaubbaumarten jeweils in der Mitte von zwei Wertholzgruppen des ursprünglichen Bepflanzungskonzepts nachgepflanzt werden. Die Reihen zur anderweitigen Holznutzung und zur Futterlaubproduktion können durch ein Auf-Den-Stock-

setzen verjüngt oder durch Entnahme und Nachpflanzung erhalten bleiben. Gegebenenfalls ist eine erneute Einzäunung notwendig.

## 5 Diskussion

Im Folgenden werden die angewandten Methoden und die entworfenen Pläne für ein Agroforstsystem zur Anpassung an den Klimawandel gegenübergestellt.

### 5.1 Diskussion der angewandten Methoden

Die Definition der Anforderungen erfolgte auf Basis der aktuellen und zukünftig erwarteten Klimaveränderungen, der bisherigen Erfahrungen mit dem Klimawandel im Betrieb Bruhn GbR, der aktuellen Bewirtschaftung des Betriebs sowie auf der betriebsspezifischen Fütterung der Milchkühe. Die klimatischen Veränderungen durch die Erderwärmung können für Niedersachsen umfangreich recherchiert werden. Auch die qualitativen Folgen für niedersächsische Milchkuhbetriebe sind ausreichend aus der Literatur übertragbar. Die Annahmen für die zukünftigen Klimaentwicklungen basieren dennoch auf verschiedenen Szenarien, die von dem globalen Emissionsverhalten der Menschheit abhängen (BORSCHKE et al. 2018, ARIAS et al. 2021). Die bisher gemachten Erfahrungen des Klimawandels basieren auf einer subjektiven Wahrnehmung der betriebszugehörigen Personen. Im Betrieb Bruhn GbR könnte rückwirkend die abgelieferte Milchmenge im Zusammenhang mit den vom Deutschen Wetterdienst gemessenen Tagestemperaturen für die letzten Jahre analysiert werden, um die Auswirkungen der vergangenen Jahre objektiv zu bewerten.

Als Funktionsstrukturen mit Gehölzen wurden Windschutzhecken, Schatten spendende Gehölzstreifen im Feld und Futterlaubhecken mit gleichzeitiger Zaunfunktion recherchiert. Als Nutzungskomponenten wurden die Wertholz-, die anderweitige Holz- und die Futterlaubproduktion ausgewählt. Die tatsächliche Nutzung der Nutzungskomponenten ist optional. Die Funktionen der Funktionsstrukturen würden wahrscheinlich auch ohne Bewirtschaftung erfüllt werden. Der Gehölzstreifen 1 hätte im Gestaltungsentwurf 1 zu einer geraden Linie geformt werden können, um einen gleichmäßigen Abstand zu Gehölzstreifen 4 zu erzeugen. Dadurch würde die Bewirtschaftung erleichtert werden. Dafür hätte allerdings im Vorhinein eine genauere Analyse der Flächenform durchgeführt werden müssen. Des Weiteren soll die Wertholzreihe von E1 (Abb. 16) in der bereits bestehenden Gehölzgruppe 2 (Anhang 14) gepflanzt werden. Die hierfür erforderliche Entnahme der 24 Gehölze (siehe Kap. 4.5, Anlage der Elemente) muss gegebenenfalls von der Unteren Naturschutzbehörde des Landkreises genehmigt werden, wenn es sich um ein gesetzlich geschütztes Landschaftselement handelt. Dies kann über das Schlaginfo-Portal des Niedersächsischen Ministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz geprüft werden. Außerdem hätten die Ecken im Vorgewende auf beiden Enden des Gehölzstreifens konkav gestaltet werden können, sodass in der Bewirtschaftung problemlose Kurvenfahrten mit dem



Rotorschwader und weiteren Maschinen möglich wären. Dafür hätten vorher Informationen über das Fahrverhalten der Maschinen recherchiert werden müssen. Außerdem wurden die geplanten Wachstumsweiten der äußeren Futterlaubreihen in die Weidefläche mit 0,5 m eventuell als zu niedrig angenommen. Ein starkes Wachstum an die Elektrozäune heran würde den Stromfluss behindern und die Wirksamkeit des Zauns einschränken.

Für die Auswahl der Wertholzbäume wurde nur deutschsprachige Literatur verwendet. Zum einen hat dies den Vorteil, dass die dort beschriebenen Arten höchstwahrscheinlich an die Klimabedingungen in Deutschland angepasst sind. Zum anderen ist dies nachteilig, da dies die Auswahlmöglichkeit begrenzt. Eine stärkere Einbeziehung englischsprachiger Literatur könnte die Auswahlmöglichkeit hingegen erhöhen. Eine Auswahl aus anderen Gebieten der Erde in der gleichen Klimazone wäre denkbar (Anhang 2). Der gleiche Sachverhalt gilt für die zur Futterlaub- und anderweitigen Holzproduktion ausgewählten Gehölzarten. Nur die Weiße Maulbeere wurde als Futterlaubart aus englischsprachiger Literatur entnommen. Neben den Inhaltsstoffen ist die Verdaulichkeit für den Wert als Futterlaub entscheidend (RAHMANN 2004, EMILE et al. 2017). Dieser wurde aufgrund fehlender Datenlage nicht berücksichtigt. Erst später beim Schreiben dieser Arbeit wurde die Datenbank von LUSKE et al. (2017c) gesichtet. Diese gibt die Verdaulichkeit für zahlreiche Arten an. Darüber hinaus wurde nur nach dem Rohproteingehalt der Blätter gesucht. Zweige sind jedoch auch eine potenzielle Futterquelle (LUSKE et al. 2017c). Die Auswahl der Gehölze wurde für einen trockenen und einen feuchten Bereich der Fläche durchgeführt (Anhang 11). Die Zonierung basiert auf den topografischen Angaben des LBEG (o. J.b) und der Nähe zum Fließgewässer Aue. Ob die Gegebenheiten tatsächlich bestehen, müsste genauer untersucht werden. Je Bereich wurden nur drei Gehölzarten für die Wertholz- und Futterlaubproduktion innerhalb der Fläche ausgewählt, um den Umfang dieser Arbeit zu begrenzen. Ein größeres Artenspektrum hingegen könnte die Chance einer erfolgreichen Pflanzung erhöhen.

Die Bepflanzungspläne wurden mit der Open-Source Software QGIS erstellt. Da sie kostenlos ist, ermöglicht sie jeder Person den Zugriff. Die einheitliche Verwendung von Planungssoftware erlaubt leicht nachvollziehbare Anleitungen zur Planung von Agroforstsystemen für Interessierte. Die Erstellung eines Bepflanzungskonzepts in QGIS war zeitintensiv und erforderte Grundwissen. Deswegen wäre ein Einführungskurs in QGIS ratsam gewesen. Damit hätten eventuell mehr Gestaltungswerkzeuge benutzt und die Bepflanzungskonzepte besser für die landwirtschaftliche Nutzung gestaltet werden können. Letztlich bietet QGIS verschiedene Möglichkeiten zur Analyse eines Bepflanzungskonzepts. Die angewandten Abstände zwischen den Reihen und den Gehölzarten wurden an der Literatur orientiert. Ob sich die Abstände, beispielsweise zwischen den Futterlaubgehölzen, so

auswirken, dass ein nicht überwindbares Hindernis für Kühe entsteht, könnte nur durch die praktische Anwendung und Erfahrung beurteilbar sein. Zur Gestaltung, Strukturierung und Funktionserfüllung der Funktions- und Nutzungskomponenten in Agroforstsystemen würden sich neue Forschungsbereiche für die Zukunft ergeben.

## **5.2 Diskussion der Agroforstsystemplanungen**

Die Definition der Anforderungen ist noch sehr unspezifisch. Dennoch geben die definierten Anforderungen einen richtungsweisenden Rahmen für die Planung eines Agroforstsystems. Die geplante Wertholzproduktion ermöglicht eine zusätzliche Einnahmequelle und damit eine Einkommensdiversifizierung. Dies ist keine zuvor definierte Anforderung an ein Agroforstsystem gewesen. Jedoch sollte diese Möglichkeit trotzdem genutzt werden, da Unternehmen des privatwirtschaftlichen Sektors in der Regel langfristig nur durch Einnahmeüberschüsse bzw. finanziellen Gewinn existenzfähig sind.

Von den Gehölzstreifen 1 bis 3 beider Bepflanzungskonzepte und dem Biotop (Anhang 14, Gruppe 1) sind Wind bremsende Wirkungen zu erwarten. Das Biotop liegt aus Sicht der Weide in der Hauptwindrichtung und müsste damit den stärksten Wind bremsenden Effekt über das Jahr verteilt haben. Die Gehölzstreifen 1 und 3 sollen verhältnismäßig dicht mit Gehölzen besetzt werden. Allerdings führt eine geringe Durchblasbarkeit aufgrund einer hohen Gehölzdichte lediglich zu einer Windbremsung auf einer Distanz, die nur das Fünffache der Heckenhöhe beträgt (DVL 2006). Bei einer Heckenhöhe von 30 m würde die Windgeschwindigkeit dennoch auf der gesamten Flächenbreite reduziert werden, da diese zum Großteil schmaler als 106 m ist. Die Gehölzstreifen 4 und 5 des Bepflanzungskonzepts 1 sind in nord-östlicher bzw. in der aktuellen Bewirtschaftungsrichtung angelegt. Damit sind sie parallel zur Hauptwindrichtung. Als Konsequenz kann die Windgeschwindigkeit entlang der Streifen wegen einer Düsenwirkung ansteigen (VAN EIMERN et HÄCKEL 1984, DVL 2006). KANZLER et al. (2019) beobachten einen starken Einfluss der Windgeschwindigkeit auf den atmosphärischen Verdunstungsanspruch. Die Gehölzstreifen des Bepflanzungskonzepts 2 sind senkrecht zur Windrichtung und haben damit grundsätzlich eine Wind bremsende Wirkung (THEVATHASAN et al. 2018). Durch die weiten Abstände zwischen den langfristig bestehenden Wertholzbäumen wäre auch eine Düsenwirkung denkbar. Die südliche und die die nördliche Flächenzufahrt sind so gelegen, dass keine Düseneffekte zu erwarten sind (VAN EIMERN et HÄCKEL 1984). Nach BENDER et al. (2009) sind Gehölzstreifen in Nord-Süd-Ausrichtung optimal, um den Schattenwurf auf den Unterwuchs zu minimieren. Schließlich beschattet sich der Gehölzstreifen dann zur Mittagszeit großteilig selbst. Die in der Fläche befindlichen Gehölzstreifen beider Bepflanzungskonzepte sind nicht in Nord-Süd-Richtung,

sondern ca. im 45 Grad Winkel zur Nord-Süd-Richtung angelegt. Als Konsequenz ist der Schattenwurf auf der nördlichen Seite des Gehölzstreifens höher als auf der südlichen Seite (BENDER et al. 2009).

Eine weitere Orientierung zur Gehölzstreifenausrichtung geben die topografischen Höhenlinien (YEOMANS 1954). Dieses als Keyline bezeichnete Pflanzprinzip soll dem Wasserrückhalt dienen. Der wesentliche Faktor ist die senkrechte Streifenanordnung zur Wasserabflussrichtung. Eventuell könnte die Gehölzstreifenanordnung nach dem Keyline-Prinzip auch auf der Weide des Betriebs Bruhn GbR sinnvoll sein. Wenn von einer Abflussrichtung des Wassers in die Richtung der Aue ausgegangen wird, sind die Gehölzstreifen 1 und 3 am Feldrand bereits senkrecht angeordnet.

Die Mindestabstände der Gehölzstreifen zu den Hecken und untereinander wurden an der doppelten Arbeitsbreite des im Betrieb vorhandenen Rotorschwaders orientiert. Ein Mindestabstand der doppelten Arbeitsbreite ermöglicht die Lage des Schwads mit einem Abstand der Arbeitsbreite von den Gehölzstreifen bzw. vom Feldrand. Dicht an die Gehölzstreifen angelegte Schwade könnten in den darauffolgenden Prozessen zu Schwierigkeiten führen oder die Durchführung ganz verhindern. Bei geringeren Abständen als dem ausgewählten Mindestabstand müsste ein Schwader mit kleinerer Arbeitsbreite angeschafft oder die Bewirtschaftung der Weide umgestellt werden. Die Futterwerbung mit dem Ladewagen und Frontmäherwerk des Betriebs wäre auch möglich. Der Mindestabstand zwischen den Gehölzstreifen und zum Feldrand bzw. zu den Hecken am Feldrand könnte dann auf 2,55 m zuzüglich eines Sicherheitsabstands gesenkt werden. Allerdings eignet sich dieses Futterwerbungsverfahren nur für die direkte Fütterung der Milchkühe ohne mehrmonatige Lagerung. Bei der Etablierung eines Agroforstsystems auf einer einzelnen, eher kleinen Fläche wie der Beispielweide sollte dies für den Betrieb Bruhn GbR wenig problematisch sein, da die im Ladewagen transportierbare Menge zeitnah von den 140 Milchkühen verzerrt werden würde. Der am Ladewagen orientierte Mindestabstand wäre jedoch nicht für Betriebe empfehlenswert, die diese Futtermenge nicht zeitnah verfüttern können. Von einer Agroforstsystemanlage auf beispielsweise allen Grünlandflächen des Betriebs Bruhn GbR mit dem am Ladewagen orientierten Mindestabstand wäre aus dem Grund der Futterwerbeverfahren abzuraten.

Beide Agroforstsysteme würden nicht durch die Öko-Regelung 3 mit 60 €/ha gefördert werden. Beide Agroforstsysteme halten durch die Gehölzstreifen 1 und 3 (Anhang 17) die Mindestabstände von 20 m zu den Feldrändern ein. Zusätzlich wären die Abstände zwischen den Gehölzstreifen im Feld des Agroforstsystemplans 2 zu gering. Bei der Größe der Weide

würden durch die Öko-Regelung 3 ca. 140 € an den Betrieb Bruhn gezahlt werden. Dieser Betrag ist sehr gering, sodass auf die Einhaltung der Kriterien nach Öko-Regelung 3 verzichtet werden kann.

Die restliche Weidengröße der Agroforstsystemplanung 1 ist 0,1 ha größer als von der Agroforstsystemplanung 2. Bei der ursprünglichen Ertragserwartung von 94 dt/ha würde dies einen Ertragsverlust von 9,4 dt/ha bedeuten. Allerdings wäre eine Änderung der Ertragserwartung des Grünlands aufgrund der Gehölzstreifen wahrscheinlich.

Für die Umsetzung der zweiten Agroforstsystemplanung werden 75 Wertholzbäume und 1316 Gehölze zur Futterlaubproduktion mehr benötigt. Allein dadurch würde der Investitions-, Pflanzungs- und Bewirtschaftungsaufwand höher sein.

Mit der Gehölzanzahl erhöht sich die Gehölzdichte. Das Agroforstsystem 1 kommt dem offenen Grünland aufgrund der Gehölzanordnung und der Gehölzdichte näher als Agroforstsystem 2. Die Gehölzdichte wiederum beeinflusst das Mikroklima (KARKI et GOODMAN 2015). In Agroforstsystem 2 wäre mit signifikant geringeren Lufttemperaturen in den Sommermonaten als in Agroforstsystem 1 zu rechnen. Dies wirkt sich positiv auf das Hitzestressempfinden der Milchkühe aus (COLLIER et al. 2012). Allerdings messen KARKI et GOODMAN (2015) ebenfalls eine signifikant höhere relative Luftfeuchtigkeit als im offenen Grünland. Eine erhöhte relative Luftfeuchtigkeit wirkt sich negativ auf das Hitzestressempfinden aus (COLLIER et al. 2012). Wenn der THI der Milchkühe durch die niedrigeren Lufttemperaturen stärker gesenkt, als durch die höhere Luftfeuchtigkeit erhöht, werden würde, wäre das Agroforstsystem 2 eher zu empfehlen.

Für die Futterproduktion könnte jedoch eine niedrigere Gehölzdichte ratsam sein. Gemäß WALL (2006) sinkt die Erntemasse bei einem Kronenschluss von 75 % um ca. 50 %. In der Nähe von Hecken gibt es eine deutliche Zone mit Ertragsrückgängen (REID et MOORE 2018). KARKI et GOODMAN (2015) beobachten eine geringere Bodenfeuchtigkeit unter älteren Bäumen. Ausgewachsene Bäume nehmen zusätzlich zur bestehenden Kultur Wasser auf und trocknen so den Boden zum Ende des Sommerhalbjahrs tiefer aus (TALBOT 2011). Hinzu kommt ein geringeres Lichtangebot wegen der Baumkronen, welches in einer gesenkten Photosyntheserate des Unterwuchses resultiert (DIBALA et al. 2022). Da in Agroforstsystem 2 jedoch fast doppelt so viele Futterlaubgehölze angelegt werden sollen, wie in Agroforstsystem 1, wäre ein Ausgleich der Ertragsverluste im Grünland denkbar.

Eine weitere Form der Agroforstwirtschaft mit sehr hohen Gehölzdichten sind intensive silvopastorale Systeme (ISSs). In ISSs werden Futtersträucher mit einer Dichte von 5 000 bis 30 000 Sträuchern pro Hektar mit Futtergräsern und Bäumen in einer Dichte von 50 bis 500 Bäumen pro Hektar bewirtschaftet (TARAZONA et al. 2013). Diese Systeme erzielen eine hohe Futterqualität und -versorgung.

Es wurden Gehölzarten für den trockeneren Bereich ausgewählt, die eine hohe Trockenresistenz haben. Ob die ausgewählten Arten auch bei einer zunehmenden Erderwärmung und Trockenheit noch so in der Literatur bewertet werden würden, ist offen. Nach ROLOFF (2021b) existieren der festdefinierte Trockenstress und folglich die an Trockenstress angepassten Baumarten nicht. Zusätzlich wurde das Auftreten in der Sukzession herausgefunden. Um nicht alle Gehölze auf einmal pflanzen zu müssen, könnte in einem Jahr mit den Pionierarten begonnen werden. Anschließend könnten die anderen Arten folgen.

Bei der Anlage soll eine Mulchschicht die darunter befindliche Vegetation abtöten. Damit dies gelingt, müsste die Mulchschicht dick genug aufgetragen werden. Dies könnte einen hohen Arbeitsaufwand bedeuten. Damit die jeweiligen Gehölze genau an den geplanten Ort gepflanzt werden, müsste das Anlagekonzept weiter ausgearbeitet werden. Die Kombination von Futterlaubreihen mit Sträuchern und versetzter Pflanzung der Wertholzreihen könnte sehr sinnvoll sein. Nach GÓMEZ-APARICIO et al. (2004) schützen Sträucher junge Bäume und verbessern ihre Wachstumsbedingungen.

Die Pflege der Wertholzbäume würde zumindest am Beginn etwas Handarbeit bedeuten, denn sie sollen innerhalb der ersten 16 Jahre alle vier Jahre geästet werden. Die Kirsche soll optimalerweise im April bis Juni geästet werden. In der Zeit fallen wahrscheinlich viele landwirtschaftliche Tätigkeiten im Betrieb an, sodass der Zeitraum ungünstig wäre. Eventuell müsste die Auswahl dieser Baumart nochmal überdacht werden. Die anderen Arten können ganzjährig geästet werden. Für den Betrieb würde sich aufgrund geringerer Arbeitsbelastungen die Ästung im Winter eignen. Eine Ästung führt jedoch zu einer höheren Lichtdurchlässigkeit und verändert die Charakteristik des Schattens (BENDER et al. 2009).

