

Loseblatt # 35

UNTERSUCHUNGEN ZUR ERTRAGS- LEISTUNG (LAND EQUIVALENT RATIO) VON AGROFORSTSYSTEMEN

Christian Böhm, Michael Kanzler, Ralf Pecenka



Untersuchungen zur Ertragsleistung (Land Equivalent Ratio) von Agroforstsystemen

Autoren

Christian Böhm, Michael Kanzler, Ralf Pecenka

Anschriften und Kontaktdaten

Dr. Christian Böhm, Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg, Fachgebiet Bodenschutz und Rekultivierung, Konrad-Wachsmann-Allee 6, 03046 Cottbus
e-mail: boehmc@b-tu.de

Michael Kanzler, Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg, Fachgebiet Bodenschutz und Rekultivierung, Konrad-Wachsmann-Allee 6, 03046 Cottbus
e-mail: kanzlmic@b-tu.de

Dr.-Ing. Ralf Pecenka, Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie e.V. (ATB),
Max-Eyth-Allee 100, 14469 Potsdam,
e-mail: rpecenka@atb-potsdam.de

Forschungsprojekt

"Innovationsgruppe AUFWERTEN – Agroforstliche Umweltleistungen für Wertschöpfung und Energie"

Projektlaufzeit: 01.11.2014 bis 31.07.2019

URL: <http://agroforst-info.de/>

Förderung und Förderkennzeichen:

Die Förderung des Projektes erfolgte durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) innerhalb des Rahmenprogramms Forschung für Nachhaltige Entwicklung (FONA)

Förderkennzeichen: 033L129

Die Verantwortung für den Inhalt dieses Loseblattes liegt bei den Autoren.

Cottbus, den 16.12.2020

INHALTSVERZEICHNIS

Abbildungsverzeichnis	2
Tabellenverzeichnis	2
Zusammenfassung	3
1 Einleitung	4
2 Land Equivalent Ratio.....	5
3 Fallbeispiel Agroforstfläche Neu Sacro	5
3.1 Versuchsfläche	5
3.2 Erhebung der Ackerfruchterträge	6
3.3. Erhebung der Holzerträge.....	7
3.3 Ausgewählte Ergebnisse.....	8
3.3.1 Ackerfruchtertrag	8
3.3.2 Gehölzertrag.....	10
3.3.3 Land Equivalent Ratio.....	11
4 Schlussfolgerungen	12
Literatur	13

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Lage der Versuchsfläche () in Brandenburg (links) und Luftbild der Versuchsfläche (rechts) (Quelle Karte: https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Karte_Metropolregion_Berlin-Brandenburg.svg; Quelle des Luftbildes: Google Earth) 5

Abbildung 2: Versuchsdesign mit insgesamt 76 Beprobungsplots zur räumlich differenzierten Erfassung der Erträge von Wintergerste auf der Agroforstfläche bei Neu Sacro sowie auf der hieran angrenzenden Referenzfläche (Quelle des Luftbildes: Google Earth) 6

Abbildung 3: Parzellenmähdrescher bei der Teilernte eines Beprobungsplots..... 7

Abbildung 4: Kornertrag (atro = absolut trocken) auf der Referenzfläche (Ref; n = 12) sowie auf zwei 48 m breiten Ackerfruchtstreifen des Agroforstsystems (n = 8) in Abhängigkeit der Entfernung zum westlich (West) und östlich (Ost) gelegenen Gehölzstreifen 8

Abbildung 5: Kornertrag (atro = absolut trocken) auf der Referenzfläche (Ref; n = 12) sowie auf dem a) westlich gelegenen und dem b) östlich gelegenen 48 m breiten Ackerfruchtstreifen des Agroforstsystems (n = 4) in Abhängigkeit der Entfernung zum jeweils westlich (West) und östlich (Ost) gelegenen Gehölzstreifen 9

Abbildung 6: Strohertrag (erntefrisch) auf der Referenzfläche (Ref; n = 6) sowie auf dem westlich gelegenen 48 m breiten Ackerfruchtstreifen des Agroforstsystems (n = 4) in Abhängigkeit der Entfernung zum jeweils westlich (West) und östlich (Ost) gelegenen Gehölzstreifen 10

Abbildung 7: Verlauf des mittleren, nach Baumreihen differenzierten Holzertes von der Randleihe in Richtung Bestandesinnere; die Untersuchungen fanden an Pappelflächen statt 11

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Jährlicher Durchschnittsertrag der Holzbiomasse (atro = absolut trocken) in Abhängigkeit der Anzahl an Baumreihen je Gehölzstreifen eines Agroforstsystems (AFS) 11

ZUSAMMENFASSUNG

Im Zuge des Forschungsprojektes AUFWERTEN wurden exemplarisch Ertragsuntersuchungen zu Ackerkulturen und Gehölzen in einem südbrandenburgischen Agroforstsystem durchgeführt. Ziel dieser Studien war es, die Datenbasis zur Ertragsleistung von Agroforstsystemen – insbesondere auch hinsichtlich der Untersuchungsregion Südbrandenburg – zu erweitern und mit Blick auf die Innovationsgruppenarbeit eine Wissensgrundlage für diesbezügliche Dialoge mit Landwirtschaftsvertretern zu schaffen.

Das in diesem Loseblatt vorgestellte Fallbeispiel bestätigt die Ergebnisse anderer Untersuchungen bezüglich einer Zunahme der Flächenproduktivität in Agroforstsystemen. Durch eine großflächige Umsetzung der Agroforstwirtschaft könnte folglich auch in Deutschland die Ertragsleistung je Flächeneinheit gesteigert werden. Im vorliegenden Beispiel betrug der mittlere Mehrertrag im Vergleich zum Reinkulturanbau bei der Ackerkultur Wintergerste 8 % und bei den Gehölzen (Pappel) 20 %. Diese Werte wurden zur Berechnung des Land-Äquivalent-Verhältnisses (LER) genutzt, dass für dieses Beispiel 1,1 betrug. Somit wären bei einem Anbau in Reinkulturen insgesamt 1,1 ha erforderlich, um die gleichen Erträge wie in 1,0 ha Agroforstfläche zu erzielen.

1 EINLEITUNG

Durch die agroforstliche Einbindung von Gehölzen in die ackerbauliche Produktion entstehen Wechselwirkungen, die in der Regel auch Einfluss auf den Ertrag der Ackerkulturen haben (Jose et al. 2004). Die Effekte können dabei sowohl nachteilig als auch vorteilhaft für die Ertragsleistung sein. Ertragsminderungen sind vor allem auf Konkurrenzeffekte zwischen Gehölzen und Ackerkulturen zurückzuführen, die vorzugsweise im Grenzbereich dieser Nutzungskomponenten auftreten (Luedeling et al. 2016). Vorteilswirkungen treten mit Blick auf den Ackerkulturertrag insbesondere in Folge eines durch die Gehölze verbesserten Mikroklimas auf (Böhm und Tsonkova 2018). Welche Aspekte dominieren hängt entscheidend von der Ausgestaltung eines Agroforstsystems ab. Wichtige Parameter sind hierbei die Art der angebauten Ackerkultur, die Höhe und Dichte der Agroforstgehölze sowie die Ausrichtung und Anordnung von Gehölzstreifen (Nair 1993).

