

KLIMAKULTUR LANDSCHAFT KANNAWURF

Dokumentation

Koop-Kannawurf II

Umsetzung Keyline-Design





Hier investieren Europa und der Freistaat Thüringen in die ländlichen Gebiete.

Operationelle Gruppe

Koop-Kannawurf II
2020 LFE 0013

Lead Partner (Vertreter)

Internationale Bauausstellung (IBA) Thüringen GmbH
Auenstraße 11
99510 Apolda
info@iba-thueringen.de

Projektpartner

Landwirtschaft Kannawurf Betriebsgesellschaft mbH, Kannawurf
agrar-GmbH Oldisleben, Oldisleben
Green4Cities GmbH, Wien
Ökotrend Projekt- und Marketing GmbH, Erfurt

Assoziierter Partner:

Thüringer Landesamt für Landwirtschaft und Ländlichen Raum, Jena

Laufzeit:

01.10.2021 bis 31.12.2023

Zusammenfassung

Koop-Kannawurf II

Klimakulturlandschaft Kannawurf

Umsetzung Keyline-Design

Aufgabe

Das Thema des Kooperationsvorhabens umfasst die Weiterentwicklung und Umsetzung von Maßnahmen, die im Rahmen des Projektes Koop-Kannawurf „1.500 ha Zukunft Acker. (Er)findung einer neuen Landschaftstypologie“ (2018 LFE 0008) als Leitbild von 2019-2021 erarbeitet wurden. Das Leitbild denkt neuen Feldstrukturen und Bewirtschaftungsformen zu einer nachhaltigen Klimakulturlandschaft zusammen und widmet sich gleichsam künstlerischen Perspektiven auf die umgebende Land(wirt)schaft.

Auf einer Probefläche der Landwirtschaft Kannawurf Betriebsgesellschaft mbH soll dazu auf 8 Hektar das erste Modellvorhaben umgesetzt werden, das Ansätze für eine klimagerechtere Landwirtschaft der Zukunft enthält - sogenannte Keyline-Strukturen. Keylines, oder auch Wasserretentionsstreifen, sind Versickerungsgräben oder Bearbeitungsmuster, die fast hangparallel, aber mit leichtem Gefälle in eine festgelegte Richtung das abfließende Regenwasser auffangen, umverteilen und die Flächen so nachhaltig mit Wasser versorgen können. Kombiniert mit daran aufgereihten Feld- und Nutzgehölzen soll die Erosion der dazwischenliegenden Ackerflächen vermindert, die Wasserspeicherkraft des Bodens sowie die Biodiversität erhöht und ein einzigartiges Landschaftsbild erzeugt werden.

Zielsetzung

Ackerflächen an Hangzonen sind besonders anfällig für Wind- und Wassererosion sowie Überhitzung. Am Beispiel von Kannawurf führen derzeit entlang der Hangzone eine erhöhte Bodenerosion und der Verlust der Bodenfeuchtigkeit besonders zu Ertragseinbußen. Insbesondere die hohen Niederschlagsmengen in kurzer Zeit haben, wie im August 2019, zu großflächigen Abschwemmungen, Hangrutsch und einer Schlammlawine geführt. Durch die Bodentrockenheit und den langjährigen Humusabbau kann der Oberboden in der Hangzone in kurzer Zeit keine großen Regenmengen mehr aufnehmen. Wasser für die Kulturen geht verloren. Die Überhitzung des Oberbodens führt darüber hinaus zu starkem Austrocknen. Jede Bodenbearbeitungsmaßnahme verursacht große Erosionsschäden, die mit minimalen Eingriffen verbessert werden soll. Im Rahmen des Kooperationsvorhabens soll deshalb auf einer ersten Versuchsfläche in einer Hangzone das Keyline-Design umgesetzt, dokumentiert und für den Standort evaluiert werden.

Ergebnis

Im Ergebnis wurde das erste größere Keyline-Design auf 8 Hektar Fläche im Rahmen einer konventionellen Landbewirtschaftung durch die Deutsche Agroforst GmbH umgesetzt. Ein erstes Monitoring ergab, dass die Bodenerosion ohne die Keyline-Anlage um ein Vielfaches größer gewesen wäre und damit die Keylines (auch im ersten Jahr des Anwuchses) bereits eine erste Wirkung zeigten. Gleichzeitig zeigt sich, dass trotz der trockeneren Bedingungen 2023 im Keyline-System mehr Wasser für die Pflanzen verfügbar und die Vegetation produktiver war als auf dem gleichen Acker vor Anlage des Systems im Jahr 2022.