Die dynamische bzw. syntropische Agroforstwirtschaft berücksichtigt die verschiedenen Sukzessionsgruppen der Pflanzen im besonderen Maß, versucht Pflanzen so zu kombinieren, dass bestimmte Pflanzen stärker gefördert werden, und hat das regelmäßige Zurückschneiden der Pflanzen als Bestandteil (GÖTSCH 1994, STADLER-KAULICH 2021). Diese Formen der

Agroforstwirtschaft sollen besonders positive Auswirkungen auf den Boden haben. Jedoch erfordern sie einen hohen Arbeitsaufwand.

## 6 Zusammenfassung

Der Klimawandel findet in Niedersachsen bereits statt. Die zukünftigen Veränderungen des Klimas hängen von dem Emissionsverhalten der Menschheit ab. Je nach Szenario kann sich das Klima sehr stark verändern. Der Wasserkreislauf wird verändert und das Dürreerisiko steigt. Trockene Böden und hohe Temperaturen belasten Milchkuhbetriebe, in dem das Futterwachstum begrenzt wird. Außerdem wirken sich hohe Temperaturen negativ auf das Wohlbefinden von Milchkühen und deren Milchleistung aus. Die silvopastorale Agroforstwirtschaft bietet eine Möglichkeit zur Anpassung an die Erderwärmung.

Um herauszufinden, wie und mit welchen Gehölzarten ein silvopastorales Agroforstsystem auf einer des Milchkuhbetriebs Bruhn GbR gestaltet werden kann, wurden zwei unterschiedliche Systeme geplant. Die Planung basiert auf den betrieblichen Bedingungen und den Standorteigenschaften der ausgewählten Weide. Dann wurden die Anforderungen des Betriebs an ein Agroforstsystem definiert, zwei unterschiedliche Gestaltungsentwürfe erstellt, passende Gehölzarten ausgewählt und zwei Bepflanzungskonzepte mit unterschiedlichen Pflanzplänen geschaffen. Die Erstellung der Gestaltungsentwürfe und der Pflanzpläne wurde mit der Open-Source Software QGIS durchgeführt. Anschließend wurden die geplanten Agroforstsysteme diskutiert.

Insgesamt wäre das Agroforstsystem 2 eher zu empfehlen als das Agroforstsystem 1, da für dieses System ein kühleres und feuchteres Mikroklima zu erwarten wäre. Dies liegt in der höheren Gehölzdichte und der Ausrichtung der Gehölzstreifen im Feld begründet. Agroforstsystem 2 würde wegen der mildereren Temperaturen eine geringere thermische Belastung für die Milchkühe mit sich bringen. Außerdem sollen in Agroforstsystem 2 fast doppelt so viele Futterlaubsträucher als zusätzliche Futterquelle wie in Agroforstsystem 1 gepflanzt werden. Wie sich das Wachstum des Grases in Agroforstsystem 2 verhält, hängt von der Bewirtschaftung ab. Zusätzlich sollen im Agroforstsystem 2 mehr Bäume zur Wertholz- und anderweitigen Holznutzung etabliert werden. Dies würde eine größere alternative Einkommensquelle als in Agroforstsystem 1 bieten. Um sich schrittweise an die Erderwärmung der nächsten Jahrzehnte anzupassen, könnte erst nur jeder dritte Gehölzstreifen im Feld etabliert werden. Je nach Stärke der zukünftigen Erderwärmung könnten die restlichen Gehölzstreifen gepflanzt werden.

## **7 Abstract**

The aim of this bachelor thesis was to plan two different agroforestry systems on a selected pasture of the dairy farm Bruhn in Lower Saxony. The intention was to find out, how and with which woody species two different silvopastoral systems can be designed as a way of climate change adaptation. Firstly, the current and future changes of climate parameters in Lower Saxony due to the global warming and their effects on dairy farms have been described and explained. Silvopasture is internationally mentioned as a form of climate change adaptation. Then, common facts, benefits, problems, design possibilities, management options and legal conditions of agroforestry were described. In the following part two silvopasture systems for the dairy farm Bruhn GbR were created. As a planning basis the conditions of the farm and the selected pasture were analysed. The created plans consist of the intentions from the farm view, a structure plan for different components, the selection of suitable woody species, a planting plan and a planting and management concept. The open-source software QGIS has been used to create a structure and a planting plan. At the end of this thesis the plans have been discussed and a recommendation for action has been given.



## 8 Literaturverzeichnis

AAS, G. (2014a): *Quercus petraea*. In: Roloff, A., Weisgerber, H., Lang, U. M., Stimm, B. (Hrsg.) „Enzyklopädie der Holzgewächse“. Weinheim: Wiley-VCH. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9783527678518.ehq2000020> (Zugriff am 15.02.2023).

AAS, G. (2014b): *Quercus robur*. In: Roloff, A., Weisgerber, H., Lang, U. M., Stimm, B. (Hrsg.) „Enzyklopädie der Holzgewächse“. Weinheim: Wiley-VCH. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9783527678518.ehq2002030> (Zugriff am 15.02.2023).

ANDERSON, O. (2022): *Feldhecken – Geschichte, Ökologie, Anlage und Pflege*. Lüneburg: Biotopverbund Elbtal Amt Neuhaus, unveröffentlicht.

ARIAS, P.A., BELLOUIN, N., COPPOLA, E., JONES, R.G., KRINNER, G., MAROTZKE, J., NAIK, V., PALMER, M.D., PLATTNER, G.-K., ROGELJI, J., ROJAS, M., SILLMANN, J., STORELVMO, T., THORNE, P.W., TREWIN, B., ACHUTA RAO, K., ADHIKARY, B., ALLAN, R.P., ARMOUR, K., BALA, G., BARIMALALA, R., BERGER, S., CANADELL, J.G., CASSOU, C., CHERCHI, A., COLLINS, W., COLLINS, W.D., CONNORS, S.L., CORTI, S., CRUZ, F., DENTENER, F.J., DERECZYNSKI, C., DI LUCA, A., DIONGUE NIANG, A., DOBLAS-REYES, F.J., DOSIO, A., DOUVILLE, H., ENGELBRECHT, F., EYRING, V., FISCHER, E., FORSTER, P., FOX-KEMPER, B., FUGLESTVEDT, J.S., FYFE, J.C., GILLETT, N.P., GOLDFARB, L., GORODETSKAYA, I., GUTIERREZ, J.M., HAMDY, R., HAWKINS, E., HEWITT, H.T., HOPE, P., ISLAM, A.S., JONES, C., KAUFMAN, D.S., KOPP, R.E., KOSAKA, Y., KOSSIN, J., KRAKOVSKA, S., LEE, J.-Y., LI, J., MAURITSEN, T., MAYCOCK, T.K., MEINSHAUSEN, M., MIN, S.-K., MONTEIRO, P.M.S., NGO-DUC, T., OTTO, F., PINTO, I., PIRANI, A., RAGHAVAN, K., RANASINGHE, R., RUANE, A.C., RUIZ, L., SALLÉE, J.-B., SAMSET, B.H., SATHYENDRANATH, S., SENEVIRATNE, S.I., SORENSSON, A.A., SZOPA, S., TAKAYABU, I., TREGUIR, A.-M., VAN DEN HURK, B., VAUTARD, R., VON SCHUCKMANN, K., ZAEHLE, S., ZHANG, X., ZICKFELD, K. (2021): Technical Summary. In: Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pirani, A., Connors, S. L., Péan, C., Berger, S., Caud, N., Chen, Y., Goldfarb, L., Gomis, M. I., Huang, M., Leitzell, K., Lonnoy, E., Matthews, J. B. R., Maycock, T. K., Waterfield, W., Yelekçi, O., Yu, R., Zhou, B. (Hrsg.) „Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change“, 35 – 144. <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-i/> (Zugriff am 28.02.2023).

BARENGO, N. (2001): Wildbirne – *Pyrus Pyrastrer*. Zürich: ETH. <https://fe.ethz.ch/forschung/dendrology-and-vegetation-science/seba/treespecies.html> (Zugriff am 15.02.2023).

BARTHA, D. (2014): *Salix fragilis*. In: Roloff, A., Weisgerber, H., Lang, U. M., Stimm, B. (Hrsg.) „Enzyklopädie der Holzgewächse“. Weinheim: Wiley-VCH. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9783527678518.ehg2009006> (Zugriff am 15.02.2023).

BARTSCH, N., VON LÜPKE, B., RÖHRING, E. (2020): *Waldbau auf ökologischer Grundlage*. Stuttgart: Eugen Ulmer Verlag.

BAUDRY, J., BUNCE, R. G. H., BUREL, F. (2000): Hedgerows: An international perspective on the origin, function and management. *Journal of Environmental Management* 60, 7 – 22. <https://doi.org/10.1006/jema.2000.0358>.

BAUM DES JAHRES E.V. (2010): Vogelkirsche (*Prunus avium* L.). <https://baum-des-jahres.de/baeume-seit-1989/> (Zugriff am 13.02.2023).

BAUM DES JAHRES E.V. (2014): Traubeneiche (*Quercus petraea* L.). <https://baum-des-jahres.de/baeume-seit-1989/> (Zugriff am 13.02.2023).

BELSKY, A. J. (1994). Influences of Trees on Savanna Productivity: Tests of Shade, Nutrients, and Tree-Grass Competition. *Ecology* 75, 922 – 932. <https://doi.org/10.2307/1939416>.

BENDER, B., CHALMIN, A., REEG, T., KONOLD, W., MASTEL, K., SPIECKER, H. (2009): *Moderne Agroforstsysteme mit Werthölzern. Leitfaden für die Praxis*. Freiburg im Breisgau: Albert-Ludwigs-Universität Freiburg. <https://www.agroforst.uni-freiburg.de/download/agroforstsysteme.pdf> (Zugriff am 19.01.2023).

BLOOR, J. M. G., PICHON, P., FALCIMAGNE, R., LEADLY, P., SOUSSANA, J. F. (2010): Effects of Warming, Summer Drought, and CO<sub>2</sub> Enrichment on Aboveground Biomass Production, Flowering Phenology, and Community Structure in an Upland Grassland Ecosystem. *Ecosystems* (2010) 13, 888 – 900. <https://www.jstor.org/stable/40928215> (Zugriff am 12.01.2023).

BMEL (2019): *Agrarumwelt- und Klimamaßnahmen (AUKM), Ökologischer Landbau und Tierschutzmaßnahmen*. [https://www.bmel.de/DE/themen/landwirtschaft/eu-agrarpolitik-und-foerderung/agrarumwelt-und-klimamassnahmen-aukm/agrarumwelt-und-klimamassnahmen-aukm\\_node.html](https://www.bmel.de/DE/themen/landwirtschaft/eu-agrarpolitik-und-foerderung/agrarumwelt-und-klimamassnahmen-aukm/agrarumwelt-und-klimamassnahmen-aukm_node.html) (Zugriff am 28.02.2023).

BMEL (2021): GAP-Strategieplan (Version 1.2). <https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Landwirtschaft/EU-Agrarpolitik-Foerderung/gap-strategieplan-version-1-2.pdf?blob=publicationFile&v=4> (Zugriff am 28.02.2023).

BMEL (2022): Trockenheit und Dürre im Jahr 2018. <https://www.bmel.de/DE/themen/landwirtschaft/klimaschutz/duerre-2018.html> (Zugriff 06.03.2023).

BÖHM, C. (2020): Bewertung des aktuellen (förder)rechtlichen Status von Agroforstwirtschaft in Deutschland und der EU. Forschungsprojekt „Innovationsgruppe AUFWERTEN – Agroforstliche Umweltleistungen für Wertschöpfung und Energie“. Loseblatt # 48. Cottbus: Brandenburgische Technische Universität. <https://agroforst-info.de/fachinformationen/loseblattsammlung/> (Zugriff am 28.02.2023).

BÖHM, C. (2022): Themenblatt Nr. 3: Agroforstsysteme in der GAP ab 2023 – ein Überblick. Cottbus: DeFAF. [https://agroforst-info.de/sdm\\_downloads/themenblatt-afs-in-der-gap-ab-2023/](https://agroforst-info.de/sdm_downloads/themenblatt-afs-in-der-gap-ab-2023/) (Zugriff am 28.02.2023).

BÖHM, C., KANZLER, M., FREESE, D. (2014): Wind speed reductions as influenced by woody hedgerows grown for biomass in short rotation alley cropping systems in Germany. *Agroforestry Systems* 88, 579 – 591. <https://doi.org/10.1007/s10457-014-9700-y>.

BORATYNSKI, A. (2014): *Carpinus betulus*. In: Roloff, A., Weisgerber, H., Lang, U. M., Stimm, B. (Hrsg.) „Enzyklopädie der Holzgewächse“. Weinheim: Wiley-VCH. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9783527678518.ehg1996016> (Zugriff am 15.02.2023).

BORSCHKE, M., FRIEDRICH, A., FRIEDRICH, K., FRÖHLICH, K., FRÜH, B., KREIENKAMP, F., KRUGMANN, G., PIETZSCH, S., RAUTHE, M., RIECKE, W., TINZ, B., WALTER, A., WEHRING, S., WEIGL, E. (2018): Klimareport Niedersachsen. Offenbach am Main: Deutscher Wetterdienst. [https://www.dwd.de/DE/leistungen/klimareport\\_ns/klimareport\\_ns\\_download\\_2018.html](https://www.dwd.de/DE/leistungen/klimareport_ns/klimareport_ns_download_2018.html) (Zugriff am 26.12.2022).

BRIENEN, S., KAPALA, A., MÄCHEL, H., SIMMER, C. (2012): Regional centennial precipitation variability over Germany from extended observation records. *International Journal of Climatology* 33, 2167 – 2184. <https://doi.org/10.1002/joc.3581>.

BRIX, M., BENDER, B., SPIECKER, H. (2009): Wertholzproduktion in Agroforstsystemen. In: Reeg, T., Bemann, A., Konold, W., Murach, D., Spiecker, H. (Hrsg.) „Anbau und Nutzung von Bäumen auf landwirtschaftlichen Flächen“. Weinheim: WILEY-VCH Verlag, 251 – 262.

BRUHN, E. (2022): Eigene Fotoaufnahme.

- BRUNS (2022): Bruns Sortimentkatalog 2022/23. Bad Zwischenahn: Joh. Bruns.
- BRYANT, J. P., REICHARDT, B. P., CLAUSEN, T. P. (1992): Chemically mediated interactions between woody plants and browsing mammals. *Journal of Range Management* 45, 18 – 24. <https://journals.uair.arizona.edu/index.php/jrm/article/download/8678/8290>. (Zugriff am 28.12.2022).
- BUERGLER, A. L., FIKE, J. H., BURGER, J. A., FELDHAKE, C. R., MCKENNA, J. A., TEUTSCH, C. D. (2005): Botanical Composition and Forage Production in an Emulated Silvopasture. *Agronomy Journal* 97, 1141 – 1147. <https://doi.org/10.2134/agronj2004.0308>.
- BÜSCHER, W., HAIDN, B., HANSEN, C., HÄUSER, S., HERRMANN, H. J., MENNING, J., MIRBACH, D., NEUMAYER, J., PELZER, A., PEROVIC, B., TOBER, O., STÖTZEL, P., ZAHNER, J. (2021): Vermeidung von Hitzestress bei Milchkühen. <https://www.dlg.org/de/landwirtschaft/themen/technik/technik-tierhaltung/dlg-merkblatt-450> (Zugriff am 23.02.2023).
- BUTTOUD, G. (2013): Advancing Agroforestry on the Policy Agenda. A guide for Decision-Makers. Rom: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). <https://www.fao.org/documents/card/en/c/e6656e1c-8e42-56e2-9d1b-010d6e988323> (Zugriff am 15.02.2023).
- CALLE, Z., MURGUEITIO, E., CHARÁ, J., MOLINA, C. H., ZULUAGA, A. F., CALLE, A. (2013): A Strategy for Scaling-Up Intensive Silvopastoral Systems in Colombia. <https://doi.org/10.1080/10549811.2013.817338>
- CARRARA, A. (o. J.): Urheber der Abbildung „There is a delay in pasture dryness in the summer underneath the trees“. In: HN PALMA, J., OLIVEIRA, T. S., MORENO, G., CROUS DURAN, J., AMARAL PAULO, J. (2017): Modelling livestock carrying capacity in montados. AGFORWARD, 06 Innovation Leaflet. <https://www.agforward.eu/Innovation-leaflets.html> (Zugriff am 23.02.2023).
- CHALMIN, A. (2009): Produktionsaspekte in Agroforstsystemen mit Werthölzern – landwirtschaftliche Produktion. In: Reeg, T., Bemann, A., Konold, W., Murach, D., Spiecker, H. (Hrsg.) „Anbau und Nutzung von Bäumen auf landwirtschaftlichen Flächen“. Weinheim: WILEY-VCH Verlag, 275 – 288.
- CHARLTON, J. F. L., DOUGLAS, G. B. , WILLS, B. J., PREBBLE, J. E. (2003): Farmer experience with tree fodder. *Grassland Research and Practice* 10, 7 – 16.

[https://www.grassland.org.nz/publications/nzgrassland\\_publication\\_2605.pdf](https://www.grassland.org.nz/publications/nzgrassland_publication_2605.pdf) (Zugriff am 24.01.2023).

CHIFFLOT, V., RIVEST, D., OLIVIER, A., COGLIASTRO, A., KHASA, D. (2009): Molecular analysis of arbuscular mycorrhizal community structure and spores distribution in tree-based intercropping and forest systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 131, 32 – 39. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2008.11.010>.

COLLIER, R. J., HALL, L. W., RUNGRUANG, S., ZIMBLEMAN, R. B. (2012): Quantifying Heat Stress and Its Impact on Metabolism and Performance. *Proc. Florida Ruminant Nutrition Symposium*. [https://www.researchgate.net/publication/267844201\\_Quantifying\\_Heat\\_Stress\\_and\\_Its\\_Impact\\_on\\_Metabolism\\_and\\_Performance](https://www.researchgate.net/publication/267844201_Quantifying_Heat_Stress_and_Its_Impact_on_Metabolism_and_Performance) (Zugriff am 28.12.2022).

CORREAL, E. (1987): Trees and shrubs in the fodder and pastoral mediterranean systems. *FAO Euro. Network Past. Forage Crop Prod. Bull.* 5, 46 – 53.

DAVIS, J. E., NORMAN, J. M. (1988): 22. Effects of shelter on plant water use. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 22, 393 – 402. [https://doi.org/10.1016/0167-8809\(88\)90034-5](https://doi.org/10.1016/0167-8809(88)90034-5).

DE BOECK, H. J., LEMMENS, C. M. H. M., ZAVALLONI, C., GIELEN, B., MALCHAIR, S., CARNOL. M., MERCKX, R., VAN DEN BERGE, J., CEULEMANS, R., NIJS, I. (2008): Biomass production in experimental grasslands of different species richness during three years of climate warming. *Biogeosciences* 5, 585 – 594. <https://doi.org/10.5194/bg-5-585-2008>.

DE FRAITURE, C., MOLDEN, D., WICHELNS, D. (2010): Investing in water for food, ecosystems, and livelihoods: An overview of the comprehensive assessment of water management in agriculture. *Agricultural Water Management* 97, 495 – 501. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.08.015>.