Bisherige Untersuchungen zur Ertragsleistung in Agroforstsystemen der temperierten Zone zeigen, dass die Gesamtproduktivität einer landwirtschaftlich genutzten Fläche mittels agroforstlicher Nutzung und der hiermit verbundenen bewussten Ausnutzung von Synergien gesteigert werden kann. Beispiele hierfür geben Mølgaard Lehmann et al. (2020) für unterschiedliche Agroforstsysteme in verschiedenen Ländern Mittel- und Osteuropas an. Demnach ist die Produktivität des Gesamtsystems bei Agroforstwirtschaft zwischen 36 und 100 % höher als beim Anbau in Reinkulturen. Tsonkova et al. (2012) berichten von Ertragsstudien zu Agroforstsystemen mit schnellwachsenden Baumarten von Produktivitätssteigerungen bis zu 240 %, verweisen mit Blick auf eine Studie, bei der auf einer Rekultivierungsfläche Luzerne und Robinie in Kombination angebaut wurden, aber auch auf ein 2%iges Ertragsdefizit.

Allgemein ist gerade auf Standorten mit ausreichend hoher Wasserversorgung der positive Einfluss der Bäume auf die Ackerfruchterträge gering bzw. nicht nachweisbar. Jedoch ist auch hier im langjährigen Mittel nicht mit deutlichen Mindererträgen zu rechnen (Swieter et al. 2019). Auch das Alter bzw. die Größe der Bäume ist für die Gesamtproduktivität derartiger Agroforstsysteme ausschlaggebend. Pardon et al. (2018) untersuchten Agroforstsysteme mit Pappeln in Belgien und stellten im Randbereich der Ackerkulturflächen die größten Ertragsdepressionen neben alten Pappelpfeihen fest, wobei insbesondere Sommerkulturen wie Mais und Kartoffeln nachteilig reagierten.

Ein Großteil derartiger, zum Teil schon älterer Ertragsstudien für Mitteleuropa befassen sich mit dem Einfluss von Hecken und Windschutzstreifen auf die Ertragsleistung von Ackerkulturen (z.B. Arzt 1950; King 1970; Pretzsch et al. 1991; Surböck et al. 2005; Röhrich et al. 2010). Derartige Studien, in denen zumeist von positiven Ertragseffekten berichtet wird, können teilweise auch auf Agroforstsysteme übertragen werden. Bei Vergleichen zwischen Erträgen im Einflussbereich von Gehölzstrukturen und jenen auf gehölzfreien Ackerschlägen ist allerdings darauf zu achten, dass die Untersuchungen die gesamte Ackerkulturfläche einbeziehen und – wie z.B. bei Capell (1997) – sich nicht nur auf die gehölznahe Konkurrenzzone beschränken. Ferner fehlt in diesen Studien üblicherweise auch die Betrachtung der Gehölzkomponente, die für die Bewertung der Gesamtproduktivität eines Agroforstsystems unerlässlich ist. Erst durch die Einbeziehung beider Komponenten (Gehölze und Ackerkulturen) können Rückschlüsse zur Gesamtproduktivität einer Agroforstfläche im Vergleich zum Anbau in Reinkulturen gezogen werden (vgl. Abschnitt 2).

Im Zuge des Forschungsprojektes AUFWERTEN wurden exemplarisch Ertragsuntersuchungen zu Ackerkulturen und Gehölzen in einem südbrandenburgischen Agroforstsystem durchgeführt (vgl. Abschnitt 3). Ziel dieser Studien war es, die Datenbasis zur Ertragsleistung von Agroforstsystemen – insbesondere auch hinsichtlich der Untersuchungsregion Südbrandenburg – zu erweitern und mit Blick auf die Innovationsgruppenarbeit eine Wissensgrundlage für diesbezügliche Dialoge mit Landwirtschaftsvertretern zu schaffen.

Für Deutschland gibt es bislang nur eine überschaubare Anzahl an wissenschaftlich fundierten Studien zur Ertragsleistung von modernen Agroforstsystemen. Insofern stellen die in diesem Loseblatt zusammengefassten Ergebnisse einen wichtigen Beitrag zur Wissensgenerierung in diesem Bereich dar. Ungeachtet dessen sind für eine standorts- und agroforstsystemspezifischere Bewertung künftig unbedingt umfassendere Untersuchungen notwendig, die sowohl unterschiedliche Regionen als auch verschiedene Formen der Agroforstwirtschaft berücksichtigen.

2 LAND EQUIVALENT RATIO

Um die Produktivität eines Agroforstsystems mit jener einer Reinkulturfläche zu vergleichen, wird in der Landwirtschaft gemeinhin das Land-Äquivalent-Verhältnis (engl.: Land Equivalent Ratio [LER]) genutzt (Mead und Willey 1980). Dieses Verhältnis beschreibt die relative Landfläche, die für eine Einzelkultur bei einem Anbau in Reinkultur erforderlich ist, um den gleichen Biomasseertrag wie bei einem Mehrfruchtanbau bzw. bei einer agroforstlichen Nutzung zu erzielen. Ist der LER kleiner als 1, so weist der Reinkulturanbau eine höhere Produktivität als das Agroforstsystem auf. Bei Werten größer als 1 ist der agroforstliche Anbau insgesamt produktiver. Bei einem Agroforstsystem mit einer Gehölzart und einer Ackerkulturart würden folglich deren Erträge im Reinkulturanbau jenen im Agroforstsystem gegenübergestellt werden, wobei die Fläche des Agroforstsystems als Bezugsbasis genutzt wird. Allgemein lässt sich der LER entsprechend folgender Formel berechnen:

$$LER = \frac{\text{Ertrag Gehölzkultur auf Agroforstfläche}}{\text{Ertrag Gehölzkultur auf Reinkulturfläche}} + \frac{\text{Ertrag Ackerkultur auf Agroforstfläche}}{\text{Ertrag Ackerkultur auf Reinkulturfläche}}$$

3 FALLBEISPIEL AGROFORSTFLÄCHE NEU SACRO

3.1 Versuchsfläche

Die Untersuchungen zur Ertragsleistung erfolgten auf einer Agroforstfläche bei Neu Sacro, nahe Forst (Lausitz), ca. 25 km östlich von Cottbus (Abb. 1). Das Agroforstsystem wurde 2010 auf einer ca. 40 ha großen, konventionell ackerbaulich genutzten Fläche etabliert und wird durch die Agrar-genossenschaft Forst e.G. bewirtschaftet.