Dokumentation

Keyline-System Kannawurf im Rahmen
des Projektes

2020 LFE-0013 Koop-Kannawurf II

Oktober 2023

Erstellt von



- Deutsche Agroforst GmbH –
Schmerwitz 12
14827 Wiesenburg

www.baumfeldwirtschaft.de

Dipl.-Forstwirt Dr. nat. techn. Philipp Gerhardt

Inhalt

Inhalt.....	2
1 Dokumentation Planung und Umsetzung.....	3
1.1 Zielstellung für das Keyline-System.....	3
1.2 Planungsarbeiten.....	3
1.3 Umsetzung	4
1.4 Etablierte Strukturen.....	6
1.6 Systemkomponenten	7
2 Abschätzung der ökologischen und betrieblichen Wirkungen	8
2.1 Erosions- und Hochwasserschutz.....	8
2.1.1 Methodik.....	9
2.1.2 Ergebnisse	9
2.1.3 Diskussion.....	11
2.2 Wasserrückhalt in der Fläche und Dürreprävention – Auswertung von Satellitendaten	12
2.2.1 Methodik.....	12
2.2.2 Ergebnisse	13
2.2.3 Diskussion.....	14
2.3 Auswirkungen auf die Landwirtschaftlichen Erträge	15
2.3.1 Methodik.....	15
2.3.2 Ergebnisse und Diskussion	15
2.4 Erhebung des Pflegezustands	15
2.4.1 Methodik.....	15
2.4.2 Ergebnisse	16
2.4.3 Diskussion.....	17
3 Empfehlungen	19
3.1 Bedeutung der Pflege	19
3.2 Pflegehinweise für die Agroforststreifen im Projekt Kannawurf.....	19
3.2.1 Walnüsse.....	19
3.2.2 Pappeln	20
3.3 Pflege der Keyline-Strukturen	23
4 Fazit und Ausblick	23

1 Dokumentation Planung und Umsetzung

1.1 Zielstellung für das Keyline-System

Das Keyline-System Kannawurf (Projektfläche 2020 LFE-0013 Koop-Kannawurf II) soll mehrere Funktionen erfüllen, und im Laufe des Planungsprozesses wurden dazu mehrere Anforderungen herausgearbeitet:

- Hauptziel ist der Schutz der umgebenden Flächen vor Austrocknung, Wind- und Wassererosion.
- Ein zusätzlicher Frucht- und Holzertrag für die Vermarktung durch den Betrieb ist Ziel der Agroforstpflanzung. Da das System im Rahmen der Koop-Kannawurf II angelegt wurde, wurden hier beispielhaft zwei Varianten realisiert (Pappeln und Walnüsse), die auch als Beobachtungsobjekt für den Betrieb dienen sollen.
- Das System soll als Modell auch in der Außenwirkung sichtbar sein und sowohl die innovativen Ansätze Agroforst und Keyline-Design sichtbar machen, als auch erfahrbar machen, wie Landwirtschaft weitergedacht und im Sinne der Nachhaltigkeit entwickelt werden kann. Es ist deutschlandweit die erste Umsetzung auf Flächen eines konventionell wirtschaftenden Betriebs.