DEN HERDER, M., MORENO, G., MOSQUERA-LOSADA, R., PALMA, J., SIDIROPOULOU, A., SANTIAGO FREIJANES, J. J., CROUS-DURAN, J., PAULO, J., TOMÉ, M., PANTERA, A., PAPANASTASIS, V., MANTZANAS, K., PACHANA, P., PAPADOPOULOS, A., PILENINGER, T., BURGESS, P. J. (2016): Current extent and trends of agroforestry in the EU27. *AGFORWARD* 613520. [https://www.researchgate.net/publication/315471872\\_Current\\_extent\\_and\\_stratification\\_of\\_agroforestry\\_in\\_the\\_European\\_Union](https://www.researchgate.net/publication/315471872_Current_extent_and_stratification_of_agroforestry_in_the_European_Union) (Zugriff am 30.12.2022).

DIBALA, R., JOSE, S., UDAWATTA, R. P. (2022): Silvopasture for Food Security in a Changing Climate. In: Udawatta, R. P., Jose, S. (Hrsg.) „Agroforestry and Ecosystem Services“. Cham: Springer Verlag, 141 – 172. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-80060-4>.

DICKEY, G. L. (1988): Crop water use and water conservation benefits from wind-breaks. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 22, 381 – 392. [https://doi.org/10.1016/0167-8809\(88\)90033-3](https://doi.org/10.1016/0167-8809(88)90033-3).

DIERCKE WELTATLAS (2008): Physische Karte Deutschland. Braunschweig: Westermann.

DUPRAZ, C., DAUZAT, M., SUARD, B., GIRADIN, M., OLIVIER, A. (1995): Root extension of young wide-spaced *Prunus avium* trees. In: *An Agroforest as Deduced from the Water Budget. Proceedings of the 4th North-American Agroforestry Conference. Growing a Sustainable Future*. Boise: Association For Temperate Agroforestry, 46 – 50.

DUPRAZ, C., LAWSON, G. J., LAMERSDORF, N., PAPANASTASIS, V. P., ROSATI, A., RUIZ-MIRAZO, J. (2018): Temperate Agroforestry: the European Way. In: Gordon, A. M., Newman, S. M., Coleman, B. R. W. (Hrsg.) „Temperate Agroforestry Systems – 2nd Edition“. Oxfordshire: CABI, 98 – 152.

DVL (2006): Landschaftselemente in der Agrarstruktur – Entstehung, Neuanlage und Erhalt. DVL-Schriftenreihe „Landschaft als Lebensraum“ Heft 9. [https://www.dvl.org/uploads/tx\\_ttproducts/datasheet/DVL-Publikation-Schriftenreihe-9\\_Landschaftselemente\\_in\\_der\\_Agrarstruktur.pdf](https://www.dvl.org/uploads/tx_ttproducts/datasheet/DVL-Publikation-Schriftenreihe-9_Landschaftselemente_in_der_Agrarstruktur.pdf) (Zugriff am 26.01.2023).

DWD (2022): Vieljährige Mittelwerte. [https://www.dwd.de/DE/leistungen/klimadatendeutschland/vielj\\_mittelwerte.html](https://www.dwd.de/DE/leistungen/klimadatendeutschland/vielj_mittelwerte.html) (Zugriff am 01.02.2023).

DWD (o. J.a): Wetter- und Klimalexikon. Klima-humides. <https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/Functions/glossar.html?lv2=101334&lv3=101430> (Zugriff am 26.12.2022).

DWD (o. J.b): Deutscher Klimaatlas. Landwirtschaft. Bremen Niedersachsen. Vegetationsbeginn. Absolutwerte. Jahr 2022. [https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaatlas/klimaatlas\\_node.html?selectedSektorId=2](https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaatlas/klimaatlas_node.html?selectedSektorId=2) (Zugriff am 03.03.2023).

DWD (o. J.c): Wetter- und Klimalexikon. Spätfrost. <https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/Functions/glossar.html?lv2=102248&lv3=622782> (Zugriff am 05.03.2023).

DWD CDC (2023): Stärkewindrosen der Jahresstunden in % aus Stationsmessungen für Deutschland in ca. 10 m Höhe, Version v22.03. Friesoythe-Altenoythe Stations ID 1503. [https://opendata.dwd.de/climate\\_environment/CDC/derived\\_germany/techn/multi\\_annual/win\\_droses/](https://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/derived_germany/techn/multi_annual/win_droses/) (Zugriff am 02.02.2023).

EICHHORN, M. P., PARIS, P., HERZOG, F., INCOLL, L. D., LIAGRE, F., MANTZANAS, K., MAYUS, M., MORENO, G., PAPANASTASIS, V. P., PILBEAM, D. J., PISANELLI, A., heisl, C. (2006): Silvoarable systems in Europe – past, present, and future prospects. *Agroforestry Systems* 67, 29 – 50. <https://doi.org/10.1007/s10457-005-1111-7>.

ELBRACHT, J., ENGEL, N., HARDERS, D., MÜLLER, U., PRAUSE, D., SCHLINSOG, T., ANHALT, M., PETRY, U., SCHNORR, C., BECKER, J., HOLL, C., JACOBS, C., SCHILLING, P. (2019): Klimawirkungsstudie Niedersachsen. Hannover: Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz. [https://www.lbeg.niedersachsen.de/boden\\_grundwasser/klimawandel/klimawirkungsstudie/klimawirkungsstudie-niedersachsen-176704.html](https://www.lbeg.niedersachsen.de/boden_grundwasser/klimawandel/klimawirkungsstudie/klimawirkungsstudie-niedersachsen-176704.html) (Zugriff am 23.02.2023).

ELLENBERG, H., LEUSCHNER, C. (2010): *Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen*. Stuttgart: Ulmer Verlag.

ELSÄßER, M., DIEPOLDER, M., GRANT, K., HARTMANN, S., JÄNICKE, H., KOMAINDA, M., TECHOW, A. M., KIVELITZ, H. (2020): *Anpassungsstrategien an den Klimawandel im Grünland*. Frankfurt am Main: DLG-Verlag.

EMANUELSSON, U., ARDING, M., PETERSSON, M. (2009): *The Rural Landscapes of Europe: How Man Has Shaped European Nature*. Stockholm: Forskningsrådet Formas.

EMILE, J. C., DELAGARDE, R., BARRE, P., NIDERKORN, V., NOVAK, S. (2017): Evaluation of the feeding value of leaves of woody plants for feeding ruminants in summer. Italien: 19. Symposium of the European Grassland Federation. <https://hal.science/hal-01608208>.

EURAF (o. J.): *Agroforestry in Europe*. <https://euraf.isa.utl.pt/about/agroforestry-europe> (Zugriff am 29.12.2022).

EUROPÄISCHE KOMMISSION (o. J.a): *Common agricultural policy funds*. [https://agriculture.ec.europa.eu/common-agricultural-policy/financing-cap/cap-funds\\_en](https://agriculture.ec.europa.eu/common-agricultural-policy/financing-cap/cap-funds_en) (Zugriff am 28.02.2023).

EUROPÄISCHE KOMMISSION (o. J.b): *Die Gemeinsame Agrarpolitik auf einen Blick*. [https://agriculture.ec.europa.eu/common-agricultural-policy/cap-overview/cap-glance\\_de](https://agriculture.ec.europa.eu/common-agricultural-policy/cap-overview/cap-glance_de) (Zugriff am 28.02.2023).

FELDHAKE, C.M. (2001): Microclimate of a natural pasture under planted *Robinia pseudoacacia* in central Appalachia, West Virginia. *Agroforestry Systems* 53, 297 – 303. <https://doi.org/10.1023/A:1013331628494>.

FRASER, D., DUNCAN, I. J. H., EDWARDS, S. A., GRANDIN, T., GREGORY, N. G., GUYONNET, V., HEMSWORTH, P. H., HUERTAS, S. M., HUZZEY, J. M., MELLOR, D. J., MENCH, J. A., ŠPINKA, M., WHAY, H. R. (2013): General Principles for the welfare of animals in production systems: The underlying science and its application. *The Veterinary Journal* 198, 19 – 27. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2013.06.028>.

FROST, W. E., MCDOUGALD, N. K. (1989): Tree Canopy Effects on Herbaceous Production of Annual Rangeland during Drought. *Journal of Range Management* 42, 281 – 283. <http://dx.doi.org/10.2307/3899494>.

GABRIEL, S. (2018): *Silvopasture – A guide to managing grazing animals, forage crops, and trees in a temperate farm ecosystem*. White River Junction: Chelsea Green Publishing.

GANTNER, V., MIJIĆ, P., KUTEROVAC, K., SOLIĆ, D., GANTNER, R. (2011): Temperature-humidity index values and their significance on the daily production of dairy cattle. *Mljekarstvo* 61, 56 – 63. [https://www.researchgate.net/publication/50392071\\_Temperature-humidity\\_index\\_values\\_and\\_their\\_significance\\_on\\_the\\_daily\\_production\\_of\\_dairy\\_cattle](https://www.researchgate.net/publication/50392071_Temperature-humidity_index_values_and_their_significance_on_the_daily_production_of_dairy_cattle) (Zugriff am 15.12.2022).

GAPDZG (2021): Gesetz zur Durchführung der im Rahmen der Gemeinsamen Agrarpolitik finanzierten Direktzahlungen (GAP-DirektzahlungenGesetz - GAPDZG) vom 16.07.2021. BGBl. I S 3003. <http://www.gesetze-im-internet.de/gapdzg/> (Zugriff am 15.02.2023).

GAPDZV (2022): Verordnung zur Durchführung der GAP-Direktzahlungen (GAP-Direktzahlungen-Verordnung-GAPDZV) vom 24. Januar 2022. BGBl. I S. 139, 2287 zuletzt geändert durch Artikel 1 der Verordnung vom 30. November 2022. BAnz AT 01.12.2022 V1. <http://www.gesetze-im-internet.de/gapdzv/index.html#BJNR013900022BJNE000100000>.

GAPKondV (2022): Verordnung zur Durchführung der im Rahmen der Gemeinsamen Agrarpolitik geltenden Konditionalität (GAP-Konditionalitäten-Verordnung - GAPKondV) vom 07. Dezember 2022. BGBl. I S. 2244, zuletzt geändert durch Artikel 1 der Verordnung vom 09. Dezember 2022. BGBl. I S 2273. <http://www.gesetze-im-internet.de/gapkondv/index.html#BJNR224400022BJNE002500000>. (Zugriff am 15.02.2023).

GAULY, M., BOLLWEIN, H., BREVES, G., BRÜGEMANN, K., DÄNICKE, S., DAS, G., DEMELER, J., HANSEN, H., ISSELSTEIN, J., KÖNIG, S., LOHÖLTER, M., MARTINSOHN, M., MEYER, U., POTTHOFF, M., SANKER, C., SCHRÖDER, B., WRAGE, N., MEIBAUM, B., VON SAMSON-HIMMELSTJERNA, G., STINSHOFF, H., WRENYCKI, C. (2013): Future consequences and challenges for dairy cow production systems arising from climate change



in Central Europe – a review. *Animal* (2013) 7:5, 843 – 859.  
<https://doi.org/10.1017/s1751731112002352>.

GODWIN, H. (1943): *Frangula Alnus* Miller. *Journal of Ecology* 31, 77 – 92.  
<https://www.jstor.org/stable/2256793>.

GÖMANN, H., FRÜHAUF, C., LÜTTGER, A., WEIGEL, H. J. (2017): Landwirtschaft. In: BRASSEUR, G., JACOB, D., SCHUCK-ZÖLLER, S. (Hrsg.) „Klimawandel in Deutschland“. Berlin: Springer-Verlag, 184 – 190.

GÓMEZ-APARICIO, L., ZAMORA, R., GÓMEZ, J. M., HÓDAR, J. A., CASTRO, J., BARAZA, E. (2004): Applying Plant Facilitation to Forest Restoration: A Meta-Analysis of the Use of Shrubs as Nurse Plants. *Ecological Applications* 14, 1128 – 1138. <https://doi.org/10.1890/03-5084>.

GORDON, A. M., NEWMAN, S. M., COLEMAN, B. R. W., THEVATHASAN, N. V. (2018a): Temperate Agroforestry: an Overview. In: Gordon, A. M., Newman, S. M., Coleman, B. R. W. (Hrsg.) „Temperate Agroforestry Systems – 2nd Edition“. Oxfordshire: CABI, 1 – 6.

GORDON, A. M., NEWMAN, S. M., COLEMAN, B. R. W. (2018b): *Temperate Agroforestry Systems – 2nd Edition*. Oxfordshire: CABI.

GÖTSCH, E. (1994): Break-Through in Agriculture. <https://www.agrofloresta.net/2010/07/break-through-in-agriculture/> (Zugriff am 21.01.2023).

GREENTEC (o. J.): Multiträgerserie. <https://greentec.eu/de/produkte/multitraeger/> (Zugriff am 09.03.2023).

GRÜNEWALD, H., REEG, T. (2009): Überblick über den Stand der Forschung zu Agroforstsystemen in Deutschland. In: Reeg, T., Bemann, A., Konold, W., Murach, D., Spiecker, H. (Hrsg.) „Anbau und Nutzung von Bäumen auf landwirtschaftlichen Flächen.“ Weinheim: WILEY-VCH Verlag, 233 – 239.

HÄBERLE, K. H. (2014): *Acer campestre*. In: Roloff, A., Weisgerber, H., Lang, U. M., Stimm, B. „Enzyklopädie der Holzgewächse“. Weinheim: Wiley-VCH.  
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9783527678518.ehg2011011> (Zugriff am 15.02.2023).

HAMKENS, H., SPELLMANN, H., NAGEL, R. V., BURESCH (2020): Entscheidungshilfen zur klimaangepassten Baumartenauswahl. Magdeburg: Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft

und Energie des Landes-Sachsen-Anhalt. [https://mwL.sachsen-anhalt.de/fileadmin/Bibliothek/Politik\\_und\\_Verwaltung/MW/MWL/01\\_Bilder/05\\_Forsten/Forst/Waldschutz/202810\\_waldbaummerkblatt\\_final\\_web.pdf](https://mwL.sachsen-anhalt.de/fileadmin/Bibliothek/Politik_und_Verwaltung/MW/MWL/01_Bilder/05_Forsten/Forst/Waldschutz/202810_waldbaummerkblatt_final_web.pdf) (Zugriff am 30.01.2023).

HARI, V., RAKOVEC, O., MARKONIS, Y., HANEL, M., KUMAR, R. (2020): Increased future occurrences of the exceptional 2018-2019 Central European drought under global warming. *Scientific Reports* 10, Artikelnummer 12207. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-68872-9>.

HEISLER, G. M., DEWALLE, D. R. (1988): Effects of windbreak structure on wind flow. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 22–23, 41 – 46. [https://doi.org/10.1016/0167-8809\(88\)90007-2](https://doi.org/10.1016/0167-8809(88)90007-2).

HELMHOLTZ-ZENTRUM HEREON (o. J.): Niedersachsen u. Bremen: Relative Luftfeuchte im Sommer (1981-2010). <https://www.norddeutscher-klimamonitor.de/klima/1981-2010/sommer/relative-luftfeuchte/niedersachsen-bremen/coastdat-2.html> (Zugriff am 18.12.2022).

HOLLAND, V. L. (1968): Canopy effect of *Quercus douglasii*. M. S. Thesis. Fresno: Fresno State College.

HOLLAND, V. L. (1973): A study of vegetation and soils under blue oak compared to adjacent to open grassland. Ph. D. Diss. Berkely: University of California.

HUSSAIN, Z., KEMP, P. D., HORNE, D. J., JAYA, I. K. D. (2009): Pasture production under densely planted young willow and poplar in a silvopastoral system. *Agroforestry Systems* 76, 351 – 361. <http://dx.doi.org/10.1007/s10457-008-9195-5>.

IBRAHIM, M., SCHLONVOIGT, A., CAMARGO, J. C., SOUZA, M. (2001): Multi-Strata Silvopastoral Systems for Increasing Productivity and Conservation of Natural Resources in Central America. In: The 19th International Grassland Congress. Lexington: University of Kentucky. <https://uknowledge.uky.edu/igc/19/18/1> (Zugriff am 31.01.2023).

IBRAHIM, M., VILLANUEVA, C., CASASOLA, F. (2006): Silvopastoral systems as a tool for the improvement of productivity and restoration of the ecological integrity of cattle production landscapes. *Pastos y Forrajes* 29, 383 – 419. <https://www.redalyc.org/pdf/2691/269121676004.pdf> (Zugriff am 31.01.2023).

JOSE, S., GILLSPIE, A., PALLARDY, S. (2004): Interspecific interactions in temperate agroforestry. *Agroforestry Systems* 61, 237 – 255. <http://dx.doi.org/10.1023/B:A GFO.0000029002.85273.9b>.

JOSE, S., WALTER, D., KUMAR, B. M. (2019): Ecological considerations in sustainable silvopasture design and management. *Agroforestry Systems* 93, 317 – 331. <https://doi.org/10.1007/s10457-016-0065-2>.

KANZLER, M., BÖHM, C., MIRCK, J., SCHMITT, D., VESTE, M. (2019): Microclimate effects on evaporation and winter wheat (*Triticum aestivum* L.) yield within a temperate agroforestry system. *Agroforestry systems* 93, 1821 – 1841. <https://doi.org/10.1007/s10457-018-0289-4>.

KARKI, U., GOODMAN, M. S. (2010): Cattle distribution and behavior in southern-pine silvopasture versus open-pasture. *Agroforestry Systems* 89, 319 – 325. <https://doi.org/10.1007/s10457-009-9250-x>.

KARKI, U., GOODMAN, M. S. (2015): Microclimatic differences between mature loblolly-pine silvopasture and open-pasture. *Agroforestry Systems* 78, 159 – 168. <https://doi.org/10.1007/s10457-014-9768-4>.

KASPAR, F., IMBERY, F., FRIEDRICH, K., BÖTTCHER, F., LEPELT., T., POSADA, R., JANSSEN, W., LENGFELD, K., MÖLLER, T., BUCHHOLZ, S., MÖLLER, J. (2022): Was wir über das Extremwetter in Deutschland wissen. Offenbach am Main: Deutscher Wetterdienst, Extremwetterkongress 2022. [https://www.dwd.de/DE/presse/ewk\\_hamburg/downloads/faktenpapier\\_fuchs.html](https://www.dwd.de/DE/presse/ewk_hamburg/downloads/faktenpapier_fuchs.html) (Zugriff am 20.12.2022).

KAUSCH-BLECKEN VON SCHMELING, W. (2000): Der Speierling. Selbstverlag. <http://www.speierling.de/Linksammlung.html> (Zugriff am 13.02.2023).

KELLMAN, M. (1979): Soil enrichment by neotropical savanna trees. *Journal of Ecology* 67, 565 – 577. <https://doi.org/10.2307/2259112>.

KEMP, P. D., BARRY, T. N., DOUGLAS, G. B. (2003): Edible forage yield and nutritive value of poplar and willow. *Grassland research and practice series* 10, 53 – 63. <https://doi.org/10.33584/rps.10.2003.2983>.

KENDALL, P. E., NIELSEN, P. P., WEBSTER, J. R., VERKERK, G. A., LITTLEJOHN, R. P., MATTEHWS, L. R. (2006): The effects of providing shade to lactating dairy cows in a temperate climate. *Livestock Science* 103, 148 – 157. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2006.02.004>.

KLAPP, E. (1965): Grünlandvegetation und Standort nach Beispielen aus West-, Mittel- und Ost-Süddeutschland. Berlin: Paul Parey Verlag.