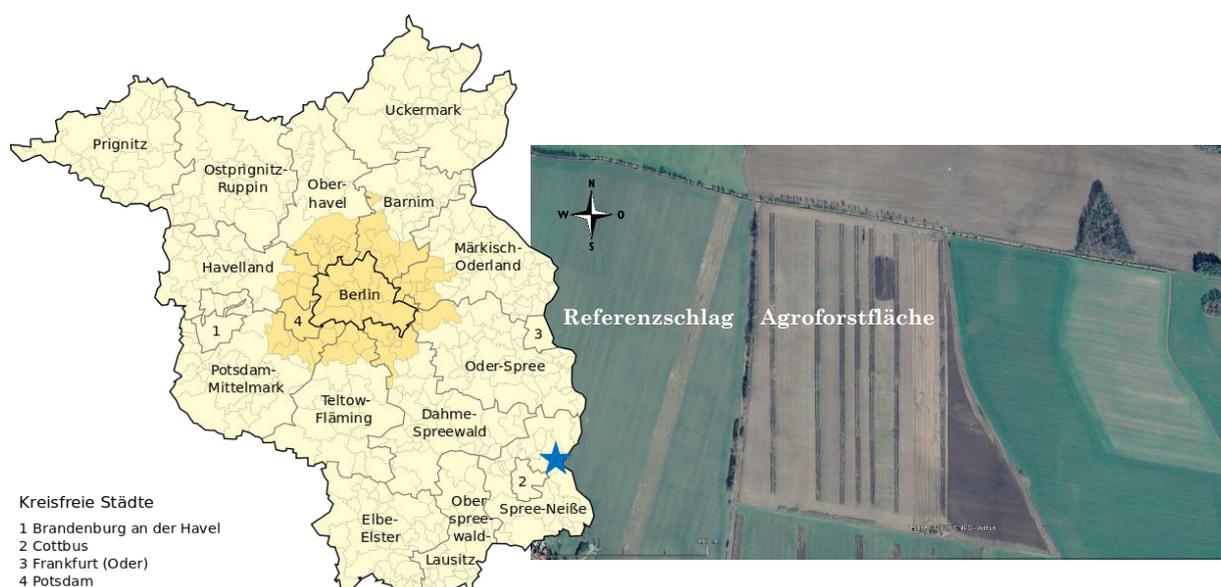


Abbildung 1: Lage der Versuchsfläche (★) in Brandenburg (links) und Luftbild der Versuchsfläche (rechts) (Quelle Karte: https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Karte_Metropolregion_Berlin-Brandenburg.svg; Quelle des Luftbildes: Google Earth)

Der Standort weist eine mittlere Ackerzahl von 45 auf. Das Spektrum der angebauten Ackerfrüchte ist mit Wintergetreide, Silomais, Sonnenblumen, Kartoffeln, Zuckerrüben und Lupine vergleichsweise vielfältig.

Die insgesamt sieben Gehölzstreifen sind Nord-Süd ausgerichtet (Abb. 1), haben eine Länge von jeweils ca. 650 m und bestehen aus vier etwa 160 m langen Abschnitten aus Pappel und Robinie, wobei die Bereiche der letzteren Baumart für die hier vorgestellten Untersuchungen nicht relevant waren. Die Gehölzstreifen setzen sich jeweils aus vier Doppel- oder Einzelreihen zusammen und weisen eine Gesamtbreite von etwa 10 m auf (einschließlich eines ca. 1 m breiten Pufferstreifens an jeder Seite des Gehölzstreifens). Die Pflanzdichte beträgt im Mittel ca. 9.200 Bäume je Hektar Gehölzfläche. Die Bäume werden im Mittel aller vier Jahre geerntet und erreichen in dieser Zeit eine mittlere Höhe von ca. 7 m. Die Abstände zwischen den Gehölzstreifen variieren zwischen 24 m, 48 m und 96 m. Für diese Studie waren jedoch insbesondere die Ackerkulturbereiche mit einer Breite von 48 m relevant. Als Freiflächenreferenz wurde ein benachbarter, identisch bewirtschafteter, aber gehölzfreier Ackerschlag genutzt.

3.2 Erhebung der Ackerfruchterträge

Die in diesem Loseblatt vorgestellten Untersuchungen zur Ertragsleistung der Ackerkulturen erfolgten an Wintergerste, die auf der genannten Agroforstfläche (vgl. Abschnitt 3.1) im Wirtschaftsjahr 2016/2017 angebaut wurde. Ziel war es, mögliche Ertragsdifferenzen sowohl innerhalb des Agroforstsystems als auch zwischen Agroforst- und Referenzfläche zu quantifizieren. Hierfür wurde ein Versuchsdesign gewählt, dass eine räumlich hochaufgelöste Differenzierung der Ackerfruchterträge ermöglicht (Abb. 2).