1.2 Planungsarbeiten

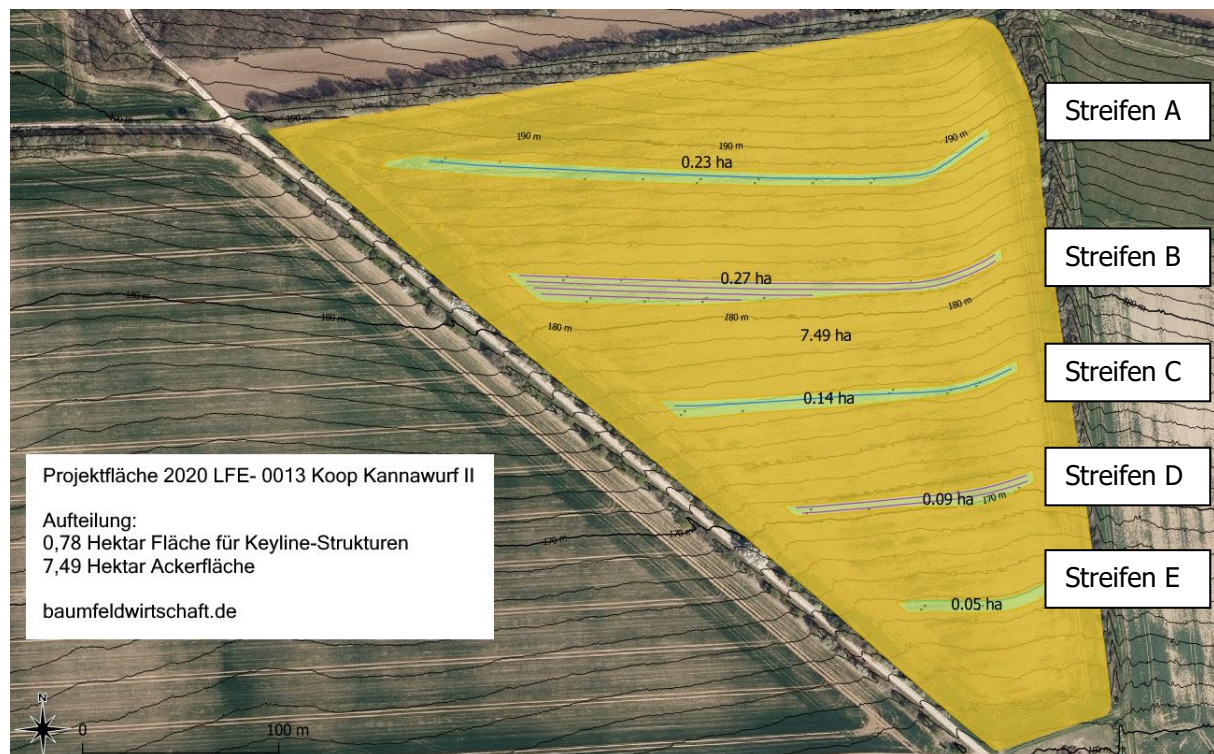


Abbildung 1: Darstellung der Flächenaufteilung sowie der einzelnen Pflanzreihen. An den blauen Linien wurde jeweils ein Retentionsgraben angelegt.

Der Entstehungsprozess des Agroforst- und Keyline-Systems begann bereits vor der Pflanzung der Bäume auf dem Acker. Die ersten Entwürfe für Keyline-Strukturen auf den Projektflächen bei Kannawurf wurden im Juni 2020 erstellt und im Rahmen des Projektes Koop Kannawurf I vorgestellt. Der Konzeptcharakter dieser Entwürfe diente der Visualisierung der Effekte von Keyline Design, wenn man es auf größerer Fläche im Projektgebiet umsetzen würde. Im Rahmen der Koop Kannawurf II und mit dem bewirtschaftenden Landwirtschaftsbetrieb Landwirtschaft Kannawurf GmbH wurde eine Modellfläche ausgewählt, für die dann die vorliegende Planung entwickelt wurde. Die ersten Entwürfe entstanden im Juli 2022, Abschluss der Strukturplanung war im August 2022. Die Bepflanzung wurde bis Dezember 2022 geplant.

1.3 Umsetzung



Abbildung 2: Das umgesetzte Keyline Design am 12.09.2023.

Im August 2022 wurden die Keyline-Retentionsgräben angelegt, die Pflanzung der Agroforstgehölze erfolgte im März 2023.

Für die Erstellung der Retentionsgräben wurden ein 8t-Bagger sowie ein 5t-Minibagger verwendet, um die Gräben entsprechend des geplanten Höhenprofils nivellieren zu können und die Versickerungszonen wie geplant anzulegen. Eine Herstellung der Gräben mit Pflug oder Grader kamen nicht in Frage. Nach der Anlage der Gräben wurden diese von Hand eingesät. Verwendet wurde eine gebietsangepasste Dauerbegrünung der Firma Rieger-Hoffmann mit einem Anteil an Schnellbegrünung für Grabenböschungen.



Abbildung 3: Anlage der Retentionsgräben am 05.08.2022.

Für die Pflanzung der Agroforst-Gehölze wurde die Spezialpflanzmaschine der Deutschen Agroforst GmbH an einem 180-PS-Schlepper des Landwirtschaftsbetriebs verwendet. Mit dieser Maschine und 3 Personen Besatzung plus Traktorist wurden sowohl Pappelruten als auch Wurzelware gepflanzt. Baumschutz (nur bei Walnussbäumen) wurde von Hand installiert. Das Angießen erfolgte mit Wasserfass und manueller Führung des Wasserschlauchs.