KONOLD, W., REEG, T. (2009): Historische Agroforstsysteme in Deutschland. In: Reeg, T., Bemann, A., Konold, W., Murach, D., Spiecker, H. (Hrsg.) „Anbau und Nutzung von Bäumen auf landwirtschaftlichen Flächen“. Weinheim: WILEY-VCH Verlag, 313 – 323.

KÖRNER, C. (2014a): Grundlagen der Pflanzenökologie. In: Kadereit, J. W., Körner, C., Kost, B., Sonnewald, U. (Hrsg.) „Lehrbuch der Pflanzenwissenschaften“. Berlin: Springer Spektrum, 742 – 757. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-54435-4>.

KORT, J. (1988): Benefits of windbreaks to field and forage crops. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 22/23, 165 – 190. [https://doi.org/10.1016/0167-8809\(88\)90017-5](https://doi.org/10.1016/0167-8809(88)90017-5).

KOST, B., KADEREIT, J. W. (2014): Funktionelle Morphologie und Anatomie der Gefäßpflanzen. In: Kadereit, J. W., Körner, C., Kost, B., Sonnewald, U. (Hrsg.) „Lehrbuch der Pflanzenwissenschaften“. Berlin: Springer Spektrum, 97 – 178.

KOTTEK, M., GRIESER, J., BECK, C., RUDOLF, B., RUBEL, F. (2006): World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift* 15, 259 – 263. [http://koeppen-geiger.vu-wien.ac.at/pdf/Paper\\_2006.pdf](http://koeppen-geiger.vu-wien.ac.at/pdf/Paper_2006.pdf) (Zugriff am 04.02.2023).

KURZ, P., MACHATSCHEK, M., IGLHAUSER, B. (2001): HECKEN – Geschichte und Ökologie. Anlage, Erhaltung & Nutzung. Graz: Leopold Stocker Verlag.

LACOMBE, S., BRADLEY, R. L., HAMEL, C., BEAULIEU, C. (2009): Do tree-based intercropping systems increase the diversity and stability of soil microbial communities? *Agriculture, Ecosystems & Environment* 131, 25 – 31. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2008.08.010>.

LBEG (2019): Faktenblatt: Klimawandel in Niedersachsen: Temperatur. [https://www.lbeg.niedersachsen.de/boden\\_grundwasser/klimawandel/klimawandel-89975.html](https://www.lbeg.niedersachsen.de/boden_grundwasser/klimawandel/klimawandel-89975.html) (Zugriff am 23.02.2023).

LBEG (o. J.a): NIBIS Kartenserver. Grundkarte: Topografien Norddeutschland (Niedersachsen, Schleswig-Holstein, Hamburg, Bremen). Messung: Höhenprofil. <https://nibis.lbeg.de/cardomap3/?permalink=1lIF8Hv5> (Zugriff am 02.02.2023).

LBEG (o. J.b): NIBIS Kartenserver. Grundkarte: Topografien Norddeutschland (Niedersachsen, Schleswig-Holstein, Hamburg, Bremen). <https://nibis.lbeg.de/cardomap3/?permalink=1lIF8Hv5> (Zugriff am 02.02.2023).

LBEG (o. J.c): NIBIS Kartenserver. Themenkarte: Klima und Klimawandel. Klimaprojektionen. Verdunstung (FAO). Jahr. Referenzzeitraum: 1971-2000. <https://nibis.lbeg.de/cardomap3/?permalink=1IIF8Hv5> (Zugriff am 07.02.2023).

LBEG (o. J.d): NIBIS Kartenserver. Themenkarte: Hydrogeologie. Grundwasserneubildung (mGROWA22). Klimaszenarien. 2021-2050. <https://nibis.lbeg.de/cardomap3/?permalink=1IIF8Hv5> (Zugriff am 07.02.2023).

LE HOUÉROU, H. N. (1993): Land degradation in Mediterranean Europe: can agroforestry be a part of the solution? A prospective review. *Agroforestry Systems* 21, 43 – 61. <https://doi.org/10.1007/BF00704925>.

LE HOUÉROU, H.N. (1996): Use of fodder trees and shrubs (Trubs) in the Arid and Semi-arid Zones of West Asia and North Africa: History and Perspectives. In: Gintzburger, G., Bounejmate, M., Nefzaoui, A. (Hrsg.) „Fodder Shrub Development in Arid and Semi-arid Zones.“ Aleppo: ICARDA, 9 – 47. [https://idl-bnc-idrc.dspacedirect.org/bitstream/handle/10625/6388/IDL-6388\\_v2.pdf?sequence=2](https://idl-bnc-idrc.dspacedirect.org/bitstream/handle/10625/6388/IDL-6388_v2.pdf?sequence=2) (Zugriff am 28.12.2022).

LfU Bayern (o. J.): Gebietseigene Gehölze. [https://www.lfu.bayern.de/natur/gehoelze\\_saatgut/gehoelze/index.htm](https://www.lfu.bayern.de/natur/gehoelze_saatgut/gehoelze/index.htm) (Zugriff am 27.02.2023).

LGLN (o. J.): Digitales Orthophoto (DOP). Nr. 324285884 und 324305884. <https://opengeodata.lgln.niedersachsen.de/#dop> (Zugriff am 01.03.2023).

LUSKE, B., ALTINALMAZIS KONDYLIS, A., ROELEN, S. (2017a): Fodder trees for micronutrient supply in grassbased dairy systems. AGFORWARD Innovation Leaflet 44. <https://www.agforward.eu/Innovation-leaflets.html> (Zugriff am 19.01.2023).

LUSKE, B., VAN EEKEREN, N., VONK, M., ALTINALMAZIS KONDYLIS, A., ROELEN, S. (2017b): Lessons learned – Agroforestry for ruminants in the Netherlands. 613520. Workpackage 5: Agroforestry for ruminants in the Netherlands. <https://www.agforward.eu/fodder-trees-for-cattle-and-goats-in-the-netherlands.html>.

LUKSE, B., VAN MEIR, I., ALTINALMAZIS KONDYLIS, A., ROELEN S., VAN EEKEREN, N. (2017c): Online fodder tree database for Europe. Utrecht: Louis Bolk Institute, Helvoirt: Stitching Duinboeren. <https://www.voederbomen.nl/nutritionalvalues/> (Zugriff am 08.03.2023).

LWK NIEDERSACHSEN (2022): Die neue GAP ab 2023 – eine ökonomische Optimierung der Anträge wird wichtiger! [https://www.lwk-niedersachsen.de/lwk/news/38437\\_Die\\_n](https://www.lwk-niedersachsen.de/lwk/news/38437_Die_n)

eue GAP ab 2023 - eine ökonomische Optimierung der Anträge wird wichtiger  
(Zugriff am 28.02.2023).

MACHER, C. (2009): Überflutungstoleranz des Bergahorns – ein Überblick zum derzeitigen Kenntnisstand. In: WAUER, A. „LWF Wissen 62 Beiträge zum Bergahorn“. Freising: Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft. [https://www.lwf.bayern.de/service/publikationen/lwf\\_wissen/016760/index.php](https://www.lwf.bayern.de/service/publikationen/lwf_wissen/016760/index.php) (Zugriff am 19.02.2023).

MAHIEU, S., NOVAK, S., GASTAL, F., EMILE, J. C. (2021): Diversity in the chemical composition and digestibility of leaves from fifty woody species in temperate areas. *Agroforestry Systems* 95, 1295 – 1308. <https://doi.org/10.1007/s10457-021-00662-2>.

MAIER, J. (2014): *Sorbus aucuparia*. In: Roloff, A., Weisgerber, H., Lang, U. M., Stimm, B. (Hrsg.) „Enzyklopädie der Holzgewächse“. Weinheim: Wiley-VCH. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9783527678518.ehq1997030> (Zugriff am 15.02.2023).

MALMER, A., MURDIYARSO, D., SAMPURNO BRUIJNZEEL, L. A., ILSTEDT, U. (2010): Carbon sequestration in tropical forests and water: a critical look at the basis for commonly used generalizations. *Global Change Biology* 16, 599 – 604. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2009.01984.x>.

MANACORDA, M., SOMLO, R., PELLIZA SHRILLER, A., WILLEMS, P. (1996): Dieta de ovinos y bovinos en la región de los bosques de ñire (*Nothofagus antarctica*) de Rio Negro y Neuquén. Comunicación Técnica No. 59. Serie Past. Nat. Area Rec. Nat. Bariloche: INTA EEA. <http://ref.scielo.org/v7z2mj> (Zugriff am 15.02.2023).

MATYSSEK, R., FROMM, J., RENNENBERG, H., ROLOFF, A. (2010): *Biologie der Bäume*. Stuttgart: Eugen Ulmer.

MCADAM, J. H., SIBBALD, A. R., TEKLEHAIMANOT, Z., EASON, W. R. (2007): Developing silvopastoral systems and their effects on diversity of fauna. *Agroforestry Systems* 70, 81 – 89. <https://doi.org/10.1007/s10457-007-9047-8>.

ML NIEDERSACHSEN (2022): Kurzübersicht über die Auflagen und Förderbedingungen der Agrarumwelt- und Klimamaßnahmen. [https://www.ml.niedersachsen.de/startseite/themen/landwirtschaft/agrarforderung/agrarumweltmassnahmen\\_aum/aum\\_details\\_zu\\_den\\_massnahmen/aukm-ab-2022-alle-massnahmen-der-neuen-forderperiode-auf-einen-blick-209981.html](https://www.ml.niedersachsen.de/startseite/themen/landwirtschaft/agrarforderung/agrarumweltmassnahmen_aum/aum_details_zu_den_massnahmen/aukm-ab-2022-alle-massnahmen-der-neuen-forderperiode-auf-einen-blick-209981.html) (Zugriff am 28.02.2023).

MOLLIER, P. (2019): Trees to feed the cows. Paris: INRAE. <https://www.inrae.fr/en/news/trees-feed-cows> (Zugriff am 24.02.2023).

MORENO, G., PULIDO, F. J. (2009): The Functioning, Management and Persistence of Dehesas. In: Rigueiro-Rodríguez, A., McAdam, J., Mosquera-Losada, M. R. (Hrsg.) „Agroforestry in Europe. Advances in Agroforestry“. Berlin: Springer-Verlag, 127 – 160. [https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8272-6\\_7](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8272-6_7).

MORHART, C., SHEPPARD, J., DOUGLAS, G. C., LUNNY, R., SPIECKER, H., NAHM, M. (2015): Wertholz-Produktion in Agroforstsystemen. Ein Leitfaden für die Praxis. Freiburg: Professur für Waldwachstum. <https://agroforst-info.de/fachinformationen/handbuecher/> (Zugriff am 04.03.2023).

MU NIEDERSACHSEN (o. J.): Umweltkarten Niedersachsen. NIKLIS – Niedersächsisches Klimainformationssystem. Kategorie: Wasserbilanz. Parameter: Mittlere Klimatische Wasserbilanz. <https://www.umweltkarten-niedersachsen.de/niklis/> (Zugriff am 02.02.2023).

MÜLLER, J. (1990): Funktionen von Hecken und deren Flächenbedarf vor dem Hintergrund der landschaftsökologischen und -ästhetischen Defizite auf den Mainfränkischen Gäuflächen. Abhandlungen des Naturwissenschaftlichen Vereins Würzburg Band 31. Würzburg: Naturwissenschaftlicher Verein Würzburg e. V. [https://www.zobodat.at/pdf/Abh-Natwiss-Ver-Wuerzburg\\_31\\_0001-0318.pdf](https://www.zobodat.at/pdf/Abh-Natwiss-Ver-Wuerzburg_31_0001-0318.pdf) (Zugriff am 21.12.2022).

NAIR, P. K. R. (1985): Classification of agroforestry systems. *Agroforestry Systems* 3, 97 – 128. <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00122638> (Zugriff am 29.12.2022).

NAIR, P. K. R., KUMAR, B. M., NAIR, V. D. (2021): An Introduction to Agroforestry. Four Decades of Scientific Developements. Second Edition. Cham: Springer Nature Switzerland. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-75358-0>.

NEEL, J. P. S., BELESKY, D. P. (2017): Herbage production, nutritive value and animal productivity within hardwood silvopasture, open and mixed pasture systems in Appalachia, United States. *Grass Forage Science* 72,137 – 153. <https://doi.org/10.1111/gfs.12211>.

NEHER, D. A. (1999): Soil community composition and ecosystem processes: Comparing agricultural ecosystems with natural ecosystems. *Agroforestry Systems* 45, 159 – 185. <https://doi.org/10.1023/A:1006299100678>.

NEWMAN, S. M. (2019): Agroforestry systems design. In: Raskin, B., Osborn, S. (Hrsg.) „The Agroforestry Handbook. Agroforestry for the UK“. Bristol: Soil Association Limited, 19 – 43.

<https://www.soilassociation.org/farmers-growers/technicalinformation/agroforestry-on-your-farm/download-the-agroforestry-handbook/> (Zugriff am 18.01.2023).

NEWMAN, S. M., GORDON, A. M. (2018): Temperate Agroforestry: Key Elements, Current Limits and Opportunities for the Future. In: Gordon, A. M., Newman, S. M., Coleman, B. R. W. (Hrsg.) „Temperate Agroforestry Systems – 2nd Edition“. Oxfordshire: CABI, 1 – 6.

NIESEL, A., THIEME-HACK, M. (2016): Pflanzarbeiten. In: Lay, B. H., Mahabadi, M., Thieme-Hack, M. (Hrsg.) „Bauen mit Grün. Die Bau- und Vegetationstechnik des Garten- und Landschaftsbaus“. Stuttgart: Eugen Ulmer Verlag, 597 – 636.

NLWKN (2010): Naturräumliche Regionen in Niedersachsen. <https://www.nlwkn.niedersachsen.de/naturschutz/biotopschutz/naturraumliche-regionen/naturraeumliche-regione-n-niedersachsens-93476.html> (Zugriff am 31.01.2023).

NLWKN (2021): Hauptdatenblatt der Grundwassermessstelle Osterscheps (alt). Messstellen-ID: 9610335. <https://www.umweltkarten-niedersachsen.de/umweltkarten/?topic=Hydrologie&lang=de&bgLayer=TopographieGrau&zoom=9&layers=Grundwasserstands-messstellen&E=430504.14&N=5886370.48> (Zugriff am 07.02.2023).

NOVAK, S. (o. J.) Abbildung in MOLLIER, P. (2019): Trees to feed the cows. Paris: INRAE. <https://www.inrae.fr/en/news/trees-feed-cows> (Zugriff am 24.02.2023).

OREFICE, J., CARROLL, J., CONROY, D., KETNER, L. (2016): Silvopasture practices and perspectives in the Northeastern United States. *Agroforestry Systems* 91, 149 – 160. <https://doi.org/10.1007/s10457-016-9916-0>.

OREFICE, J., CARROLL, J., CONROY, D., KETNER, L. (2017): Silvopasture practices and perspectives in the Northeastern United States. *Agroforestry Systems* 91, 149 – 160. <https://doi.org/10.1007/s10457-016-9916-0>.

OTTO, H. J. (2014): Standortansprüche der wichtigsten Waldbaumarten. Bonn: aid infodienst.

OTTO, J., NOACK, M. (2020): Ansprüche der wichtigsten Waldbaumarten. Gülzow-Prüzen: Fachagentur Nachhaltigkeitsforschung Rohstoffe (FNR). [https://www.fnr.de/fileadmin/kiwuh/broschueren/Broschuere\\_Standortansprueche\\_web\\_02\\_neu.pdf](https://www.fnr.de/fileadmin/kiwuh/broschueren/Broschuere_Standortansprueche_web_02_neu.pdf) (Zugriff am 14.02.2023).

PALMA, J. H. N., OLIVEIRA, T. S., MORENO, G., CROUS DURAN, J., AMARAL PAULO, J. (2017): Modelling livestock carrying capacity in montados. AGFORWARD, 06 Innovation Leaflet. <https://www.agforward.eu/Innovation-leaflets.html> (Zugriff am 23.02.2023).



PAPACHRISTOU, T. G., PLATIS, P. D., PAPACHRISTOU, I., SAMARA, T., SPANOS, I., CHAVALAS, E., BATAKA, A. (2020): How the structure and form of vegetation in a black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) silvopastoral system influences tree growth, forage mass and its nutrient content. *Agroforestry Systems* 94, 2317 – 2330. <https://doi.org/10.1007/s10457-020-00552-z>.

PAPANASTASIS, V. P., TSIΟΥVARAS, C. N., DINI-PAPANASTASI, O., VAITSIS, T., STRINGI, L., CERETI, C. F., DUPRAZ, C., ARMAND, D., MEURET, M., OLEA, L. (1999): Selection and Utilization of Cultivated Fodder Trees and Shrubs in the Mediterranean Region. *Options Méditerranéennes, Série Etudes et Recherches* 23. Montpellier: CIHEAM. [https://www.researchgate.net/publication/230675990\\_Selection\\_and\\_Utilization\\_of\\_Cultivated\\_Fodder\\_Trees\\_and\\_Shrubs\\_in\\_the\\_Mediterranean\\_Region](https://www.researchgate.net/publication/230675990_Selection_and_Utilization_of_Cultivated_Fodder_Trees_and_Shrubs_in_the_Mediterranean_Region) (Zugriff am 26.12.2022).

PAPANASTASIS, V. P., YIAKOULAKI, M. D., DECANDIA, M., DINI-PAPANASTASI, O. (2008): Integrating woody species into livestock feeding in the Mediterranean areas of Europe. *Animal Feed Science and Technology* 140, 1 – 17. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2007.03.012>.

PATT, H., JÜRGING, P., KRAUS, W. (2011): *Naturnaher Wasserbau. Entwicklung und Gestaltung von Fließgewässern*. Berlin: Springer Verlag.

PENT, G. J. (2020): Over-yielding in temperate silvopastures: a meta-analysis. *Agroforestry Systems* 94, 1741 – 1758. <https://doi.org/10.1007/s10457-020-00494-6>.

PENT, G. J., FIKE, J. H. (2022): Enhanced Ecosystemservices Provided by Silvopastures. In: Udawatta, R. P., Jose, Shibu (Hrsg.) „*Agroforestry and Ecosystem Services*“. Cham: Springer Verlag, 141 – 172. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-80060-4>.

PENT, G. J., FIKE, J. H., KIM, I. (2018): Ewe lamb vaginal temperatures in hardwood silvopastures. *Agroforestry Systems* 95, 21 – 32. <https://doi.org/10.1007/s10457-018-0221-y>.

PENT, G. J., GREINER, S. P., MUNSELL, J. F., TRACY, B. F., FIKE, J. H. (2019): Lamb performance in hardwood silvopastures, I: animal gains and forage measures in summer. *Translational Animal Science* 4, 385 – 399. <https://doi.org/10.1093/tas/txz154>.

PENT, G. J., GREINER, S. P., MUNSELL, J. F., TRACY, B. F., FIKE, J. H. (2020): Lamb performance in hardwood silvopastures, II: animal behavior in summer. *Translational Animal Science* 4, 363 – 375. <https://doi.org/10.1093/tas/txz177>.