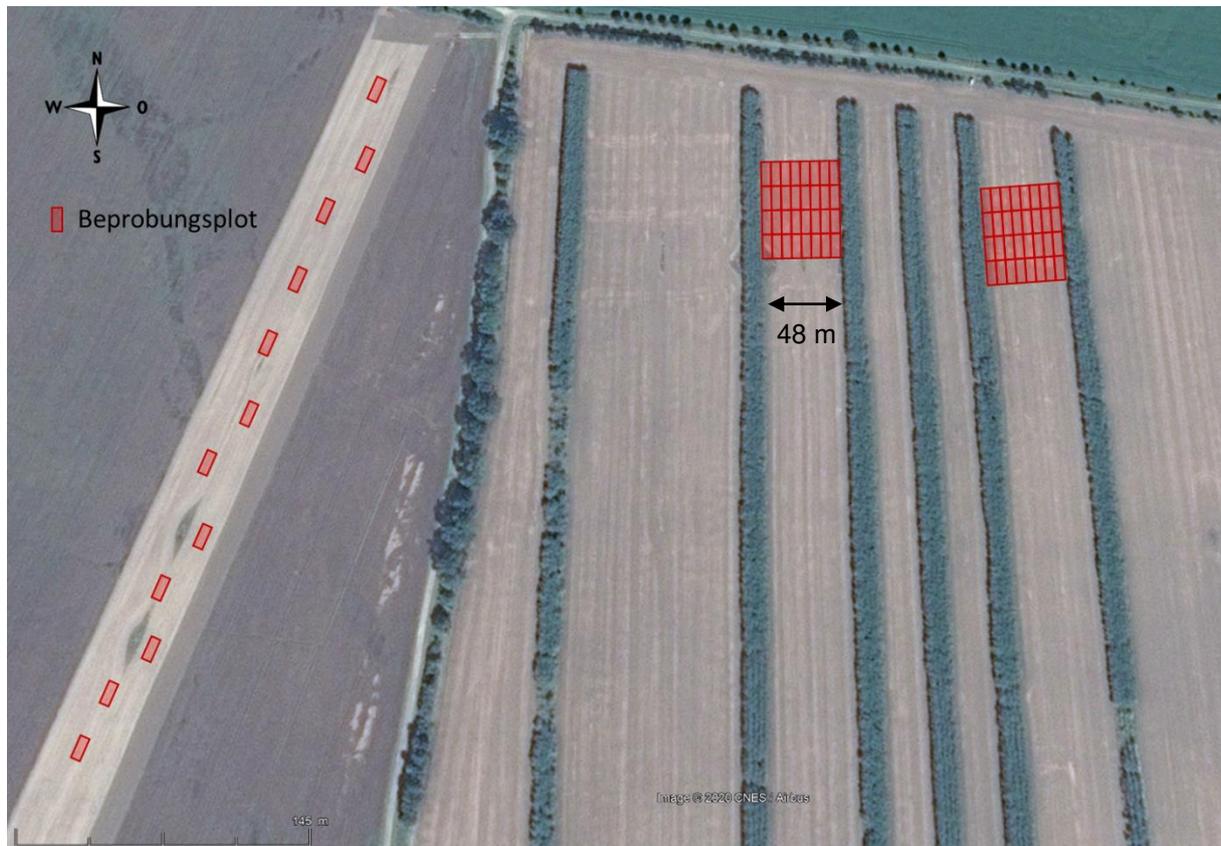


Abbildung 2: Versuchsdesign mit insgesamt 76 Beprobungsplots zur räumlich differenzierten Erfassung der Erträge von Wintergerste auf der Agroforstfläche bei Neu Sacro sowie auf der hieran angrenzenden Referenzfläche (Quelle des Luftbildes: Google Earth)

Auf den beiden 48 m breiten Ackerfruchtstreifen der Agroforstfläche wurden jeweils 32 Beprobungsplots eingerichtet. Jeder Plot hatte eine Breite von 6 m und eine Länge von 10 m. Folglich erstreckten sich sechs nebeneinander angeordnete Plots über die gesamte Breite des Ackerfruchtstreifens. Je Ackerfruchtstreifen wurden vier solcher Transekte eingerichtet. Zusätzlich erfolgte die Markierung von 12 Beprobungsplots auf der Referenzfläche (Abb. 2).

Die Ernte der Wintergerste erfolgte mittels eines Parzellenmähreschers mit einer Arbeitsbreite von 2 m (Abb. 3). In Vorbereitung der Ernte wurden die Beprobungsplots per DGPS eingemessen und markiert. Zwischen den Plots wurde die Wintergerste mittels einer Walze niedergedrückt, so dass die je Plot zurückgelegte Entfernung des Parzellenmähreschers exakt 10 m betrug. Der Parzellenmährescher fuhr jeweils mittig durch den Plot. Der je Plot vom Parzellenmährescher ermittelte Ertragswert basiert auf einer Erntefläche von 20 m² und wurde der gesamten Plotfläche von jeweils 60 m² zugeordnet.

Das Wiegen des Kornes sowie die Entnahme der Teilprobe für die Wassergehaltsbestimmung erfolgte automatisiert durch den Parzellenmährescher. Neben dem Korn wurde auf den Plots des westlich gelegenen 48 m breiten Ackerfruchtstreifens sowie auf jedem zweiten Beprobungsplot der Referenzfläche zusätzlich auch das Gewicht des Strohes ermittelt. Hierfür wurde das Stroh mit Hilfe einer Plane am Parzellenmährescher aufgefangen und anschließend vor Ort mittels einer mobilen Plattformwaage auf 1 g genau gewogen.



Abbildung 3: Parzellenmährescher bei der Teilernte eines Beprobungsplots

3.3. Erhebung der Holzerträge

Die Bestimmung der holzartigen Biomasse erfolgte durch das Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie (ATB). Hierbei wurden neben zwei Gehölzstreifen des Agroforstsystems in Neu Sacro auch weitere Agroforstflächen und Kurzumtriebsplantagen (KUP) mit Pappeln in die Untersuchungen einbezogen, um eine möglichst breite Datenbasis zu erhalten. Insgesamt wurden so die Holzerträge aus 13 Teilflächen (vier Agroforst- und neun KUP-Flächen) ermittelt. Die Bestimmung der Holzerträge erfolgte differenziert nach Baumreihen. Hierfür wurden für jeweils 6

Beprobungsplot pro untersuchtem Schlag die Bäume in der Randreihe sowie in den 3 benachbarten Reihen auf einer Länge von 3 m händisch geerntet, pro Reihe gewogen und unter Berücksichtigung von Umtriebszeit und Wassergehalt die jährlichen Trockenmasseerträge ermittelt. Auf diese Weise konnten mögliche Mehrerträge der Randreihen, die aufgrund des höheren Lichtgenusses besonders raschwüchsig sind, identifiziert und hieraus resultierende potentielle Mehrerträge in Agroforstsystemen quantifiziert werden.

3.3 Ausgewählte Ergebnisse

3.3.1 Ackerfruchtertrag

Auf der Referenzfläche (Ackerschlag ohne Agroforstgehölze) betrug der Median vom Trockenmasse-Kornertrag der Wintergerste $5,7 \text{ t ha}^{-1}$ (entspricht gemäß den durchgeführten Wassergehaltsbestimmungen, nach denen die Trockensubstanz des Korns im Mittel ca. 89 % betrug, $6,4 \text{ t Frischkorngewicht ha}^{-1}$). Dieser Wert liegt etwas oberhalb des brandenburgischen Durchschnittsertrags für Wintergerste im Jahr 2017 von $6,2 \text{ t ha}^{-1}$ (Amt für Statistik Berlin-Brandenburg 2019).

Ein Vergleich der auf der Referenzfläche ermittelten Erntemenge mit jener auf den 48 m breiten Ackerfruchtstreifen der Agroforstfläche zeigt, dass der Trockenmasse-Kornertrag im Agroforstsystem mit $6,2 \text{ t ha}^{-1}$ (Durchschnitt aus Medianwerten der unterschiedlichen Beprobungsentfernungen) um 8 % höher lag (Abb. 4). Hierbei nahmen die Erträge innerhalb des Agroforstsystems mit zunehmender Entfernung von den Gehölzstreifen tendenziell zu. Die größten Ertragsdepressionen wurden am Westrand der Ackerfruchtstreifen, also im Lee-Bereich, festgestellt. Insgesamt zeichnete sich auf den Ackerfruchtstreifen eine typische glockenförmige Ertragskurve ab, die sowohl auf konkurrenzbedingte Ertragsdefizite in den Randbereichen als auch auf synergiebedingte Mehrerträge im Zentrum hinweist.