Abbildung 4: Pflanzung der Agroforstgehölze am 21.03.2023



Abbildung 5: Wässern der gepflanzten Bäume am 22.03.2023.

Es wurden 1400 Pappeln und 35 Walnüsse verwendet. Bei den Pappeln wurde ein Übermaß von 10% einkalkuliert, um Schwankungen des Pflanzabstands, die bei schweren Böden technisch bedingt auftreten können auszugleichen. Nach Addition des Übermaßes wurde auf ganze Bündel aufgerundet. Die nicht gepflanzten Pappeln wurden dem Betrieb übergeben und von Mitarbeitern des Betriebs weitergegeben, um in der Umgebung eine Multiplikatorenwirkung für die Anlage von Agroforstsystemen zu erzielen.

1.4 Etablierte Strukturen

- Die Pflanzung wurde entlang von **konturangepassten Keyline-Strukturen für eine Verbesserung des Wasserrückhalts** und zur Verminderung von Schäden bei Starkregenereignissen angelegt. Beim Erstellen des neuen Bearbeitungsmusters wurde speziell auf die Verteilung des Wassers hin zu trockenen Bereichen der Anbaufläche geachtet. Umgesetzt wird dies mit **Versickerungsgräben** entlang der Baumreihen. In den daran angrenzenden Ackerstreifen wird die Versickerung durch das parallel dazu verlaufende Bearbeitungsmuster verstärkt.
- Verschnittflächen zwischen den einzelnen Ackerstreifen wurden mit flächiger Nutzung von **schnellwachsenden Gehölzen im kurzen bis mittleren Umtrieb** eingeplant. In der Praxis bilden diese Flächen etwas breitere Agroforststreifen und können als solche angemeldet werden.
- Am obersten Retentionsgraben wurde beispielhaft ein Agroforststreifen mit einer einzelnen Reihe **Walnuss in Kombination mit Pappel** angelegt.
- Am zweiten Retentionsgraben wurden Pappeln in Einzelreihe zur **Stammholzproduktion (mittlerer Umtrieb)** gepflanzt.
- An den Retentionsstreifen wurden **Blühflächen** eingesät, die förderrechtlich zu den Gehölzstreifen gerechnet werden können, jedoch einen wertvollen Beitrag zur Erhöhung der Biodiversität leisten.
- Alle Ackerstreifen sind mit langgezogenen Befahrungen und Wendemanövern auf den großzügigen Vorgewenden zu bewirtschaften.

1.5 Systemkomponenten

Eine Übersicht über die Systemkomponenten gibt die folgende Aufstellung. Die beschriebenen Agroforststreifen sind in Abbildung 1 in ihrer räumlichen Anordnung zu sehen.

- Streifen A: Keyline-Graben mit langgezogener Versickerungsstrecke. Bepflanzung mit Walnuss im Wechsel mit jeweils drei Pappeln im Abstand von jeweils 3 m. Schutz der Walnuss mit verzinktem Stahlgitter, die jeweils mittig gepflanzte Pappel mit Tubex-Hülle.
- Streifen B: Mehrreihiger Agroforststreifen mit Pappeln. Ohne Graben. Obere Randfurche konturangepasst orientiert mit Gefälle jeweils von den Vorgewenden in die Fläche hinein und mit langgezogener Versickerungsstrecke.
- Streifen C: Keyline-Graben mit langgezogener Versickerungsstrecke. Bepflanzung mit Pappeln.
- Streifen D: Mehrreihiger Agroforststreifen mit Pappeln. Ohne Graben. Obere Randfurche konturangepasst orientiert mit Gefälle jeweils von den Vorgewenden in die Fläche hinein und mit langgezogener Versickerungsstrecke.
- Streifen E: Einreihiger Agroforststreifen mit Pappeln. Ohne Graben. Obere Randfurche konturangepasst orientiert mit Gefälle jeweils von den Vorgewenden in die Fläche hinein und mit langgezogener Versickerungsstrecke.



Abbildung IBA Thüringen/Foto Thomas Müller: Streifen A am 17.06.2023.