PERI, P. L., GABALLÉ, G., HANSEN, N. E., BAHAMONDE, H. A., LENCINAS, M. V., VON MÜLLER, A. R., ORMAECHA, S., GARGAGLIONE, V., SOLER, R., SARASOLA, M., RUSCH, V., BORRELLI, L., FERNÁNDEZ, M. E., GYENGE, J., TEJERA, L. E., LLOYD, C. E., MARTÍNEZ, P. (2018): Silvopastoral Systems in Patagonia Argentina. In: Gordon, A. M., Newman, S. M., Coleman, B. R. W. (Hrsg.) „Temperate Agroforestry Systems – 2nd Edition“. Oxfordshire: CABI, 252 – 273.

PEZO, D., RÍOS, N., IBRAHIM, M., GÓMEZ, M. (2018): Silvopastoral Systems for Intensifying Cattle Production and Enhancing Forest Cover: The Case of Costa Rica. Washington: International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank. <https://www.profor.info/content/silvopastoral-systems-intensifying-cattle-production-and-enhancing-forest-cover-case-costa> (Zugriff am 31.01.2023).

PIETZARKA, U., HEIDECKE, C., ROLOFF, A. (2014): Sorbus domestica. In: Roloff, A., Weisgerber, H., Lang, U. M., Stimm, B. (Hrsg.) „Enzyklopädie der Holzgewächse“. Weinheim: Wiley-VCH. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9783527678518.ehq2010006> (Zugriff am 15.02.2023).

PIETZARKA, U., ROLOFF, A. (2014): Alnus glutinosa. In: Roloff, A., Weisgerber, H., Lang, U. M., Stimm, B. (Hrsg.) „Enzyklopädie der Holzgewächse“. Weinheim: Wiley-VCH. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9783527678518.ehq2000005> (Zugriff am 15.02.2023).

PIRC, H. (2012): Bäume von A-Z. Stuttgart: Eugen Ulmer.

RAHMANN, G. (2004): Gehölzfutter – eine neue Quelle für die ökologische Tierernährung. Landbauforschung Völkenrode Sonderheft 272, 29 – 41. [https://literatur.thuenen.de/digbib\\_extern/bitv/zi035489.pdf](https://literatur.thuenen.de/digbib_extern/bitv/zi035489.pdf) (Zugriff am 26.12.2022).

REEG, T., BEMMAN, A., KONOLD, W., SPIECKER, H. (2009): Anbau und Nutzung von Bäumen auf landwirtschaftlichen Flächen. Weinheim: Wiley-VCH.

REID, R., MOORE, R. (2018): Agroforestry Systems in Temperate Australia. In: Gordon, A. M., Newman, S. M., Coleman, B. R. W. (Hrsg.) „Temperate Agroforestry Systems – 2nd Edition“. Oxfordshire: CABI, 195 – 223.

REIF, A., JENS, T., KAPP, G., ESSMANN, H. (1995): Windschutzhecken am südlichen Oberrhein : Zustand, Pflegedefizite und Empfehlungen für künftige Pflanzungen. Naturschutz und Landschaftsplanung 27, 12 – 19. <https://www.researchgate.net/p>

ublication/29757893 Windschutzhecken am sudlichen Oberrhein Zustand Pflegedefizite und Empfehlungen fur kunftige Pflanzungen (Zugriff am 31.01.2023).

RIEDEL, T., NOLTE, C., AUS DER BEEK, T., LIEDTKE, J., SURES, B., GRABNER, D. (2021): Niedrigwasser, Dürre und Grundwasserneubildung – Bestandsaufnahme zur gegenwärtigen Situation in Deutschland, den Klimaprojektionen und den existierenden Maßnahmen und Strategien. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/niedrigwasser-duerre-grundwasserneubildung> (Zugriff am 26.12.2022).

RIGUEIRO-RODRÍGUEZ, A., FERNÁNDEZ-NÚÑEZ, E., GONZÁLEZ-HERNÁNDEZ, P., MCADAM, J.H., MOSQUERA-LOSADA, M.R. (2009). Agroforestry Systems in Europe: Productive, Ecological and Social Perspectives. In: Rigueiro-Rodríguez, A., McAdam, J., Mosquera-Losada, M. R. (Hrsg.) „Agroforestry in Europe. Advances in Agroforestry“. Berlin: Springer-Verlag, 43 – 66. [https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8272-6\\_3](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8272-6_3).

RIVINIUS, O. (2006): Laubgehölze. Wien: Österreichischer Agrarverlag.

ROBINSON, P.J. (1985): Trees as fodder crops. In: Cannel, M. G. R., Jackson, J. E. (Hrsg.) „Attributes of Trees as Crop Plants“. Abbots Ripton: Institute of Terrestrial Ecology, 281 – 296. <https://www.gov.uk/research-for-development-outputs/trees-as-fodder-crops>. (Zugriff am 25.12.2022).

ROLOFF, A. (2021a): Aktualisierte KlimaArtenMatrix 2021 („KLAM 2.0“). In: Roloff, A. (Hrsg.) „Trockenstress bei Bäumen. Ursachen. Strategien. Praxis“. Wiebelsheim: Quelle und Meyer Verlag, 201 – 230.

ROLOFF, A. (2021b): Resümee: Was folgt aus all dem? In: Roloff, A. (Hrsg.) „Trockenstress bei Bäumen. Ursachen. Strategien. Praxis“. Wiebelsheim: Quelle und Meyer Verlag, 201 – 230.

ROLOFF, A., BÄRTELS, A. (2014): Flora der Gehölze. Stuttgart: Eugen Ulmer.

ROLOFF, A., PIETZARKA, U. (2014): *Betula pendula*. In: Roloff, A., Weisgerber, H., Lang, U. M., Stimm, B. „Enzyklopädie der Holzgewächse“. Weinheim: Wiley-VCH. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9783527678518.ehg2000031> (Zugriff am 15.02.2023).

RUDOW, A., SCHWAB, P. (2006): NFA-Artengruppen: Pioniere. Zürich: ETH. <https://fe.ethz.ch/forschung/dendrology-and-vegetation-science/seba/treespecies.html> (Zugriff am 15.02.2023).

SCHMID, T. (2014): *Prunus avium*. In: Roloff, A., Weisgerber, H., Lang, U. M., Stimm, B. (Hrsg.) „Enzyklopädie der Holzgewächse“. Weinheim: Wiley-VCH. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9783527678518.ehg2006001> (Zugriff am 15.02.2023).

SCHMIDT, O., ROLOFF, A. (2014): *Acer pseudoplatanus*. In: Roloff, A., Weisgerber, H., Lang, U. M., Stimm, B. (Hrsg.) „Enzyklopädie der Holzgewächse“. Weinheim: Wiley-VCH. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9783527678518.ehg2009000> (Zugriff am 08.03.2023).

SCHUBERT, S. (2018): Pflanzenernährung. Stuttgart: Eugen Ulmer Verlag.

SCHULZ, V., SHARAF, H., WEISENBURGER, S., MORHART, C., KONOLD, W., STOLZENBERG, K., SPIECKER, H., NAHM, M. (2020): Agroforst-Systeme zur Wertholzerzeugung. Karlsruhe: Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg. <https://agroforst-info.de/fachinformationen/handbuecher/> (Zugriff am 19.01.2023).

SCHÜTT, P., LANG, U. M. (2014a): *Cornus sanguinea*. In: Roloff, A., Weisgerber, H., Lang, U. M., Stimm, B. „Enzyklopädie der Holzgewächse“. Weinheim: Wiley-VCH. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9783527678518.ehg1994024> (Zugriff am 15.02.2023).

SCHÜTT, P., LANG, U. M. (2014b): *Rhamnus frangula*. In: Roloff, A., Weisgerber, H., Lang, U. M., Stimm, B. (Hrsg.) „Enzyklopädie der Holzgewächse“. Weinheim: Wiley-VCH. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9783527678518.ehg1995031> (Zugriff am 15.02.2023).

SCHÜTT, P., LANG, U. M. (2014c): *Sambucus nigra*. In: Roloff, A., Weisgerber, H., Lang, U. M., Stimm, B. (Hrsg.) „Enzyklopädie der Holzgewächse“. Weinheim: Wiley-VCH. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9783527678518.ehg1994031> (Zugriff am 15.02.2023).

SCHÜTT, P., LANG, U. M. (2014d): *Viburnum lantana*. In: Roloff, A., Weisgerber, H., Lang, U. M., Stimm, B. (Hrsg.) „Enzyklopädie der Holzgewächse“. Weinheim: Wiley-VCH. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9783527678518.ehg1994036> (Zugriff am 15.02.2023).

SCHÜTT, P., LANG, U. M. (2014e): *Viburnum opulus*. In: Roloff, A., Weisgerber, H., Lang, U. M., Stimm, B. „Enzyklopädie der Holzgewächse“. Weinheim: Wiley-VCH. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9783527678518.ehg1994037> (Zugriff am 15.02.2023).

SCHWANELAND BAUMSCHULE (o. J.): Unsere Klimawandelgehölze „Trees for the future“. Unser komplettes Pflanzensortiment im Überblick. <https://schwanenland-baumschule.de/klimawandelgehoelze/> (Zugriff am 04.03.2023).

SIEBEL, H. N., VAN WIJK, M., BLOM, C. W. P. M. (1998): Can tree seedlings survive increased flood levels of rivers? *Acta botanica neerlandica* 47, 219 – 230. <https://natuurtijdschriften.nl/pub/541135> (Zugriff am 16.02.2023).

SILVA-PANDO, F. J., GONZÁLEZ-HERNÁNDEZ, M. P., ROZADOS-LORENZO, M. J. (2002): Pasture production in a silvopastoral system in relation with microclimate variables in the atlantic coast of Spain. *Agroforestry Systems* 56, 203 – 211. <https://doi.org/10.1023/A:1021359817311>.

SMITH, J. (2010): *The History of Temperate Agroforestry*. Newbury: Organic Research Center, Elm Farm. <https://orgprints.org/id/eprint/18173/> (Zugriff am 21.12.2022).

SPENTHOFF, H., HARTING, K., SMORRA, L. (2017): Dorfentwicklungsplan Dorfregion Apen. Dorfentwicklungsplan Teil 3 – Anhang B Landschaftplanerischer Fachbeitrag 2 Teil. Osnabrück: Niedersächsische Landgesellschaft. [https://www.apen.de/page/cms/206\\_Allgemeine+Informationen.html](https://www.apen.de/page/cms/206_Allgemeine+Informationen.html) (Zugriff am 03.03.2023).

SPINONI, J., VOGT, J. V., NAUMANN, G., BARBOSA, P., DOSIO, A. (2017): Will drought events become more frequent and severe in Europe? *International Journal of Climatology* 38, 1718 – 1736. <https://doi.org/10.1002/joc.5291>.

SPRINGMANN, S., MORHART, C., SPIECKER, H. (2015): *Leitfaden zur Astung von Edellaubbaumarten*. Freiburg: Institut für Waldwachstum. <https://agroforst-info.de/fachinformationen/handbuecher/> (Zugriff am 04.03.2023).

STADLER-KAULICH, N. (2021): *Dynamischer Agroforst*. München: oekom verlag.

STAHR, K., KANDELER, E., HERRMANN, L., STRECK, T. (2016): *Bodenkunde und Standortlehre*. Stuttgart: Eugen Ulmer Verlag.

STEFFEN, E., BERGKNECHT, S. (2006): *Futterpflanzen und Klimawandel*. Dresden: Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft. <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/14084> (Zugriff am 31.12.2022).

STEINFELD, H., GERBER, P., WASSERNAAR, T., CASTEL, V., ROSALES, M., DE HAAN, C. (2006): *Livestock's Long Shadow: Environmental Issues and Options*. Rom: FAO. <https://www.fao.org/3/a0701e/a0701e00.htm> (Zugriff am 16.12.2022).

ST-PIERRE, N. R., COBANOV, B., SCHNITKEY, G. (2003): Economic Losses from Heat Stress by US Livestock Industries. *Journal of Dairy Science* 86, 52 – 77. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)74040-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)74040-5).

TALAMUCCI, P., PARDINI, A. (1999): Pastoral systems dominated by fodder crops harvesting and grazing. In: Etienne, M. (Hrsg.) „Cahiers OPTIONS méditerranéennes. Dynamics and sustainability of Mediterranean pastoral systems.“ Zaragoza: CIHEAM, 29 – 44. <https://om.ciheam.org/om/pdf/c39/99600041.pdf> (Zugriff am 28.12.2022).

TALBOT, G. (2011): L'intégration spatiale et temporelle du partage des ressources dans un système agroforestier noyers-céréales : une clef pour en comprendre la productivité ? Dissertation. Montpellier: Universität Montpellier. <https://theses.hal.science/tel-00664530>.

TARAZONA, A. M., CEBALLOS, M. C., CUARTAS, C. A., NARANJO, J. F., MURGUEITIO, E., ROSALES, R. B. (2013): The relationship between nutritional status and bovine welfare associated to adoption of intensive silvopastoral systems in tropical conditions. In: Makkar, H. P. S. (Hrsg.) „Enhancing animal welfare and farmer income through strategic animal feeding“. Rom: FAO, 69 – 78. <https://www.fao.org/3/i3164e/i3164e00.htm> (Zugriff am 21.01.2023).

TEULING, A. J., DE BADTS, E. A. G., JANSEN, F. A., FUCHS, R., BUITINK, J., HOEK VAN DIJKE, A. J., STERLING, S. M. (2019): Climate change, reforestation/afforestation, and urbanization impacts on evapotranspiration and streamflow in Europe. *Hydrology and Earth Systems Sciences* 23, 3631 – 3652. <https://doi.org/10.5194/hess-23-3631-2019>.

THEVATHASAN, N. V., COLEMAN, B., ZABEK, L., WARD, T., GORDON, A. M. (2018): Agroforestry in Canada and its Role in Farming Systems. In: Gordon, A. M., Newman, S. M., Coleman, B. R. W. (Hrsg.) „Temperate Agroforestry Systems – 2nd Edition“. Oxfordshire: CABI, 7 – 49.

THOBER, S., MARX, A., BOEING, F. (2018): Auswirkungen der globalen Erwärmung auf hydrologische und agrarische Dürren und Hochwasser in Deutschland. Leipzig: Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH – UFZ. [https://www.ufz.de/export/data/2/207531\\_HOKLIM\\_Brosch%C3%BCre\\_final.pdf](https://www.ufz.de/export/data/2/207531_HOKLIM_Brosch%C3%BCre_final.pdf) (Zugriff am 23.12.2022).

TIEDEMANN, A. R., KLEMMEDSON, J. O. (1973): Effect of Mesquite on Physical and Chemical Properties of the Soil. *Journal of Range Management* 26, 27 – 29. <http://dx.doi.org/10.2307/3896877>.

UBA (2022): Atmosphärische Treibhausgas-Konzentrationen. <https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/atmosphaerische-treibhausgas-konzentrationen#kohlendioxid-> (Zugriff am 30.12.2022).

UDAWATTA, R. P., JOSE, S. (2022): Agroforestry and Ecosystem Services. Cham: Springer Verlag. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-80060-4>.

UNSELD, R. (2009): Kombiniertes Anbau von Wertholz- und Kurzumtriebsplantagen. In: Reeg, T., Bemmann, A., Konold, W., Murach, D., Spiecker, H. (Hrsg.) „Anbau und Nutzung von Bäumen auf landwirtschaftlichen Flächen“. Weinheim: WILEY-VCH Verlag, 263 – 274.

VAN EIMERN, J., HÄCKEL, H. (1984): Wetter- und Klimakunde. Stuttgart: Eugen Ulmer Verlag.

VAN LERBERGHE, P. (2017): Planning an agroforestry project. AGFORWARD, 04 Best practice leaflets. <https://www.agforward.eu/best-practices-leaflets.html> (Zugriff am 18.01.2023).

VANDERMUELEN, S., RAMÍREZ-RESTREPO, C. A., MARCHE, C., DECRUYENAERE, V., BECKERS, Y., BINDELLE, J. (2016): Behaviour and browse species selectivity of heifers grazing in a temperate silvopastoral system. Agroforestry Systems 92, 705 – 716. <https://doi.org/10.1007/s10457-016-0041-x>.

WAGNER, I. (2014): Pyrus pyraister. In: Roloff, A., Weisgerber, H., Lang, U. M., Stimm, B. „Enzyklopädie der Holzgewächse“. Weinheim: Wiley-VCH. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9783527678518.ehg2009005> (Zugriff am 15.02.2023).

WALL, A. J. (2006): The effect of poplar stand density on hill country pastures. Dissertation. Palmerston North: Massey University. <https://mro.massey.ac.nz/handle/10179/1517> (Zugriff am 21.12.2022).

WEIGEL, H. J. (2011): Klimawandel – Auswirkungen und Anpassungsmöglichkeiten. In: Rahmann, G., Schumacher, U. (Hrsg.) Praxis trifft Forschung – Neues aus dem Ökologischen Ackerbau und der Ökologischen Tierhaltung. Sonderheft 354, 9 – 28. [https://www.thuenen.de/media/publikationen/landbauforschung-sonderhefte/lbf\\_sh354.pdf](https://www.thuenen.de/media/publikationen/landbauforschung-sonderhefte/lbf_sh354.pdf) (Zugriff am 31.12.2022).

WIKIPEDIA (2010): Datei: Lower Saxony relief location map.jpg. [https://de.wikipedia.org/wiki/Steinkirche\\_Scharzfeld#/media/Datei:Lower\\_Saxony\\_relief\\_location\\_map.jpg](https://de.wikipedia.org/wiki/Steinkirche_Scharzfeld#/media/Datei:Lower_Saxony_relief_location_map.jpg) (Zugriff am 31.01.2023).

WILLNER, E. (2018): Schriftliche Mitteilungen. Malchow/Poel: IPK Gatersleben.