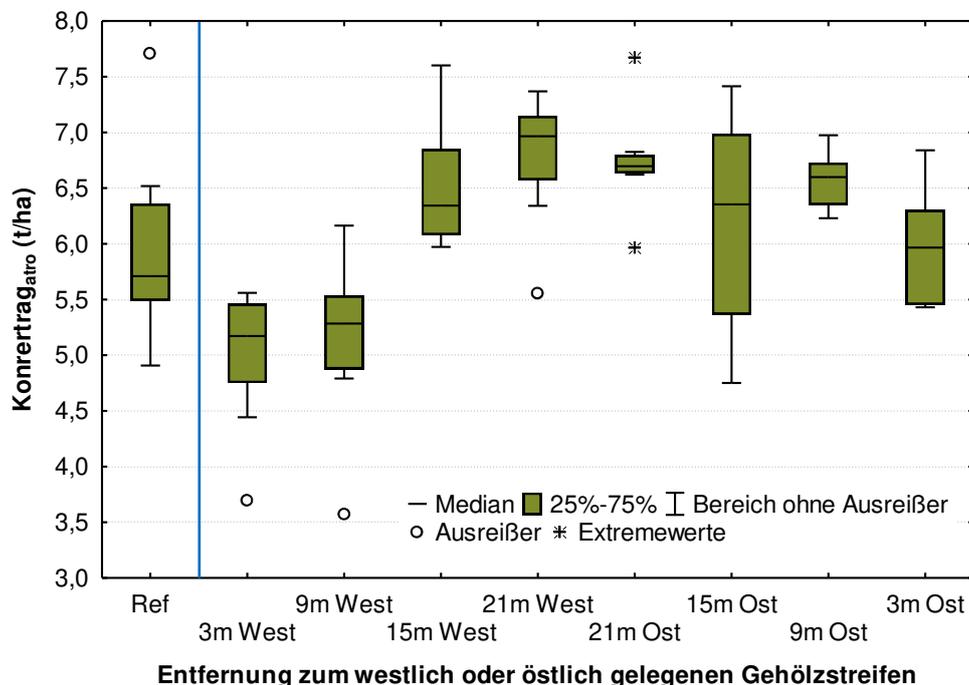


Abbildung 4: Kornertrag (atro = absolut trocken) auf der Referenzfläche (Ref; $n = 12$) sowie auf zwei 48 m breiten Ackerfruchtstreifen des Agroforstsystems ($n = 8$) in Abhängigkeit der Entfernung zum westlich (West) und östlich (Ost) gelegenen Gehölzstreifen

Bei separater Betrachtung der beiden 48 m breiten Ackerfruchtstreifen wird deutlich, dass die positiven Ertrags effekte bei dem östlich gelegenen Streifen stärker ausgeprägt waren (Abb. 5). Während im östlichen Streifen im Mittel knapp 11 % höhere Kornerträge als auf der Referenzfläche ermittelt wurden, waren es bei dem westlichen Streifen lediglich knapp 5 %. Deutlich wird jedoch,

dass der mittlere Ackerfruchtertrag durch die agroforstliche Bewirtschaftung gesteigert und somit der durch die Gehölzflächen verursachte Verlust an Ackerkulturfläche zumindest teilweise kompensiert werden kann. Das sogar eine vollständige Kompensation der Gehölzstreifenfläche möglich ist, zeigten Untersuchungen von Kanzler et al. (2019) und Mirck et al. (2017) bei Winterweizen bzw. Zuckerrübe auf der gleichen Agroforstfläche. Eine vollständige Kompensation der Gehölzfläche wäre ggf. auch bei geringeren Mehrerträgen möglich, wenn schmalere Gehölzstreifen angelegt würden (vgl. Abschnitt 3.3.2). Auf diese Weise könnte die Verringerung der Ackerkulturfläche gemindert und dennoch positive Umweltwirkungen (z.B. Erosionsschutz) generiert werden. Allgemein ist davon auszugehen, dass positive Ertragseffekte vor allem auf Standorten mit Wassermangel auftreten. Wesentlich geringere Erträge sind auf den Ackerkulturbereichen von Agroforstsystemen, wie sie in diesem Loseblatt betrachtet werden, allerdings auch bei Böden mit höherer Wasserspeicherkapazität nicht zu erwarten, was u.a. Untersuchungen aus Thüringen zeigen (Rudolf 2018).