2 Abschätzung der ökologischen und betrieblichen Wirkungen

2.1 Erosions- und Hochwasserschutz

Das System wurde mit dem Ziel angelegt, möglichst jegliches Niederschlagswasser in der Fläche zu halten und dort zu versickern, um einen Mehrwert für die Produktivität der Fläche, für ihre Stabilität in einem heißer und trockener werdenden Klima und für den Schutz der unterhalb liegenden Siedlungsflächen vor Sturzfluten und Hochwasser zu erreichen. Dass Keyline Design hierfür ein geeignetes Werkzeug ist, ist in einigen international anerkannten Studien belegt.

In Mitteleuropa sind die einzigen größeren Flächen bisher in Brandenburg bzw. in der Schweiz angelegt worden, wodurch es bei den verantwortlichen Planern und Betrieben wertvolle Erfahrungen gibt, auf die für die Anlage von Modellflächen aufgebaut werden kann, um das Praxiswissen für eine schnelle und weite Verbreitung dieser Nachhaltigkeitstechnologie zu erschließen. Forschungen zum Thema Keyline Design gibt es in Mitteleuropa noch gar nicht, aber in ähnlichen Klimaten wurden bereits Untersuchungen durchgeführt, die das große Potezial für Wasserrückhalt und Klimawandelanpassung belegen, z. B.:

- Ryan, Justin, Clive Mcalpine, J. Ludwig, and J. Callow (2015): Modelling the Potential of Integrated Vegetation Bands (IVB) to Retain Stormwater Runoff on Steep Hillslopes of Southeast Queensland, Australia. Land 4, S. 711. Abrufbar unter: <https://doi.org/10.3390/land4030711>
- Cross, Rebecca (2017): Exploring Agroecological Sustainability: Unearthing Innovators and Documenting a Community of Practice in Southeast Australia. Society & Natural Resources 30, no. 5, S. 585–600. Abrufbar unter: <https://doi.org/10.1080/08941920.2016.1230915>

Auch der IPCC empfiehlt Keyline Design als wichtiges Werkzeug in seinem Sonderbericht „Climate Change and Land“, siehe dazu:

- Intergovernmental Panel on Climate Change (2019): Special Report on Climate Change, Desertification, Land Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, and Greenhouse Gas Fluxes in Terrestrial Ecosystems. Abrufbar unter: <https://www.ipcc.ch/report/srccl/>

Dennoch ist die Anzahl an Publikationen bisher sehr gering und es sollte in Kannawurf auch ein praktisches Beispiel geschaffen werden, dass die Effekte modellhaft zeigt und damit auch ein weiteres gesellschaftliches Interesse sowie zukünftige Forschungsprojekte anstoßen kann.

Die hier gemachten Beobachtungen belegen als Praxisbeispiel eindrücklich die positiven Wirkungen von funktionalen Keyline-Strukturen mit Retentionsgräben und Agroforstpflanzungen. Sie zeigen das Potential auf und machen deutlich, dass es größer angelegte Untersuchungen mit statistischer Aussagefähigkeit braucht, um Keyline Design als potentes Werkzeug der Klimawandelanpassung in Europa weiter zu verbreiten.

2.1.1 Methodik

Am 12.09.2023 wurde eine Drohnenbefliegung vorgenommen, bei der die Spuren der am 25.8.2023 mit 32,6 mm und am 26.8.2023 mit 18,4 mm gefallen Starkniederschläge dokumentiert wurden. Die Niederschlagsmengen wurden über die Internetseite meteostat.net von der nahe gelegenen Wetterstation Etzleben übernommen. Nach Aussage des Landwirts, der eine eigene Regenmessung betreibt, waren es vor Ort in Kannawurf 65 mm Regen in zwei Stunden und 40 mm Regen in einer Stunde an zwei aufeinander folgenden Tagen.

Im Luftbild ist deutlich die Rinnenbildung nachvollziehbar, so dass bestimmt werden kann, ab welcher kritischen Hanglänge sich Rillen- bzw. Rinnenabfluss bildet. Es kann mit den Luftbildern klar gezeigt werden, wo Abflussrinnen die Retentionsstreifen durchfließen, wo sie reinfiltrieren und wo der Abfluss in den Retentionsgräben verteilt wird. Die Ergebnisse sind im Folgenden beschrieben und mit einer Auswahl der Bilder dokumentiert.