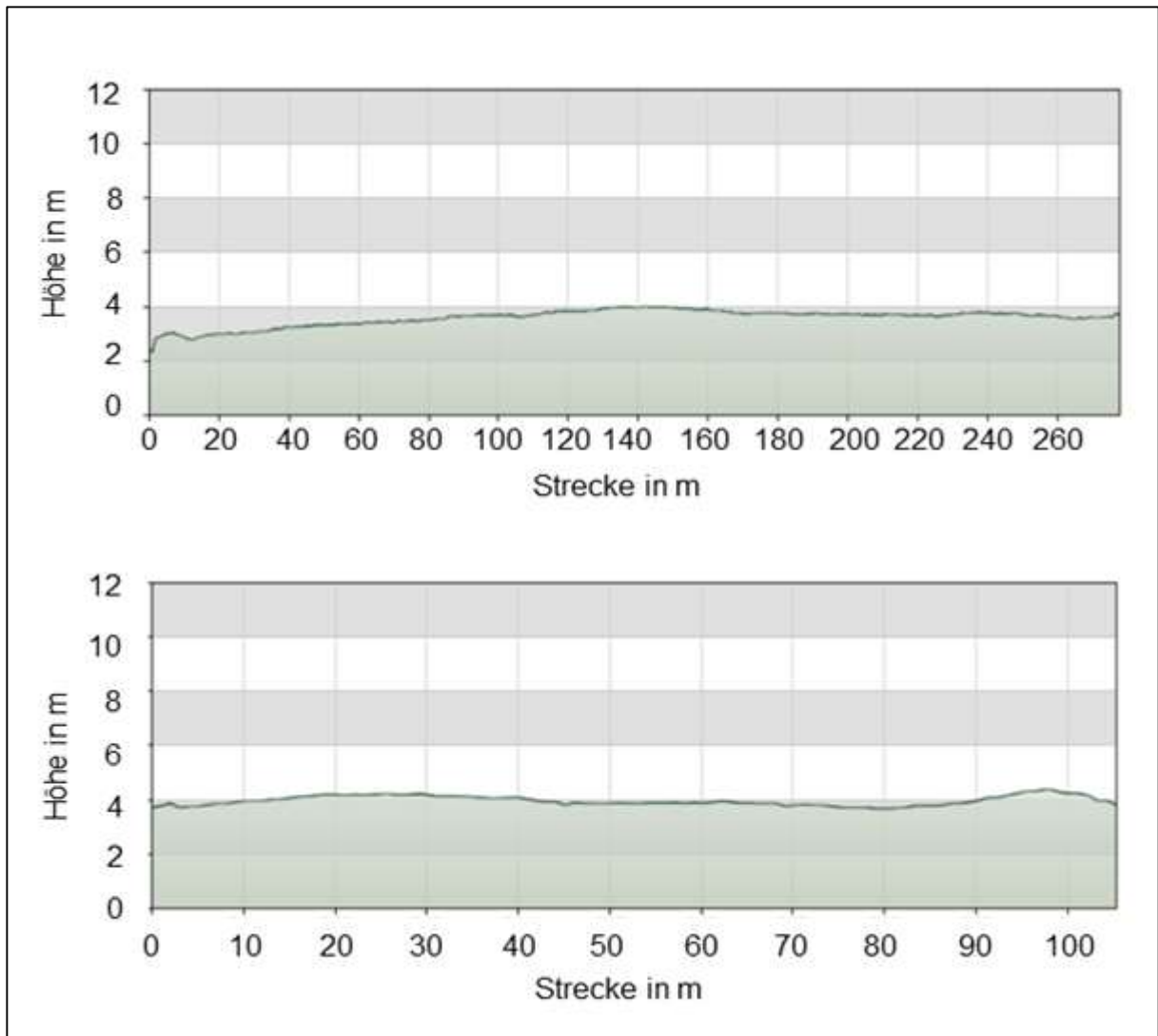
YEOMANS, P. A. (1954): The Keyline Plan. Sydney: Waite & Bull. <https://soilandhealth.org/wp-content/uploads/01aglibrary/010125yeomans/010125toc.html> (Zugriff am 09.02.2023).



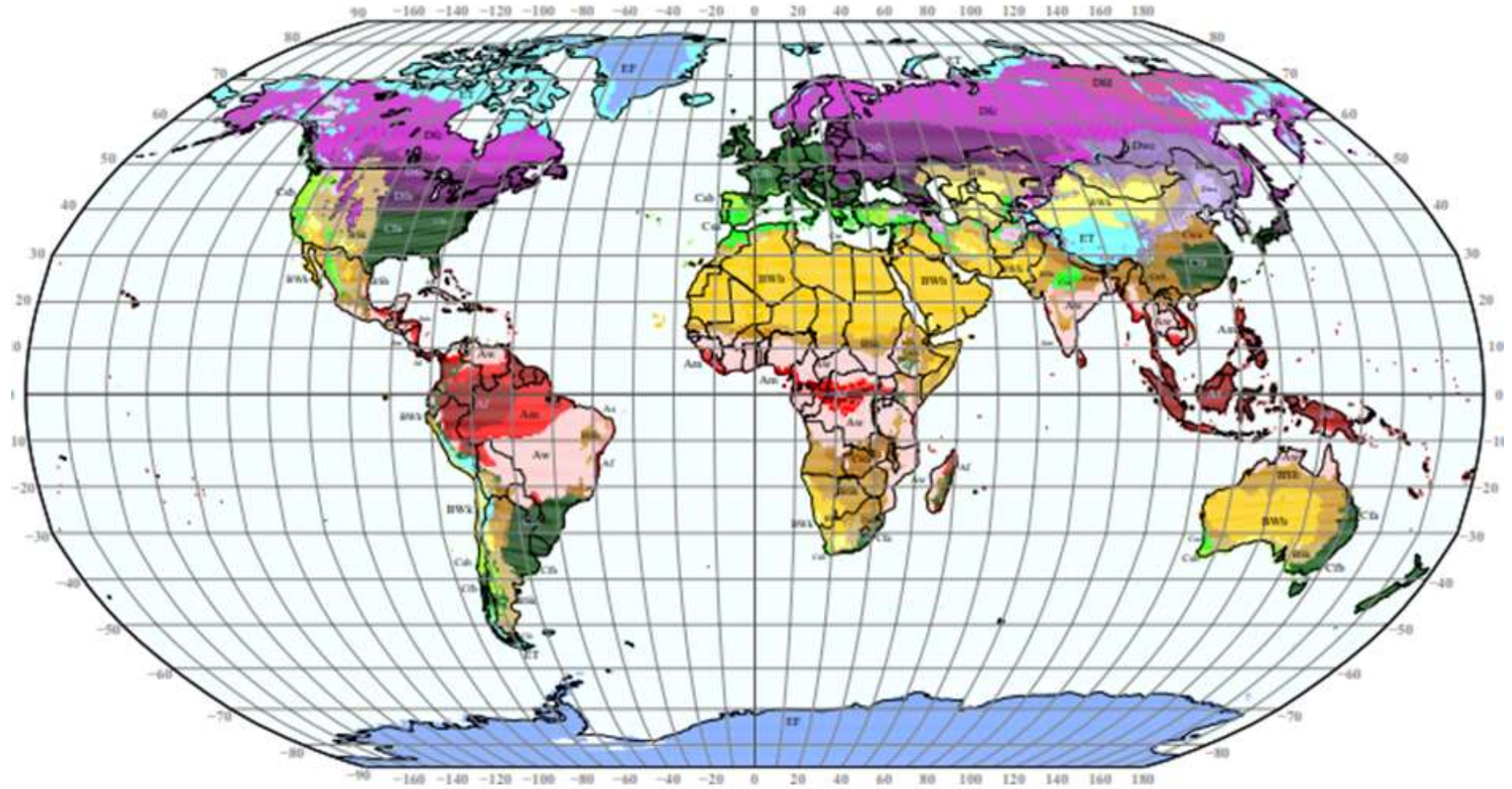
## **Anhang**

<b>Anhang 1: Höhenprofil in der Länge (oben) und der Breite (unten) (LBEG o. J.a, verändert).</b>	<b>91</b>
<b>Anhang 2: Weltklimate nach Köppen-Geiger (KOTTEK et al. 2006, verändert).</b>	<b>92</b>
<b>Anhang 3: Frosttage (<math>T_{\text{Min}} \leq 0 \text{ °C}</math>): vieljährige Mittelwerte von 1971 bis 2000 und darunter in Rot von 1991 bis 2020 der Station Doerpen (<math>52^{\circ} 57' 07^{\circ} 19'</math>) (DWD 2022, verändert)</b>	<b>94</b>
<b>Anhang 4: Niederschlag (mm): vieljährige Mittelwerte von 1971 bis 2000 und darunter in Rot von 1991 bis 2020 der Station Friesoythe-Altenoythe (<math>53^{\circ} 04' 07^{\circ} 54'</math>) (verändert nach DWD 2022)</b>	<b>94</b>
<b>Anhang 5: Sonnenscheindauer (h): vieljährige Mittelwerte von 1971 bis 2000 und darunter in Rot von 1991 bis 2020 der Station Friesoythe-Altenoythe (<math>53^{\circ} 04' 07^{\circ} 54'</math>) (verändert nach DWD 2022)</b>	<b>94</b>
<b>Anhang 6: Windrose für die Station Friesoythe-Altenoythe im Zeitraum 2013 bis 2020 (DWD CDC 2023, verändert).</b>	<b>95</b>
<b>Anhang 7: Bodenbeprobungsorte. Orangenes Quadrat = Bodenprofil, Zahlen 1 bis 8 = Bohrstockbeprobungen (LGLN o. J.a, verändert).</b>	<b>96</b>
<b>Anhang 8: Bohrstockproben mit Horizont und Tiefe im Vergleich zum Bodenprofil</b>	<b>97</b>
<b>Anhang 9: Physikalische Eigenschaften des Bodenprofils</b>	<b>98</b>
<b>Anhang 10: Grundwasserstände: Vergleich langjähriger und aktueller Monatsmittelwerte (Bezug NN) für die Grundwassermessstelle Osterscheps (alt) (NLWKN 2021 verändert).</b>	<b>99</b>
<b>Anhang 11: Einteilung der Fläche nach Feuchtigkeit. Orange = trockenerer Bereich, blau = feuchterer Bereich (LGLN o. J., verändert).</b>	<b>100</b>
<b>Anhang 12: Chemische Eigenschaften des Bodenprofils</b>	<b>101</b>
<b>Anhang 13: Aufnahme der Gehölze unmittelbar entlang des Weiderands</b>	<b>102</b>
<b>Anhang 14: Gehölzarten am Rand der Weide. Die Größe des Symbols für die Gehölzart ist proportional zur Gehölzhöhe (LGLN o. J., verändert).</b>	<b>109</b>
<b>Anhang 15: Auswirkungen des und Erfahrung mit dem Klimawandel sowie Bedingungen zur Bewirtschaftung und Fütterung</b>	<b>110</b>
<b>Anhang 16: Verwendete Literatur zur Erstellung der Gestaltungsentwürfe</b>	<b>111</b>
<b>Anhang 17: Erster Gestaltungsentwurf (LGLN o. J., verändert)</b>	<b>113</b>
<b>Anhang 18: Berechnung der Mindestabstände</b>	<b>114</b>
<b>Anhang 19: Verwendete Literatur zur Wertholzauswahl</b>	<b>115</b>

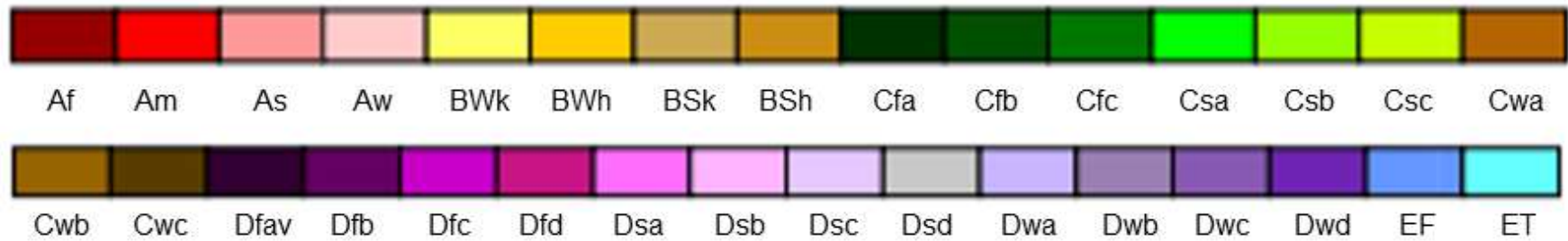
<b>Anhang 20: Verwendete Literatur zur Futterlaubgehölzauswahl</b>	<b>116</b>
<b>Anhang 21: Verwendete Literatur zur Auswahl der Heckengehölze</b>	<b>117</b>
<b>Anhang 22: Zu beschaffende Gehölze für Bepflanzungskonzept 1</b>	<b>119</b>
<b>Anhang 23: Zu beschaffende Gehölze für Bepflanzungskonzept 2</b>	<b>120</b>



Anhang 1: Höhenprofil in der Länge (oben) und der Breite (unten) (LBEG o. J.a, verändert).



Anhang 2: Weltklimate nach Köppen-Geiger (KOTTEK et al. 2006, verändert).



Hauptklimate

A: Tropisch  
 B: Arid  
 C: Warmgemäßigt  
 D: Schnee  
 E: Polar

Niederschlag

w: Wüste  
 s: Steppe  
 f: Voll humid  
 s: Sommertrocken  
 w: Wintertrocken  
 m: Monsoonal

Temperatur

h: Heiß arid  
 k: Kalt arid  
 a: Heißer Sommer  
 b: Warmer Sommer  
 c: Kalter Sommer  
 d: Extrem kontinental  
 F: Polarfrost  
 T: Polare Tundra

**Anhang 3: Frosttage ( $T_{\text{Min}} \leq 0 \text{ °C}$ ): vieljährige Mittelwerte von 1971 bis 2000 und darunter in Rot von 1991 bis 2020 der Station Doerpen (52° 57' 07" 19') (DWD 2022, verändert)**

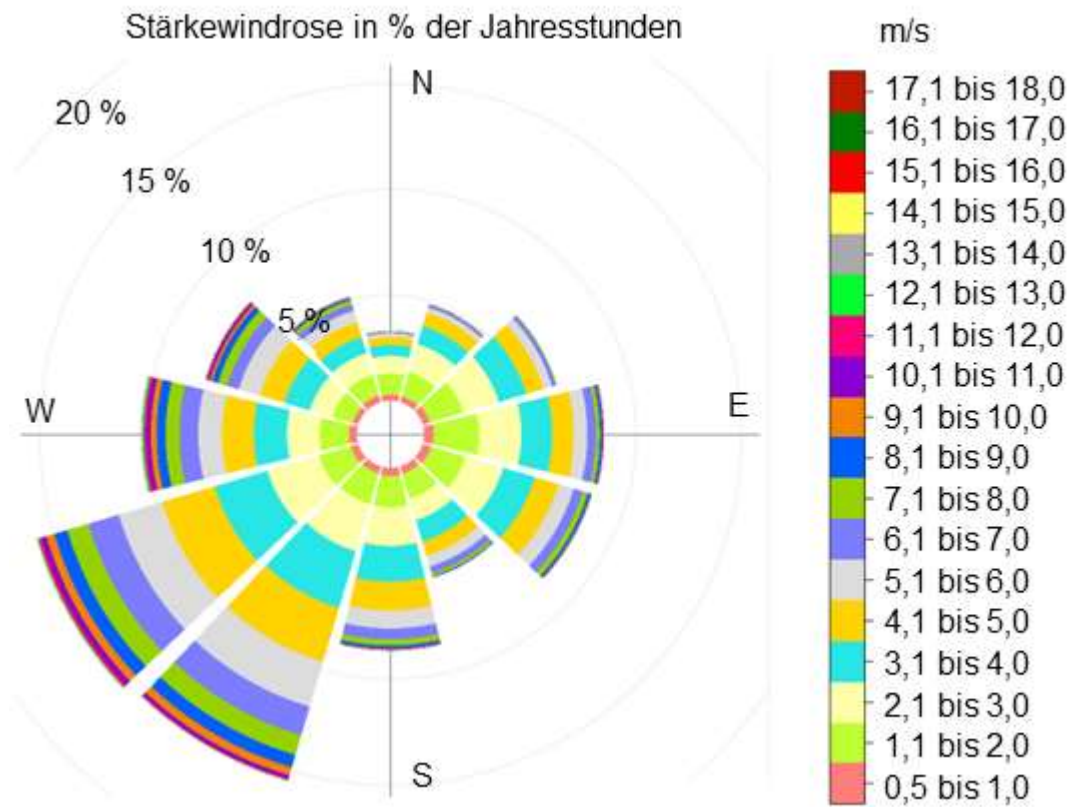
Jan.	Feb.	Mär.	Apr.	Mai	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dez.	$\Sigma$
13,3	13,6	9,0	4,6	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	6,2	11,9	61,8
12,2	11,9	7,9	3,2	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	1,6	4,6	10,9	53,8

**Anhang 4: Niederschlag (mm): vieljährige Mittelwerte von 1971 bis 2000 und darunter in Rot von 1991 bis 2020 der Station Friesoythe-Altenoythe (53° 04' 07" 54') (verändert nach DWD 2022)**

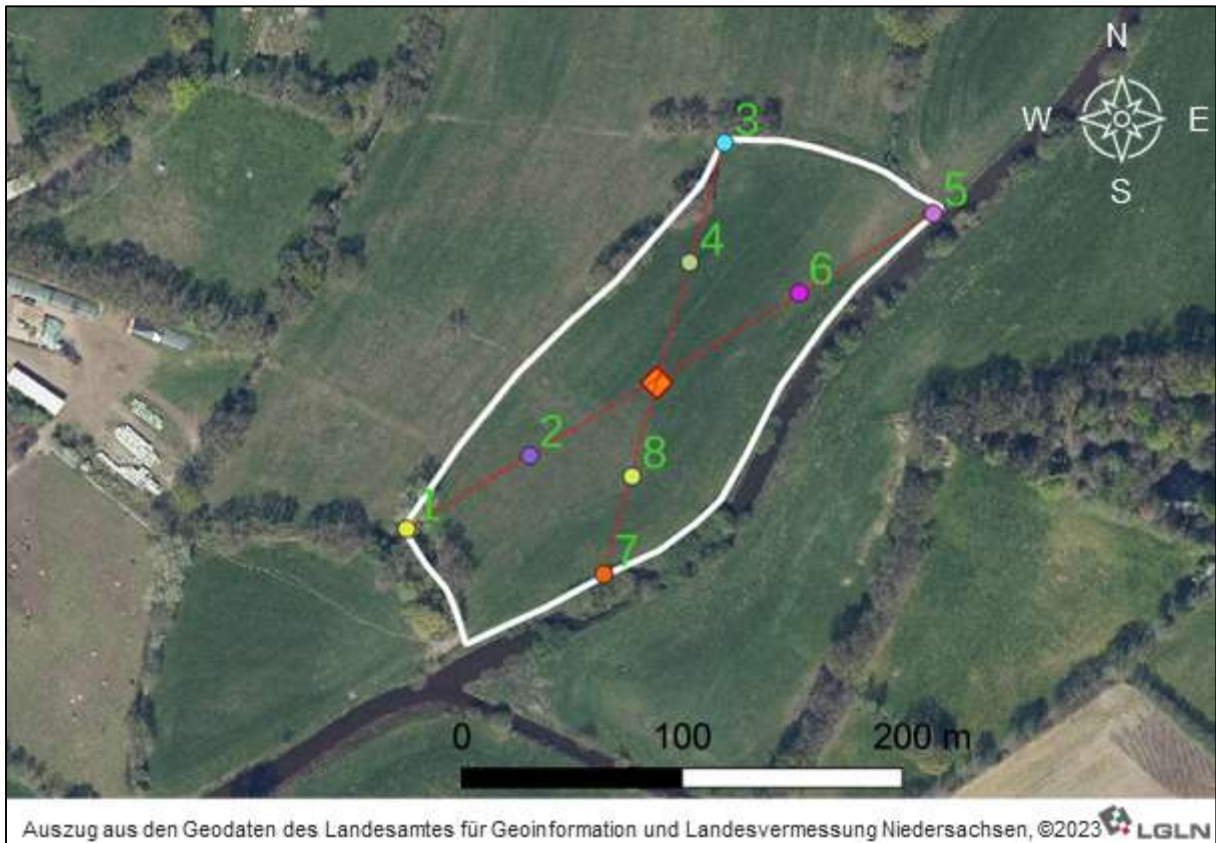
Jan.	Feb.	Mär.	Apr.	Mai	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dez.	$\Sigma$
67,7	43,5	61,6	44,0	55,3	76,6	72,0	66,0	69,5	61,1	66,6	71,5	755,6
69,0	54,0	54,0	42,0	55,0	70,0	84,0	77,0	70,0	63,0	65,0	75,0	778,0

**Anhang 5: Sonnenscheindauer (h): vieljährige Mittelwerte von 1971 bis 2000 und darunter in Rot von 1991 bis 2020 der Station Friesoythe-Altenoythe (53° 04' 07" 54') (verändert nach DWD 2022)**