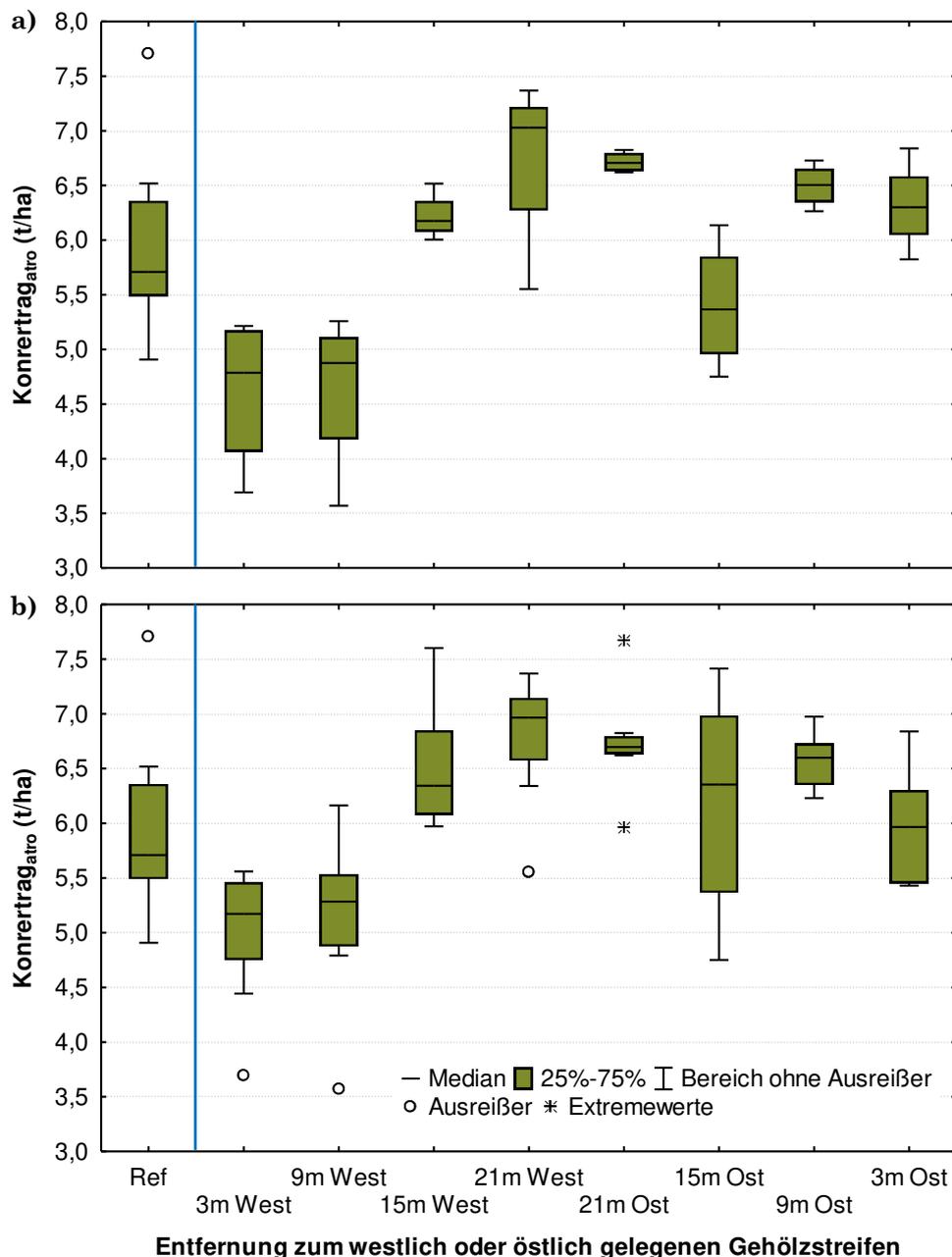


Abbildung 5: Kornertrag (atro = absolut trocken) auf der Referenzfläche (Ref; n = 12) sowie auf dem a) westlich gelegenen und dem b) östlich gelegenen 48 m breiten Ackerfruchtstreifen des Agroforstsystems (n = 4) in Abhängigkeit der Entfernung zum jeweils westlich (West) und östlich (Ost) gelegenen Gehölzstreifen

Im Bereich des westlich gelegenen 48 m breiten Ackerfruchtstreifens wurde neben dem Kornertrag auch die Menge an Stroh bestimmt. Im Gegensatz zum Korn war diese auf der Agroforstfläche mit 3,9 t Frischgewicht ha⁻¹ im Mittel über 4 % geringer als auf der Referenzfläche, wo der Strohertrag 4,1 t ha⁻¹ betrug (Abb. 6). Auch gab es innerhalb des Ackerfruchtstreifens kaum räumliche Unterschiede entlang des Ackerfruchtstreifens. Das Stroh-Korn-Verhältnis betrug sowohl auf der Referenzfläche als auch im Agroforstsystem 1,7. Mit bis zu 2,0 war das Verhältnis insbesondere in der Mitte des Ackerfruchtstreifens entsprechend des hier höheren Kornertrages vergleichsweise hoch. Dies steht in Kontrast zu den Untersuchungen von Rudolf (2018), die in den Randbereichen etwas höhere Verhältnisse als in der Mitte bestimmten. Da in der Studie für dieses Loseblatt jedoch keine Trockengewichte für das Stroh vorliegen, ist eine abschließende Bewertung dieser Werte nicht möglich, da gerade an den Randbereichen aufgrund der hier stärkeren Beschattung allgemein von einem leicht höheren Wassergehalt auszugehen ist.

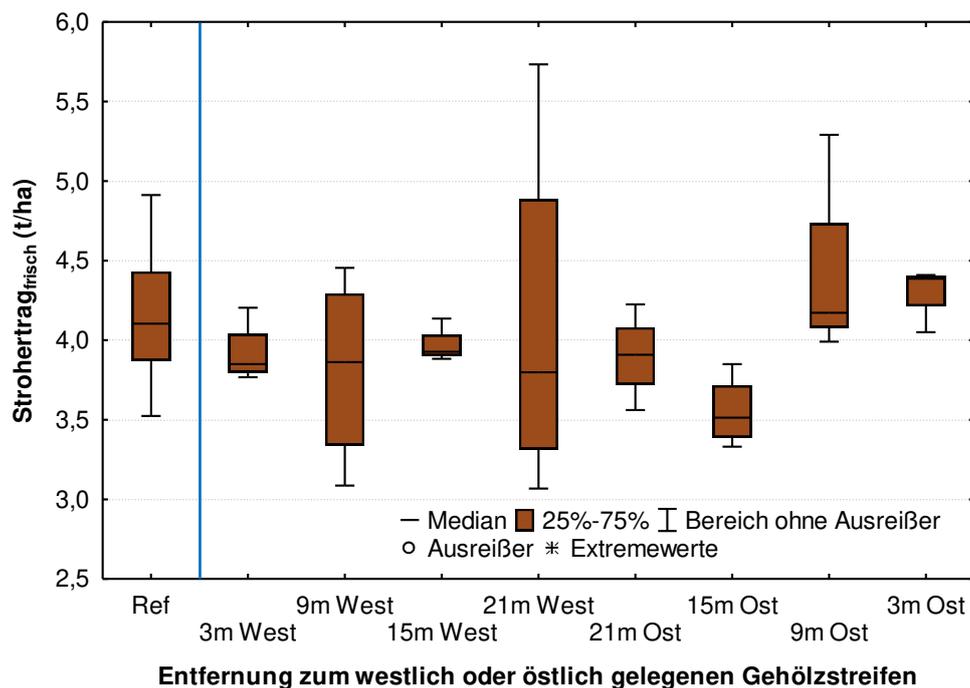


Abbildung 6: Strohertrag (erntefrisch) auf der Referenzfläche (Ref; n = 6) sowie auf dem westlich gelegenen 48 m breiten Ackerfruchtstreifen des Agroforstsystems (n = 4) in Abhängigkeit der Entfernung zum jeweils westlich (West) und östlich (Ost) gelegenen Gehölzstreifen

3.3.2 Gehölzertrag

Im Gegensatz zu Waldbeständen oder Kurzumtriebsplantagen steht den Bäumen in Agroforstsystemen allgemein mehr Licht zur Verfügung. Auch die Konkurrenz zu benachbarten Bäumen ist geringer. Dies gilt bei mehrreihigen Gehölzstreifen insbesondere für die Randbäume. Im Rahmen des Forschungsprojektes AUFWERTEN führte das ATB Untersuchungen zur reihenabhängigen Ertragsleistung in Agroforstsystemen und Kurzumtriebsplantagen durch. Im Schnitt wiesen die Randreihen knapp 43 % höhere Erträge als die im Bestandesinneren befindlichen Reihen auf (Abb. 7).

Die Tabelle 1 zeigt, dass in einem Gehölzstreifen der durchschnittliche, jährliche Holzertrag je Hektar Gehölzfläche mit zunehmender Reihenanzahl abnimmt. Mit Blick auf die Ertragsleistung sind zweireihige Agroforstgehölzstreifen demnach am effizientesten. In Agroforstsystemen mit schmalen Gehölzstreifen, die nur 20 bis 30 m voneinander entfernt sind, lassen sich folglich sehr hohe Zuwachsraten erzielen.

Im Agroforstsystem in Neu Sacro ermittelte das ATB bei den Randreihen einen Mehrertrag zwischen 27 % und 53 % gegenüber den inneren Reihen. Bezogen auf die 4-reihigen Gehölzstreifen dieses Agroforstsystems ergibt sich so im Vergleich zu einer Plantage ein Mehrertrag von 26,5 % bzw. 13,5 %. Im Mittel ist bei den Gehölzen – in diesem Beispiel bei Pappel – somit ein Mehrzuwachs von durchschnittlich 20 % zu unterstellen.