2.1.2 Ergebnisse

Die wesentlichen Beobachtungen sind:

- Die kritische Hanglänge auf dem Standort mit seinem Bodenzustand und bei frisch aufgelaufener Kultur liegt bei ca. 25 m. Bei 48 m breiten Ackerstreifen, bedingt durch die Fahrzeugbreite der Landwirtschaftsmaschinen, ist also jedes Jahr mit der Entstehung von Rillen- und Rinnenabfluss zu rechnen.
- Agroforststreifen ohne Retentionsgräben konnten die im Beobachtungszeitraum entstandenen Oberflächenabflüsse aus den Ackerstreifen nicht vollständig aufhalten.
- An Keyline-Retentionsstreifen mit ausgeführtem Graben sind Oberflächenabflüsse komplett aufgehalten, verteilt und versickert worden. Der entstandene Bodenabtrag im Acker ist hier im Graben liegen geblieben.

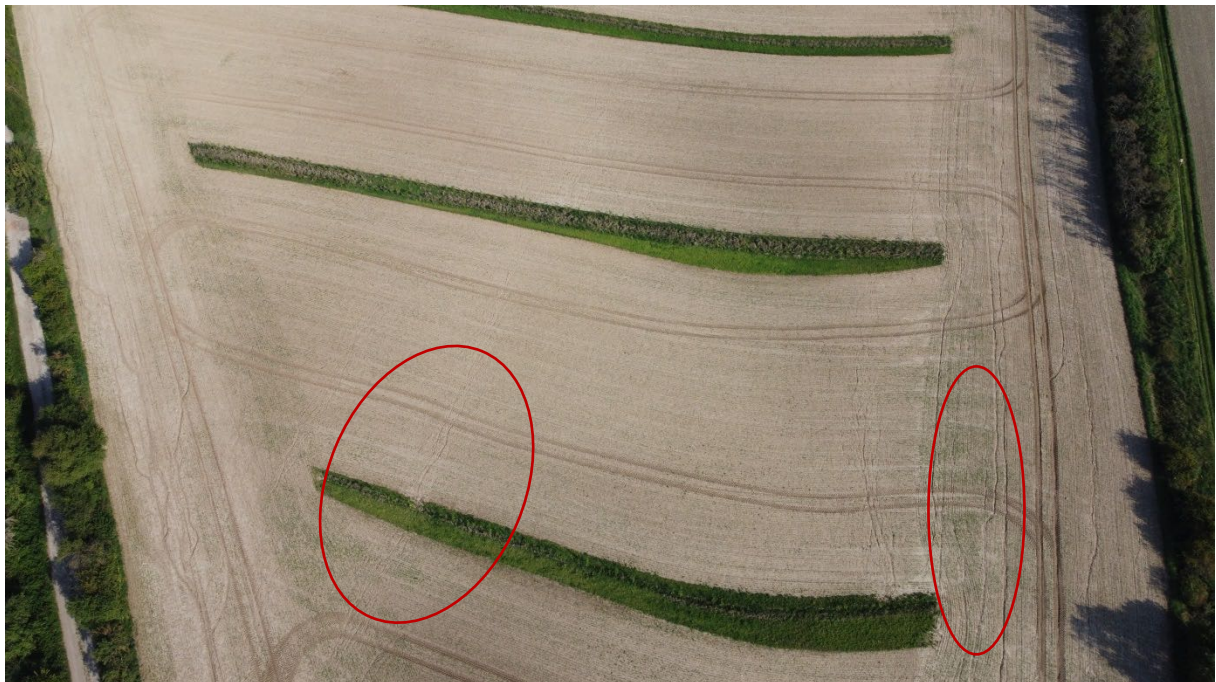


Abbildung 6: Hier ist an Streifen E - ohne Graben - deutlich zu sehen, wie entstehender Oberflächenabfluss nicht vollständig im Streifen reinfiltrieren kann und seinen Weg als Rinnenabfluss auch hangabwärts des Streifens

fortsetzt. Dennoch verteilt und verlangsamt der Streifen den Rinnenabfluss und ist daher eine deutliche Verbesserung im Verhältnis zu einer Flächennutzung ohne Keyline-Streifen.



Abbildung 7: An Streifen C wurde ein Keyline-Retentionsgraben angelegt. Deutlich zu sehen ist, dass sich zwar auf dem darüber liegenden Ackerstreifen Oberflächenabfluss zu Rillen und Rinnen konzentrieren kann und Boden abträgt, dies jedoch vom Keyline-Retentionsstreifen gestoppt wird.