Jan.	Feb.	Mär.	Apr.	Mai	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dez.	$\Sigma$
38,1	64,1	102,3	154,3	202,3	182,1	188,0	193,7	131,9	94,9	47,6	29,7	1428,9
47,0	70,0	123,0	181,0	214,0	201,0	214,0	197,0	146,0	104,0	52,0	41,0	1590,0



**Anhang 6: Windrose für die Station Friesoythe-Altenoythe im Zeitraum 2013 bis 2020 (DWD CDC 2023, verändert).**



**Anhang 7: Bodenbeprobungsorte. Orangeses Quadrat = Bodenprofil, Zahlen 1 bis 8 = Bohrstockbeprobungen (LGLN o. J.a, verändert).**

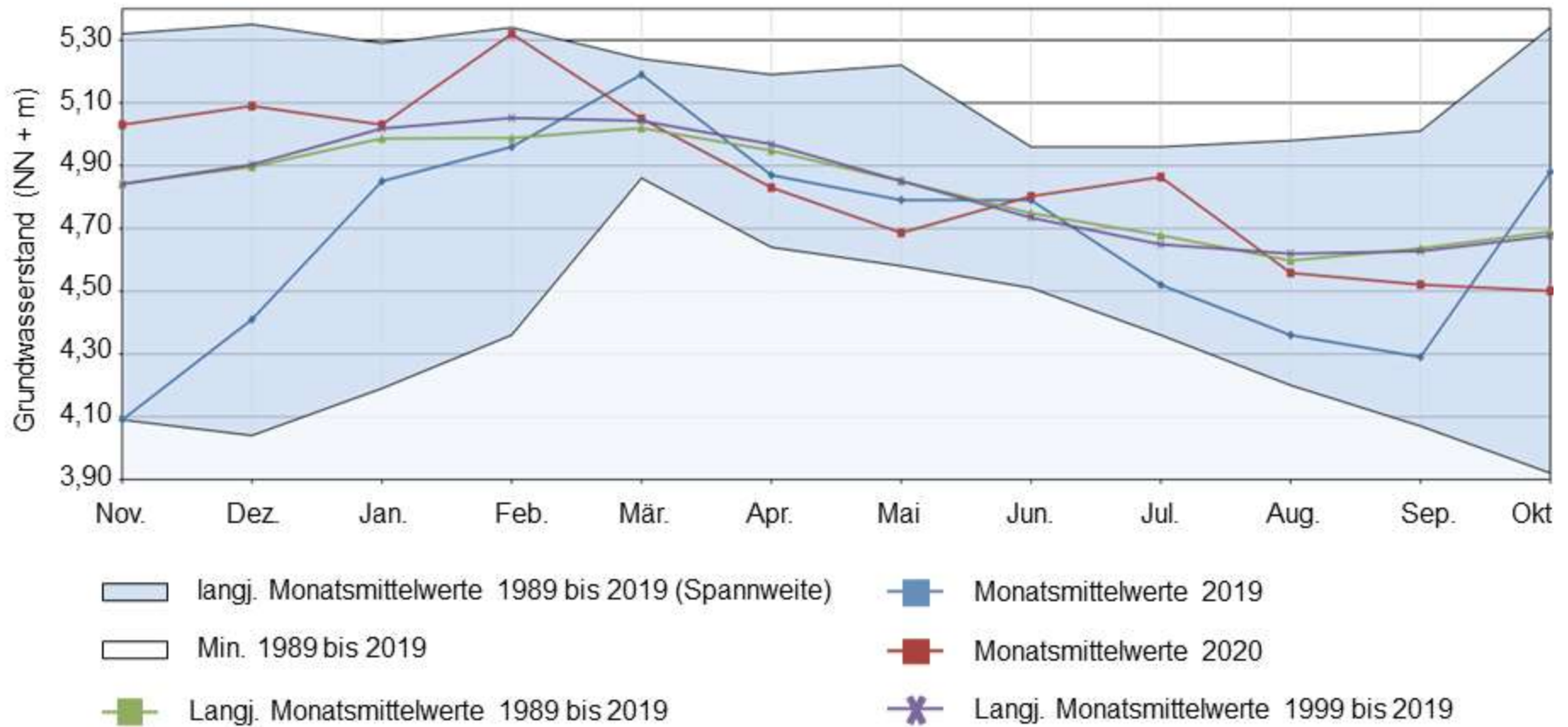


### Anhang 8: Bohrstockproben mit Horizont und Tiefe im Vergleich zum Bodenprofil

Bodenprofil		Beprobung 1		Beprobung 2		Beprobung 3		Beprobung 4		Beprobung 5		Beprobung 6		Beprobung 7		Beprobung 8									
Symbole	Tiefe	Symbole	Tiefe	Symbole	Tiefe	Symbole	Tiefe	Symbole	Tiefe	Symbole	Tiefe	Symbole	Tiefe	Symbole	Tiefe	Symbole	Tiefe								
rAp1	0-7	Ah	0-23	Ah	0-23	Ah	0-23	Ah1	0-10	yM	0-70	Ah	0-29	yM	0-77	Ah1	0-12								
Go-rAp2	7-23							Ah2	10-33							Ah	12-21								
Gor	23-33							Gor	33-46							Gor	21-30								
sw-Gro	33-58	Go	23-90	Go	23-75	Go	23-90	Gro	46-90			Go	43-80			Gro	30-86								
II sd-Go	58-80																	Gor	75-90	II iIC	70-90	Gor	80-90	II Gor	77-90
Gor	80-90																								
Gro	90-110																								
Gor	110-141																								
III Gr	141																								

## Anhang 9: Physikalische Eigenschaften des Bodenprofils

Nr.	Horizont-bezeichnung	Tiefe (cm)	TRD (g/cm <sup>3</sup> )	TRD Bewertung, Kurzzeichen	LK (%)	Einstufung LK	nFKWe bis 9 dm	kapillarer Aufstieg (mm) in Vegetationszeit (158 Tage, 8.5 bis 18.10)	Pflanzenverfügbares Bodenwasser in mm	kf (cm/d)	kf Bewertung, Kurzzeichen
1	rAp1	0-7	1,38	gering, pt2	23	hoch, LK 4	16,8	-	$\Sigma 529,3$	174	sehr hoch, kf5
2	Go-rAp2	7-23	1,38	gering, pt2	20	hoch, LK 4	36,8	-	-	174	sehr hoch, kf5
3	Gor	23-33	1,54	mittel, pt 3	21	hoch, LK 4	18	-	-	127	sehr hoch, kf5
4	Sw-Gro	33-58	1,64	hoch, pt4	15	hoch, LK 4	42,5	-	-	66	hoch, kf4
5	II Sd-Go	58-80	1,56	mittel, pt 3	12	mittel, LK 3	39,6	-	-	42	hoch, kf4
6	Gor	80-90	1,69	hoch, pt4	15	hoch, LK 4	17	$\Sigma 358,6$	-	66	hoch, kf4
7	Gro	90-110	1,73	hoch, pt4	15	hoch, LK 4	$\Sigma 170,7$	-	-	66	hoch, kf4
8	Gor	110-141	1,73	hoch, pt4	27	sehr hoch, LK 5	hoch	-	-	230	sehr hoch, kf5
9	III Gr	141	1,73	hoch, pt4	6	mittel, LK 3	-	-	-	6	gering, kf 1



Anhang 10: Grundwasserstände: Vergleich langjähriger und aktueller Monatsmittelwerte (Bezug NN) für die Grundwassermessstelle Osterscheps (alt) (NLWKN 2021, verändert).



**Anhang 11: Einteilung der Fläche nach Feuchtigkeit. Orange = trockenerer Bereich, blau = feuchterer Bereich (LGLN o. J., verändert).**

## Anhang 12: Chemische Eigenschaften des Bodenprofils

Nr.	Horizont- bezeichnung	Tiefe (cm)	pH- Wert	pH-Wert, Bewertung, Kurzzeichen	Humusgehalt (%)	Humusgehalt Bewertung, Bezeichnung	$\Sigma KAK_{eff}$ (cmol <sub>c</sub> /kg)	$\Sigma KAK_{eff}$ Bewertung	BS-Wert Bewertung Kurzzeichen
1	rAp1	0-7	4,9	mäßig sauer, s3	7,3	stark humos, h4	7,84	gering	basenreich, BS4
2	Go-rAp2	7-23	4,9	mäßig sauer, s3	3,1	mittel humos, h3	4,48	gering	basenreich, BS4
3	Gor	23-33	5,4	schwach sauer, s2	0,5	sehr schwach humos, h1	2,4	sehr gering	basenreich, BS4
4	Sw-Gro	33-58	5,7	schwach sauer, s2	0,3	sehr schwach humos, h1	2,36	sehr gering	basenreich, BS4
5	II Sd-Go	58-80	6,2	sehr schwach sauer, s1	0,2	sehr schwach humos, h1	9,20	sehr gering	sehr basenreich, BS5
6	Gor	80-90	6,4	sehr schwach sauer, s1	0,0	humusfrei, h0	2	sehr gering	sehr basenreich, BS5
7	Gro	90-110	6,4	sehr schwach sauer, s1	0,1	sehr schwach humos, h1	2,12	sehr gering	sehr basenreich, BS5
8	Gor	110-141	6,3	sehr schwach sauer, s1	0,0	humusfrei, h0	2	sehr gering	sehr basenreich, BS5
9	III Gr	141	5,2	mäßig sauer, s3	1,9	schwach humos, h2	16,52	sehr gering	basenreich, BS4

### Anhang 13: Aufnahme der Gehölze unmittelbar entlang des Weiderands

Nr.	Gruppe	Art	Durchmesser	Höhe	Zustand	Sonstiges
1	1	Acer platanoides	20	6	0	loK, BmN, kÄ
2	1	Acer platanoides	12	6	-	BmC, gC, vB, wB
3	1	Acer platanoides	15	6	-	BmC, gC, wB
4	1	Acer platanoides	7	4	-	treibt neu aus, aÄ
5	1	Acer platanoides	15	6	-	BmN, vB, loK
6	1	Acer platanoides	2 x 10	7	-	BmN, vB
7	1	Acer platanoides	15	8	-	vB, BmN, gC
8	1	Acer platanoides	5	4	--	wB, treibt neu aus
9	1	Acer platanoides	3 x 10	6	--	Tot
10	1	Acer platanoides	2 x 10	6	--	wB, aÄ, treibt neu aus
11	1	Acer platanoides	2 x 8	5	--	vB, Früchte, kÄ
12	1	Acer platanoides	10	5	--	Tot
13	1	Acer pseudoplatanus	40	13	0	vB, BmN, kÄ
14	1	Acer pseudoplatanus	2 x 25	17	0	BmN, aÄ
15	1	Acer pseudoplatanus	13,5	10	0	BmN, vB, kÄ
16	1	Acer pseudoplatanus	1	1	0	vB, BmN
17	1	Acer pseudoplatanus	30,5	10	-	KÄ, BmN, VB
18	1	Acer pseudoplatanus	32	11	-	KÄ, vB, BmN, kF
19	1	Acer pseudoplatanus	26	12	-	vB, kÄ, aÄ, BmN
20	1	Acer pseudoplatanus	2 x 25	15	-	vB, BmN, kÄ, aÄ
21	1	Acer pseudoplatanus	6	5	-	vB, BmN, kÄ

Abkürzungen: „2 x“ = zwei Stämme, usw., „++“ = sehr gut, „+“ = gut, „0“ = mittelmäßig, „-“ = schlecht, „--“ = sehr schlecht  
 „KÄ“ = kahle Stämme, „AÄ“ = Abgestorbene Äste, „BmN“ = Blätter mit Nekrosen, „gC“ = gelbe Chlorosen, „rC“ = rote Chlorosen,  
 „AB“ = Abgefressene Blätter, „wB“ = wenige Blätter, „loK“ = leicht offene Krone, „F“ = Früchte (klein, trocken),  
 „VB“ = vertrocknete Blätter, „tna“ = treibt neu aus.

Nr.	Gruppe	Art	Durchmesser	Höhe	Zustand	Sonstiges
22	1	Quercus robur	65	16	+	aÄ, BmC, BmN, kÄ
23	1	Acer pseudoplatanus	1	1	0	vB, BmN
20	1	Acer pseudoplatanus	1	1,5	-	vB, BmN, aB, wB
25	1	Acer pseudoplatanus	1	1,5	-	BmN, wB, kÄ, aB
26	1	Quercus robur	80	15	+	aÄ, BmN
27	1	Sambucus nigra	5	5	-	wB, kÄ, vB, BmC, kF
28	1	Sambucus nigra	3	4	-	kÄ, wB, vB, kF
29	1	Prunus padus	8	5	0	AB, KÄ, rC
30	1	Sambucus nigra	8	5	-	kÄ, wB
31	1	Prunus padus	10	7	--	Abgestorben, vertrocknete Blätter
32	1	Alnus glutinosa	2 x 25	10	++	2S
33	1	Alnus glutinosa	15	7	+	2S
34	1	Alnus glutinosa	25	10	++	
35	1	Sorbus aucuparia	2 x 7	5	++	
36	1	Alnus glutinosa	40	10	+	loK, aÄ
37	1	Rosa canina	2	3	++	
38	1	Acer pseudoplatanus	2	3	+	
39	1	Crataegus monogyna	10	6	++	
40	1	Populus alba	8	6	0	Schräg gewachsen
41	1	Corylus avellana	5	4	++	
42	1	Populus alba	70	15	0	loK, gC
43	1	Populus alba	65	15	0	loK
44	2	Acer platanoides	12	6	-	BmC, gC, vB, wB

Abkürzungen: „2 x“ = zwei Stämme, usw., „++“ = sehr gut, „+“ = gut, „0“ = mittelmäßig, „-“ = schlecht, „--“ = sehr schlecht  
 „KÄ“ = kahle Stämme, „AÄ“ = Abgestorbene Äste, „BmN“ = Blätter mit Nekrosen, „gC“ = gelbe Chlorosen, „rC“ = rote Chlorosen,  
 „AB“ = Abgefressene Blätter, „wB“ = wenige Blätter, „loK“ = leicht offene Krone, „F“ = Früchte (klein, trocken),  
 „vB“ = vertrocknete Blätter, „tna“ = treibt neu aus, gelb markiert = soll entnommen werden.

Nr.	Gruppe	Art	Durchmesser	Höhe	Zustand	Sonstiges
45	2	Acer platanoides	5	4	--	wB, treibt neu aus
46	2	Acer platanoides	15	6	-	BmC, gC, wB
47	2	Quercus robur	4	2	0	Häufig abgefressen, weiße Schicht auf den B
48	2	Acer platanoides	3 x 10	6	--	Tot
49	2	Acer platanoides	7	4	-	treibt neu aus, aÄ
50	2	Acer platanoides	20	6	0	loK, BmN, kÄ
51	2	Acer platanoides	2 x 10	6	--	wB, aÄ, treibt neu aus
52	2	Acer platanoides	2 x 8	5	--	vB, Früchte, kÄ
53	2	Sorbus aucuparia	7	4	--	Tot, vB
54	2	Acer platanoides	10	5	--	Tot
55	2	Quercus robur	12	4	0	BmN
56	2	Acer platanoides	15	6	-	BmN, vB, loK
57	2	Quercus robur	15	6	0	B mit weiß, BmC, gC, vB
58	2	Acer pseudoplatanus	8	5	--	vB, wB, kÄ, aÄ
59	2	Acer pseudoplatanus	7	5	--	vB, kÄ, treibt neu aus
60	2	Acer pseudoplatanus	7	6	--	kÄ, tna
61	2	Acer pseudoplatanus	2 x 8	6	--	vB, kÄ, tna
62	2	Acer pseudoplatanus	17	6	--	vB, tna, kÄ, BmN
63	2	Fraxinus excelsior	17	8	++	
64	2	Fraxinus excelsior	8	7	+	BmN, aÄ, kÄ
65	2	Fraxinus excelsior	5, 13	6	++	
66	2	Quercus robur	2 x 12	5	++	
67	2	Acer pseudoplatanus	6	3	-	wB, vB, BmN

Abkürzungen: „2 x“ = zwei Stämme, usw., „++“ = sehr gut, „+“ = gut, „0“ = mittelmäßig, „-“ = schlecht, „--“ = sehr schlecht  
 „KÄ“ = kahle Stämme, „AÄ“ = Abgestorbene Äste, „BmN“ = Blätter mit Nekrosen, „gC“ = gelbe Chlorosen, „rC“ = rote Chlorosen, „AB“ = Abgefressene Blätter, „wB“ = wenige Blätter, „loK“ = leicht offene Krone, „F“ = Früchte (klein, trocken), „vB“ = vertrocknete Blätter, „tna“ = treibt neu aus, gelb markiert = soll entnommen werden.



Nr.	Gruppe	Art	Durchmesser	Höhe	Zustand	Sonstiges
68	2	Rosa canina	1	2	-	wB, kÄ
69	2	Quercus robur	1	1	+	Abgefressen
70	2	Quercus robur	4	3	+	Angefressen
71	2	Acer pseudoplatanus	10	4	--	vB, aÄ
72	2	Quercus robur	6	4	0	BmC, gC
73	2	Acer pseudoplatanus	8	5	--	BmN, vB, kÄ
74	2	Quercus robur	3	3	0	BmN, BmC, gC
75	2	Acer pseudoplatanus	11	7	--	tna, kÄ, aÄ
76	2	Quercus robur	5	4	0	BmN, vB
77	2	Quercus robur	3	4	0	weiße Blätter, vB, BmN
78	2	Acer platanoides	2 x 10	7	-	BmN, vB
79	2	Acer platanoides	15	8	-	vB, BmN, gC
80	2	Quercus robur	7	5	0	BmN, vB
81	2	Quercus robur	20	7	0	vB, BmN
82	2	Quercus robur	1	2	-	vB
83	2	Rubus fruticosus	1	1,5	0	vB
84	2	Acer pseudoplatanus	20, 8, 8, 6	6	--	Stamm rissig, vB, kÄ, aÄ, BmN
85	3	Quercus robur	110	17	++	
86	3	Alnus glutinosa	30, 20, 10	10	+	Spitze abgestorben
87	3	Quercus robur	100	18	+	vB
88	3	Quercus robur	90	17	0	BmC, Pilzbefall, gC
89	3	Rubus fruticosus	1	1	-	vÄ, kÄ
90	3	Alnus glutinosa	27	9	++	

Abkürzungen: „2 x“ = zwei Stämme, usw., „++“ = sehr gut, „+“ = gut, „0“ = mittelmäßig, „-“ = schlecht, „--“ = sehr schlecht  
 „kÄ“ = kahle Stämme, „aÄ“ = Abgestorbene Äste, „BmN“ = Blätter mit Nekrosen, „gC“ = gelbe Chlorosen, „rC“ = rote Chlorosen,  
 „AB“ = Abgefressene Blätter, „wB“ = wenige Blätter, „lok“ = leicht offene Krone, „F“ = Früchte (klein, trocken),  
 „vB“ = vertrocknete Blätter, „tna“ = treibt neu aus, gelb markiert = soll entnommen werden.