Ob auf beiden Seiten eines mehrreihigen Gehölzstreifens ein stärkerer Holzzuwachs zu verzeichnen ist, hängt auch von der Ausrichtung der Streifen ab. Bei Nord-Süd-Ausrichtung, wie in dem hier beleuchteten Fallbeispiel, sind beidseitig Mehrerträge zu erwarten. Wenn die Streifen in Ost-West-Richtung verlaufen, ist auf der Nordseite – aufgrund des dort geringeren Lichtangebotes – mit geringeren oder keinen Mehrerträgen zu rechnen.

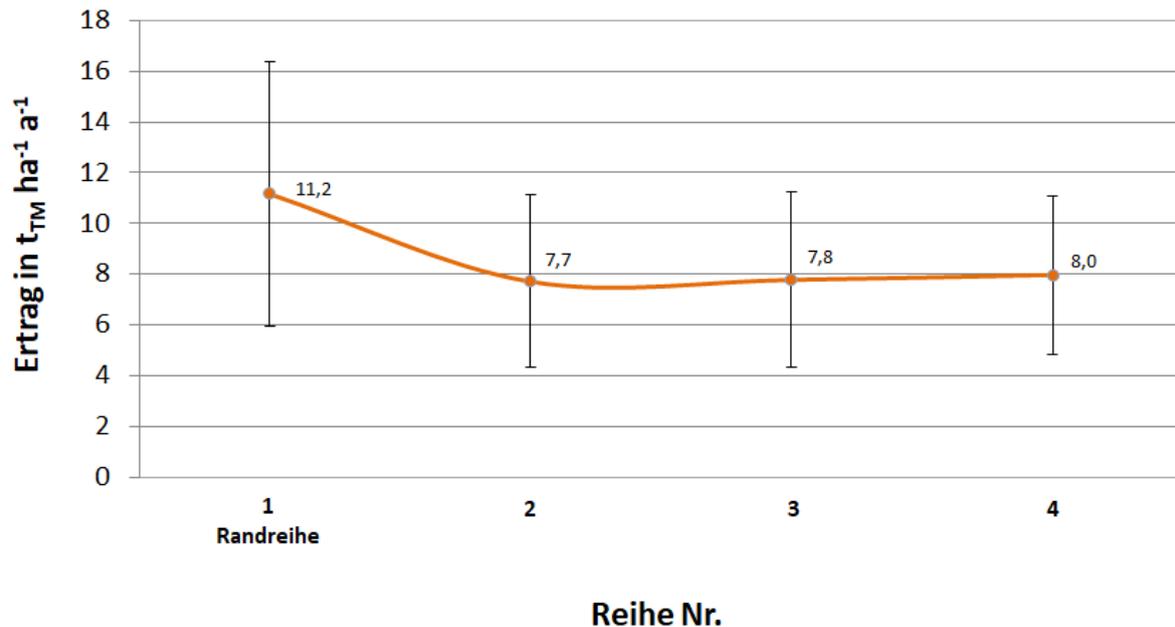


Abbildung 7: Verlauf des mittleren, nach Baumreihen differenzierten Holzertrages von der Randreihe in Richtung Bestandesinnere; die Untersuchungen fanden an Pappelflächen statt

Tabelle 1: Jährlicher Durchschnittsertrag der Holzbiomasse (t_{atro} = absolut trocken) in Abhängigkeit der Anzahl an Baumreihen je Gehölzstreifen eines Agroforstsystems (AFS)

x ... reihiges AFS	Ertrag (Zuwachs) jeweils in $t_{atro} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$								Durchschnittsertrag ($t_{atro} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$)
	Reihe 1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	
2	11,2	11,2							11,2
3	11,2	7,7	11,2						10,0
4	11,2	7,7	7,7	11,2					9,4
5	11,2	7,7	7,9	7,7	11,2				9,1
6	11,2	7,7	7,9	7,9	7,7	11,2			8,9
7	11,2	7,7	7,9	8,0	7,8	7,7	11,2		8,8
8	11,2	7,7	7,9	8,0	8,0	7,8	7,7	11,2	8,7

3.3.3 Land Equivalent Ratio

In Anlehnung an die in Abschnitt 2 angeführte Formel zur Berechnung des Land-Äquivalent-Verhältnisses (LER) und unter Berücksichtigung der in den Abschnitten 3.3.1 und 3.3.2 erläuterten

durchschnittlichen Mehrerträge, ergibt sich für das Fallbeispiel Agroforstfläche Neu Sacro ein LER von reichlich 1,1.

$$LER = \frac{9,4 t_{atro} ha^{-1} a^{-1} * 17 \%}{7,8 t_{atro} ha^{-1} a^{-1} * 100 \%} + \frac{6,2 t_{atro} ha^{-1} a^{-1} * 83 \%}{5,7 t_{atro} ha^{-1} a^{-1} * 100 \%} = 0,2 + 0,9 = 1,1$$

Somit wären bei einem Anbau in Reinkulturen insgesamt 1,1 ha erforderlich, um die gleichen Erträge wie in 1,0 ha Agroforstfläche zu erzielen.

Das Flächenverhältnis zwischen den 10 m breiten Gehölzflächen und 48 m breiten Ackerkulturbeichen beträgt 17 % zu 83 %. Bei der untersuchten Wintergerste lag der Mehrertrag bei ca. 8 % (vgl. Abschnitt 3.3.1). Wird dieser dem Gehölzflächenanteil bzw. dem Anteil der in dem Agroforstsystem verringerten Ackerkulturfläche gegenübergestellt, so ergibt sich ein Defizit von 9 %. Folglich konnten im Agroforstsystem auf 83 % der Fläche 91 % des Reinkultureertrages an Wintergerste produziert werden. Das auf diesem Standort auch eine nahezu vollständige Kompensation der Gehölzfläche möglich ist, zeigen die bereits erwähnten Ergebnisse von Kanzler et al. (2019) und Mirck et al. (2017), auf die auch Böhm (2020) und Weckenbrock et al. (2020) in Bezug zum LER eingehen.