Abkürzungen: „2 x“ = zwei Stämme, usw., „++“ = sehr gut, „+“ = gut, „0“ = mittelmäßig, „-“ = schlecht, „--“ = sehr schlecht

Nr.	Gruppe	Art	Durchmesser	Höhe	Zustand	Sonstiges
91	3	Quercus robur	30	6	+	BmC, gC, BmN
92	3	Quercus robur	50	11	+	vB, gC
93	3	Quercus robur	60	15	+	vB
94	3	Quercus robur	120	16	++	
95	4	Quercus robur	60	14	+	aÄ, vB, gC
96	4	Quercus robur	80	13	+	aÄ, gC
97	4	Crataegus monogyna	7	4	++	
98	4	Quercus robur	80	12	+	gC
99	4	Quercus robur	90	12	++	
100	4	Rosa canina	1	3	++	
101	4	Alnus glutinosa	25	8	+	Alte Spitze abgebrochen
102	4	Rosa canina	1	3	+	kÄ
103	4	Rosa canina	1	2	++	
104	4	Sorbus aucuparia	3 x 15	3	-	aÄ
105	4	Quercus robur	110	15	+	loK, aÄ
106	4	Rosa canina	1	2	++	
107	4	Rosa canina	1	2	++	
108	4	Rosa canina	1	2	++	
109	5	Euonymus europaeus	1	2	+	
110	5	Rubus fruticosus	1	1	++	
111	5	Euonymus europaeus	1	2	++	
112	5	Quercus robur	1	2	0	Angefressen, gC
113	5	Rosa canina	1	2	+	

„KÄ“ = kahle Stämme, „AÄ“ = Abgestorbene Äste, „BmN“ = Blätter mit Nekrosen, „gC“ = gelbe Chlorosen, „rC“ = rote Chlorosen, „AB“ = Abgefressene Blätter, „WB“ = wenige Blätter, „lok“ = leicht offene Krone, „F“ = Früchte (klein, trocken), „VB“ = vertrocknete Blätter, „tna“ = treibt neu aus, gelb markiert = soll entnommen werden.

Nr.	Gruppe	Art	Durchmesser	Höhe	Zustand	Sonstiges
114	5	Salix cinerea	2	3	+	vB
115	5	Rosa canina	1	3	++	
116	5	Euonymus europaeus	5	4	++	
117	5	Rosa canina	2	4	++	
118	5	Euonymus europaeus	1	2	+	Stark angefressen
119	5	Euonymus europaeus	4	2	++	
120	6	Salix cinerea	20 x 1	3	+	gC, Neuaustrieb
121	6	Fraxinus excelsior	2	2	0	BmN, BmC
122	6	Salix cinerea	1	4	++	
123	6	Sambucus nigra	1	1,5	-	BmC
120	6	Salix cinerea	2	4	++	
125	6	Salix cinerea	1	3	++	
126	6	Sambucus nigra	1	1	0	BmC, gC
127	6	Salix cinerea	1	3	++	
128	6	Salix cinerea	1	3	++	
129	6	Rubus armeniacus	1	1	++	
130	6	Salix viminalis	1	4	++	
131	6	Salix cinerea	1	3	++	
132	6	Salix cinerea	1	2	++	
133	6	Salix viminalis	1	2	++	
134	6	Alnus glutinosa	2	2	+	BmN
135	6	Salix cinerea	1	2	++	
136	6	Salix cinerea	1	2	++	

Abkürzungen: „2 x“ = zwei Stämme, usw., „++“ = sehr gut, „+“ = gut, „0“ = mittelmäßig, „-“ = schlecht, „--“ = sehr schlecht  
 „KÄ“ = kahle Stämme, „ÄÄ“ = Abgestorbene Äste, „BmN“ = Blätter mit Nekrosen, „gC“ = gelbe Chlorosen, „rC“ = rote Chlorosen,  
 „AB“ = Abgefressene Blätter, „WB“ = wenige Blätter, „lok“ = leicht offene Krone, „F“ = Früchte (klein, trocken),  
 „VB“ = vertrocknete Blätter, „tna“ = treibt neu aus.

Nr.	Gruppe	Art	Durchmesser	Höhe	Zustand	Sonstiges
137	6	Salix cinerea	1	1,5	++	
138	6	Salix viminalis	5	5	++	
139	6	Salix viminalis	2	2	-	kÄ, tna, vB
140	6	Salix cinerea	1	2	++	
141	6	Salix cinerea	1	2	++	
142	6	Salix cinerea	1	2	+	gC
143	6	Salix cinerea	1	1	+	gC
144	6	Salix cinerea	1	1	+	gC
145	6	Salix cinerea	1	1	++	
146	6	Salix cinerea	1	2	++	
147	6	Salix viminalis	1	2	+	gC
148	6	Salix cinerea	1	1	+	BmN
149	6	Salix cinerea	1	1	++	
150	6	Salix	5	2	--	Tot
151	6	Salix lasiolepis	3	4	+	gC

Abkürzungen: „2 x“ = zwei Stämme, usw., „++“ = sehr gut, „+“ = gut, „0“ = mittelmäßig, „-“ = schlecht, „--“ = sehr schlecht  
 „KÄ“ = kahle Stämme, „AÄ“ = Abgestorbene Äste, „BmN“ = Blätter mit Nekrosen, „gC“ = gelbe Chlorosen, „rC“ = rote Chlorosen,  
 „AB“ = Abgefressene Blätter, „WB“ = wenige Blätter, „lok“ = leicht offene Krone, „F“ = Früchte (klein, trocken),  
 „VB“ = vertrocknete Blätter, „tna“ = treibt neu aus.



Anhang 14: Gehölzarten am Rand der Weide. Die Größe des Symbols für die Gehölzart ist proportional zur Gehölzhöhe (LGLN o. J., verändert).

### Anhang 15: Auswirkungen des und Erfahrung mit dem Klimawandel sowie Bedingungen zur Bewirtschaftung und Fütterung

Nr.	a) Erwartete Auswirkungen des Klimawandels	b) Bisherige Erfahrungen mit dem Klimawandel im Betrieb	c) Bewirtschaftung des Betriebs	d) Betriebsspezifische Fütterung pro Kuh
1	Zunehmender Hitzestress für Milchkühe	Hitzegestresste Milchkühe	Summierte Arbeitskraft von 4,7	17,2 kg TM
2	Trockene Böden	Milchkühe suchen an heißen Tagen vor allem Schattenplätze auf	Ernte mit eigenen Maschinen und Lohnunternehmer	110,5 MJ
3	Ertragsausfälle im Futterbau	Dürre im Jahr 2018 sorgte für Futterknappheit, allgemeine Futterknappheit in den letzten 5 Jahren	Beweidung der Hofnahen Weiden	2,388 kg RP

## Anhang 16: Verwendete Literatur zur Erstellung der Gestaltungsentwürfe

Nr.	Titel	Autoren/Herausgeber
1	Anbau und Nutzung von Bäumen auf landwirtschaftlichen Flächen	REEG et al. (2009)
2	Agroforestry in Europe. Advances in Agroforestry	RIGUEIRO-RODRÍGUEZ et al. (2009)
3	Silvopasture – A guide to managing grazing animals, forage crops, and trees in a temperate farm ecosystem.	GABRIEL (2018)
4	Temperate Agroforestry Systems – 2nd Edition	GORDON et al. (2018a)
5	Agroforestry and Ecosystemservices	UDAWATTA et JOSE (2022)
6	Moderne Agroforstsysteme mit Werthölzern	BENDER et al. (2009)
7	Agroforst-Systeme zur Wertholzerzeugung	SCHULZ et al. (2020)
8	Wertholz-Produktion in Agroforst-Systemen	MORHART et al. (2015)
9	Pasture production in a silvopastoral system in relation with microclimate variables in the atlantic coast of Spain	SILVA-PANDO et al. (2002)
10	Agroforestry system design	NEWMAN (2019)
11	Root extension of young wide-spaced Prunus avium trees	DUPRAZ et al. (1995) zitiert nach DUPRAZ et al. (2018)
12	How the structure and form of vegetation in a black locust (Robinia pseudoacacia L.) silvopastoral system influences tree growth, forage mass and its nutrient content	PAPACHRISTOU, T. G. et al. (2020)
13	Planning an agroforestry project. AGFORWARD, 04 best practice leaflets	VAN LERBERGHE (2017)
14	Ecological considerations in sustainable silvopasture design and management	JOSE et al. (2019)
15	Effects of windbreak structure on wind flow	HEISLER et DEWALLE (1988)
16	Wind speed reductions as influenced by woody hedgerows grown for biomass in short rotation alley cropping systems in Germany	BÖHM et al. (2014)

17	HECKEN – Geschichte und Ökologie. Anlage, Erhaltung & Nutzung.	KURZ et al. (2001)
18	Landschaftselemente in der Agrarstruktur. Entstehung, Neuanlage und Erhalt	DVL (2006)





Anhang 17: Erster Gestaltungsentwurf (LGLN o. J., verändert)

### Anhang 18: Berechnung der Mindestabstände

Maschine	Arbeitsbreite in m	Schwadbreite pro 2 Fahrten in m	Sicherheitsabstand zu je einem Gehölzstreifen in m	Sicherheitsabstand zwischen zwei Streifen
Rotorschwader	6,7	1,3	0,8	1,6

Durchfahrten	2	3	4	5
Mindestbreite in m	16,3	23	31	37,7

## Anhang 19: Verwendete Literatur zur Wertholzauswahl

Nr.	Titel	Autoren/Herausgeber
1	Moderne Agroforstsysteme mit Werthölzern	BENDER et al. (2009)
2	Agroforst-Systeme zur Wertholzerzeugung	SCHULZ et al. (2020)
3	Wertholz-Produktion in Agroforst-Systemen	MORHART et al. (2015)
4	Leitfaden zur Ästung von Edellaubbaumarten	SPRINGMANN et al. (2015)
5	Waldbau auf ökologischer Grundlage	BARTSCH et al. (2020)
6	Standortansprüche der wichtigsten Waldbaumarten	OTTO et NOACK (2020)
7	Naturnaher Wasserbau. Entwicklung und Gestaltung von Fließgewässern	PATT et al. (2011)
8	Bäume von A-Z	PIRC (2012)
9	Flora der Gehölze	ROLOFF et BÄRTELS (2014)
10	HECKEN – Geschichte und Ökologie. Anlage, Erhaltung & Nutzung.	KURZ et al. (2001)
11	Acer pseudoplatanus	SCHMIDT et ROLOFF (2014)
12	Überflutungstoleranz des Bergahorns – ein Überblick zum derzeitigen Kenntnisstand	MACHER (2009)
13	Alnus glutinosa	PIETZARKA et ROLOFF (2014)
14	Quercus robur	AAS (2014b)
15	Vogelkirsche (Prunus avium L.)	BAUM DES JAHRES E.V. (2010)
16	Prunus avium	SCHMID (2014)
17	Quercus petraea	AAS (2014a)
18	Traubeneiche (Quercus petraea L.)	BAUM DES JAHRES E.V. (2014)
19	Der Speierling	KAUSCH-BLECKEN VON SCHMELING (2000)
20	Sorbus domestica	PIETZARKA et al. (2014)

## Anhang 20: Verwendete Literatur zur Futterlaubgehölzauswahl

Nr.	Titel	Autoren/Herausgeber
1	Gehölzfutter – eine neue Quelle für die ökologische Tierernährung	RAHMANN (2004)
2	Evaluation of the feeding value of leaves of woody plants for feeding ruminants in summer	EMILE et al. (2017)
3	Bruns Sortimentskatalog 2022/23	BRUNS (2022)
4	HECKEN – Geschichte und Ökologie. Anlage, Erhaltung & Nutzung.	KURZ et al. (2001)
5	Quercus robur	AAS (2014b)
6	Acer campestre	HÄBERLE (2014)
7	Frangula Alnus Miller	GODWIN (1943)
8	Rhamnus frangula	SCHÜTT et LANG (2014a)
9	Salix fragilis	BARTHA (2014)
10	Sambucus nigra	SCHÜTT et LANG (2014b)

## Anhang 21: Verwendete Literatur zur Auswahl der Heckengehölze

Nr.	Titel	Autoren/Herausgeber
1	Moderne Agroforstsysteme mit Werthölzern	BENDER et al. (2009)
2	Agroforst-Systeme zur Wertholzerzeugung	SCHULZ et al. (2020)
3	Wertholz-Produktion in Agroforst-Systemen	MORHART et al. (2015)
4	Leitfaden zur Ästung von Edellaubbaumarten	SPRINGMANN et al. (2015)
5	Waldbau auf ökologischer Grundlage	BARTSCH et al. (2020)
6	Standortansprüche der wichtigsten Waldbaumarten	OTTO et NOACK (2020)
7	Naturnaher Wasserbau. Entwicklung und Gestaltung von Fließgewässern	PATT et al. (2011)
8	Bäume von A-Z	PIRC (2012)
9	Flora der Gehölze	ROLOFF et BÄRTELS (2014)
10	HECKEN – Geschichte und Ökologie. Anlage, Erhaltung & Nutzung.	KURZ et al. (2001)
11	Acer pseudoplatanus	SCHMIDT et ROLOFF (2014)
12	Überflutungstoleranz des Bergahorns – ein Überblick zum derzeitigen Kenntnisstand	MACHER (2009)
13	Alnus glutinosa	PIETZARKA et ROLOFF (2014)
14	Quercus robur	AAS (2014b)
15	Vogelkirsche (Prunus avium L.)	BAUM DES JAHRES E.V. (2010)
16	Prunus avium	SCHMID (2014)
17	Quercus petraea	AAS (2014a)
18	Traubeneiche (Quercus petraea L.)	BAUM DES JAHRES E.V. (2010)
19	Der Speierling	KAUSCH-BLECKEN VON SCHMELING (2000)
20	Sorbus domestica	PIETZARKA et al. (2014)
21	Gehölzfutter – eine neue Quelle für die ökologische Tierernährung	RAHMANN (2004)
22	Evaluation of the feeding value of leaves of woody plants for feeding ruminants in summer	EMILE et al. (2017)
23	Bruns Sortimentskatalog 2022/23	BRUNS (2022)
24	Acer campestre	HÄBERLE (2014)

25	Frangula Alnus Miller	GODWIN (1943)
26	Rhamnus frangula	SCHÜTT et LANG (2014b)
27	Salix fragilis	BARTHA (2014)
28	Sambucus nigra	SCHÜTT et LANG (2014c)
29	Pyrus Pyraister	WAGNER (2014)
30	Wildbirne – Pyrus Pyraister	BARENGO (2001)
31	Acer campestre	HÄBERLE (2014)
32	Can tree seedlings survive increased flood levels of rivers?	SIEBEL et al. (1998)
33	Betula pendula	ROLOFF et PIETZARKA (2014)
34	Viburnum lantana	SCHÜTT et LANG (2014d)
35	Cornus sanguinea	SCHÜTT et LANG (2014a)
36	Salix fragilis	BARTHA (2014)
37	Carpinus betulus	BORATYNSKI (2014)
38	Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen	ELLENBERG et LEUSCHNER (2010)
39	Laubgehölze	RIVINIUS (2006)
40	NFA-Artengruppen: Pioniere	RUDOW et SCHWAB (2006)
41	Viburnum opulus	SCHÜTT et LANG (2014e)
42	Sorbus aucuparia	MAIER, J. (2014)

## Anhang 22: Zu beschaffende Gehölze für Bepflanzungskonzept 1

Art	Anzahl	Qualität
Prunus avium	23	H, 2 xv, mB, StU 6 - 8 cm
Quercus petraea	23	H, 2 xv, mB, StU 6 - 8 cm
Sorbus domestica	21	H, 2 xv, mB, StU 6 - 8 cm
Summe	67	
Alnus glutinosa	27	H, 2 xv, mB, StU 6 - 8 cm
Acer pseudoplatanus	27	H, 2 xv, mB, StU 6 - 8 cm
Quercus robur	27	H, 2 xv, mB, StU 6 - 8 cm
Summe	81	
<b>Summe Gehölze zur Wertholzproduktion</b>	<b>148</b>	
Acer campestre	55	lHei, 1 xv, 60 - 80 cm
Betula pendula	38	lHei, 1 xv, 60 - 80 cm
Pyrus Pyraister	43	lHei, 1 xv, 60 - 80 cm
Summe	136	
Salix fragilis	110	lHei, 1 xv, 60 - 80 cm
Carpinus betulus	123	lHei, 1 xv, 60 - 80 cm
Sorbus aucuparia	109	lHei, 1 xv, 60 - 80 cm
Summe	342	
<b>Summe Gehölze zur Holzproduktion</b>	<b>478</b>	
Morus alba	559	lStr, 3 Tr., 100 - 150 cm
Viburnum lantana	260	lStr, 3 Tr., 100 - 150 cm
Cornus sanguinea	259	lStr, 3 Tr., 100 - 150 cm
Quercus robur	293	lStr, 3 Tr., 100 - 150 cm
Acer campestre	290	lStr, 3 Tr., 100 - 150 cm
Summe	842	
Rhamnus frangula	408	lStr, 3 Tr., 100 - 150 cm
Viburnum opulus	350	lStr, 3 Tr., 100 - 150 cm
Sambucus nigra	389	lStr, 3 Tr., 100 - 150 cm
Salix fragilis	40	lStr, 3 Tr., 100 - 150 cm
Summe	779	
<b>Summe Gehölze Futterlaubproduktion</b>	<b>1621</b>	

## Anhang 23: Zu beschaffende Gehölze für Bepflanzungskonzept 2

Art	Anzahl	Qualität
Prunus avium	46	H, 2 xv, mB, StU 6 - 8 cm
Quercus petraea	45	H, 2 xv, mB, StU 6 - 8 cm
Sorbus domestica	43	H, 2 xv, mB, StU 6 - 8 cm
Summe	134	
Alnus glutinosa	30	H, 2 xv, mB, StU 6 - 8 cm
Acer pseudoplatanus	30	H, 2 xv, mB, StU 6 - 8 cm
Quercus robur	29	H, 2 xv, mB, StU 6 - 8 cm
Summe	89	
<b>Summe Gehölze zur Wertholzproduktion</b>	<b>223</b>	
Acer campestre	55	lHei, 1 xv, 60 - 80 cm
Betula pendula	38	lHei, 1 xv, 60 - 80 cm
Pyrus Pyraeaster	43	lHei, 1 xv, 60 - 80 cm
Summe	136	
Salix fragilis	110	lHei, 1 xv, 60 - 80 cm
Carpinus betulus	123	lHei, 1 xv, 60 - 80 cm
Sorbus aucuparia	109	lHei, 1 xv, 60 - 80 cm
Summe	342	
<b>Summe Gehölze zur Holzproduktion</b>	<b>478</b>	
Morus alba	882	lStr, 3 Tr., 100 - 150 cm
Viburnum lantana	868	lStr, 3 Tr., 100 - 150 cm
Cornus sanguinea	853	lStr, 3 Tr., 100 - 150 cm
Quercus robur	608	lStr, 3 Tr., 100 - 150 cm
Acer campestre	594	lStr, 3 Tr., 100 - 150 cm
Summe	2055	
Rhamnus frangula	458	lStr, 3 Tr., 100 - 150 cm
Viburnum opulus	350	lStr, 3 Tr., 100 - 150 cm
Sambucus nigra	439	lStr, 3 Tr., 100 - 150 cm
Salix fragilis	93	lStr, 3 Tr., 100 - 150 cm
Summe	882	
<b>Summe Gehölze Futterlaubproduktion</b>	<b>2937</b>	



## **Eidesstattliche Erklärung**

Ich erkläre hiermit an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe; die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht. Die Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch noch nicht veröffentlicht.

Edewecht, 09.03.2023

.....

Ort, Datum

.....

Unterschrift