4 SCHLUSSFOLGERUNGEN

Das in diesem Loseblatt vorgestellte Fallbeispiel bestätigt die Ergebnisse anderer Untersuchungen bezüglich einer Zunahme der Flächenproduktivität infolge der agroforstlichen Landnutzung. Durch eine großflächige Umsetzung der Agroforstwirtschaft könnte folglich auch in Deutschland die Ertragsleistung je Flächeneinheit gesteigert werden. Interessant ist ein solches Szenario vor allem auch, weil parallel zur Produktivitätssteigerung häufig ebenfalls ein Mehr an Umweltleistungen (z.B. mit Blick auf Klima-, Boden- und Gewässerschutz, Biodiversität und Landschaftsbild) bereitgestellt werden können (vgl. [Loseblatt # 2](#)). Allerdings gehen Steigerungen der Biomasseproduktion nicht in jedem Fall mit höheren Deckungsbeiträgen einher. Gerade auf Standorten, wo sich durch den Anbau von Ackerkulturen wie Winterweizen oder Zuckerrübe sehr hohe Deckungsbeiträge erzielen lassen, kann es trotz einer leicht gesteigerten Produktivität zu einer Verringerung des monetären Gewinns kommen. Dies ist dann möglich, wenn die Marktpreise für Produkte der Agroforstgehölze deutlich unter jenen der Ackerkulturen liegen und somit die mittels der Gehölze zu erzielende Wertschöpfung nicht ausreicht, um die geringere Ackerkulturfläche wirtschaftlich zu kompensieren. Ferner ist bei der betriebswirtschaftlichen Analyse auch ein Bewirtschaftungs-Mehraufwand einzukalkulieren, der bei Flächenbefahrungen durch die gemeinsame Bewirtschaftung von Gehölz- und Ackerkulturen entsteht und für Agroforstsysteme des in diesem Loseblatt angeführten Fallbeispiels ca. 5 % beträgt. Auf Standorten, wo der Deckungsbeitrag der Agroforstgehölze deutlich geringer als jener der Ackerkulturen ist, kann es zielführend sein, den Gehölzflächenanteil möglichst gering zu halten. Mit Blick auf die Ertragsleistung bei mehrreihigen Gehölzstreifen weisen schmalere Streifen ohnehin eine höhere Ertragsleistung je Flächeneinheit auf. Würden bei dem in Kapitel 3 erläuterten Fallbeispiel nur 2- statt 4-reihige Gehölzstreifen etabliert, so würde sich deren Flächenanteil von 17 % auf 9 % reduzieren. Dies hätte wiederum zur Folge, dass mit dem im Beispiel festgestellten Mehrertrag von 8 % die Gehölzfläche nahezu vollständig kompensiert werden könnte. Bei höheren Mehrerträgen, wie sie auf der Beispielfläche ebenfalls schon festgestellt wurden, wäre so sogar eine Überkompensation der Gehölzfläche möglich. Von einer wesentlichen Verringerung der positiven Mikroklimateffekte ist bei einer Reduzierung der Streifenbreite nicht auszugehen. Um beispielsweise den Windschutz noch weiter zu erhöhen, könnten schmalere Streifen auch in engeren Abständen etabliert werden. In jedem Falle ist eine wohlüberlegte und auf die jeweilige Fläche abgestimmte Planung des Agroforstsystems angeraten.

LITERATUR

- Amt für Statistik Berlin-Brandenburg (Hrsg.) (2019): Statistischer Bericht C II 2 – j / 18
Ernteberichterstattung über Feldfrüchte und Grünland im Land Brandenburg 2018
- Arzt T. (1950): Mikroklimatische Untersuchungen über Windschutz in einem
Kulturpflanzenstand. *Phyton* 2, 157-181
- Böhm C. (2020): Agroforstwirtschaft – Funktioniert das auch in Deutschland? *DLG-Mitteilungen*
8/2020, 78-81
- Böhm C., Tsonkova P. (2018): Effekte des Agrarholzanbaus auf mikroklimatische Kenngrößen. In:
Veste M., Böhm C. (Hrsg.): *Agrarholz – Schnellwachsende Bäume in der Landwirtschaft*,
Springer, Berlin, 335-389
- Capell H.A. (1997): Einfluß der Knickvegetation auf Ertragsbildung und N-Bilanz. Diplomarbeit,
Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
- Jose S., Gillespie A.R., Pallardy S.G. (2004): Interspecific interactions in temperate agroforestry.
Agroforestry Systems 61, 237-255
- 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
- King E. (1970): Ökologisch-meteorologische Untersuchungen an Windschutzstreifen im nassen
Sommer 1968. *Agricultural Meteorology* 7, 235-253
- Luedeling E., Smethurst P.J., Baudron F., Bayala J., Huth N.I., van Noordwijk M., Ongh C.K.,
Mulia R., Lusiana B., Muthuri C., Sinclair F.L. (2016): Field-scale modeling of tree–crop
interactions: Challenges and development needs. *Agricultural Systems* 142, 51-69
- Mead R., Willey R.W. (1980): The concept of a “land equivalent ratio” and advantages in yields
from intercropping. *Experimental Agriculture* 16, 217-228
- Mirck J., Kanzler M., Böhm C. (2017): Ertragsleistung eines Energieholz-Alley-Cropping-
Systems. In: Böhm, C. (Hrsg.): *Bäume in der Land(wirt)schaft – von der Theorie in die
Praxis. Tagungsband 5. Forum Agroforstsysteme*, 30. November bis 01. Dezember 2016
in Senftenberg, Deutschland, 47-50
- Mølgaard Lehmann L., Smith J., Westaway S., Pisanelli A., Russo G., Borek R., Sandor M., Gliga
A., Smith L., Ghaley B.B. (2020): Productivity and economic evaluation of agroforestry
systems for sustainable production of food and non-food products. *Sustainability* 12, 5429
- Nair P.K.R. (1993): *An introduction to agroforestry*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht,
Boston, London
- Pardon P., Reubens B., Mertens J., Verheyen K., De Frenne P., De Smet G., van Waes C., Reheul
D. (2018): Effects of temperate agroforestry on yield and quality of different arable
intercrops. *Agricultural Systems* 166, 135-151
- Pretzschel M., Bohme G., Krause H. (1991): Effects of shelterbelts on crop yield. *Feldwirtschaft*
32, 229-231
- Röhricht C., Ruscher K., Eckhard F., Zöphel B., Hussein I. (2010): Anlage von Windschutzstreifen
mit schnellwachsenden Baumarten (Nutzen und schützen). *Neue Landwirtschaft* 6, 76-79
- Rudolf C. (2018): Boden als nachhaltige Ressource für die Bioökonomie-BonaRes SIGNAL-
Nachhaltige Intensivierung der Landwirtschaft durch Agroforstsysteme, Teilprojekt 6:
Ein- und Austräge oberirdischer Biomasse am Standort Dornburg, Vernetzung
Wissenschaft und Praxis. Abschlussbericht, Förderkennzeichen 031A562F, 38 S.

- Surböck A., Faustmann P., Heinzinger M., Friedel J.K., Klick A., Freyer B. (2005): Auswirkungen einer Hecke auf Bodenwasserhaushalt, Bodenparameter und Ertrag in angrenzenden Ackerflächen. *Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften* 17, 20-21
- Swieter A., Langhof M., Lamerre J., Greef J.M. (2019): Long-term yields of oilseed rape and winter wheat in a short rotation alley cropping agroforestry system. *Agroforestry Systems* 93, 1853-1864
- Tsonkova P., Böhm C., Quinkenstein A., Freese D. (2012): Ecological benefits provided by alley cropping systems for production of woody biomass in the temperate region: a review. *Agroforestry Systems* 85, 133-152
- Weckenbrock P., Gahler R., Böhm C. (2020): Agroforst schafft Synergien. *Lumbrico* 7/2020, 13-18