Abbildung 8: Deutlich erkennbar ist, dass es im Bereich der Retentionsstreifen keinen konzentrierten Oberflächenabfluss gibt, der das untere Ende des Schlages erreicht. Das Keyline-System hat also dafür gesorgt, dass die vor der Aufnahme stattgefundenen 60 mm und 45 mm Niederschläge in der Fläche versickert wurden, wo diese mit Keyline-Strukturen versehen sind. Es ist im Bereich des Keyline-Systems (grün markiert) jeglicher Schaden verhindert worden, der sonst zu starker Bodenerosion und erheblichen Schäden im unterhalb gelegenen

Dorf Sachsenburg geführt hätte. Im Bereich der Vorgewende (rot markiert) kann man beobachten, wie stark sich Oberflächenabfluss konzentrieren kann, wenn er eine große Hanglänge ungebrochen fließt.

2.1.3 Diskussion

Da jährlich mit der Bildung von Rillen- und Rinnenabfluss und damit mit (Wasser-)Erosion zu rechnen ist, leistet das Keyline-System einen erheblichen Beitrag zum Erhalt des landwirtschaftlichen Bodens.

Das Keyline-System hat bei den Starkniederschlägen im August 2023 bereits schlimmeres verhindert und dafür gesorgt, dass die Ortslage Sachsenburg von der Projektfläche kaum Abfluss und Sedimenteintrag erhalten hat. Lediglich die Vorgewende haben noch geliefert.

Von der gesamten Schlagfläche von ca. 8,3 Hektar wurden Oberflächenabflüsse von ca. 5,6 Hektar im Keyline-System aufgenommen und versickert. **Die Fläche, die zur Hochwasserbildung beiträgt wurde also um 67,5 % reduziert. Gleichzeitig halten jetzt diese 67,5 % der Schlagfläche jegliches Niederschlagswasser und führen es der Versickerung zu. Dies kommt dem Pflanzenwachstum und damit der Landwirtschaftlichen Produktion zugute.**

Der erodierte Boden aus dem Acker ist an den Retentionsstreifen liegen geblieben. Hier kann bildlich erlebt werden, wie viel Boden dem Landwirt bisher jedes Jahr verloren gegangen ist. Gehen wir vom durchschnittlichen Bodenverlust durch Erosion im Ackerbau in Deutschland von 1,4 bis 3,2 Tonnen pro Jahr pro Hektar aus¹, so **würde das Keyline-System 7,84 bis 17,92 Tonnen Bodenverlust pro Jahr verhindern!**



Abbildung 9: In Orange dargestellt ist die Fläche, deren Oberflächenabfluss in die Keyline-Strukturen fließt, dort verteilt und versickert wird. Lediglich die gelb dargestellten Flächen liefern aufgrund der Falllinie Abflüsse, die nicht in den Retentionsstreifen aufgefangen werden.

¹ (Quelle Durchschnittswert: Bundesinformationszentrum Landwirtschaft, <https://www.landwirtschaft.de/landwirtschaft-verstehen/wie-funktioniert-landwirtschaft-heute/boden-in-gefahr-erosion-in-der-landwirtschaft>, 17.09.2023)

2.2 Wasserrückhalt in der Fläche – Auswertung von Satellitendaten

2.2.1 Methodik

Für den Untersuchungszeitraum 1. April bis 31. Juli in den Jahren 2022 und 2023 wurde eine Auswahl an Sentinel-2 Szenen mit Wolkenbedeckung in der gesamten Szene kleiner 30% beschafft. Die Szenen wurden dann auf das Untersuchungsgebiet mit einem räumlichen Puffer von ca. 500m zugeschnitten. Pixel die als Wolken klassifiziert sind wurden auf einen Leerwert gesetzt. Pro Pixel wurde dann für jeden Monat der Median-Wert im jeweiligen Band gebildet.

Darauf basierend wurde für jedes Pixel der NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) und GVMi (*Global Vegetation Moisture Index*) berechnet. Die Bänder für den NDVI haben 10m Auflösung, für den GVMi 20m. Es wurde mit einem negativer Puffer von 20m all jene Pixel extrahiert, die in dem Schlag liegen. Der negative Puffer wurde verwendet, um Mischpixeleffekte in der Auswertung auszuschließen.

Der NDVI ist eine aus Satellitendaten berechnete Messgröße für die Biomasse auf einer Fläche und deren Vitalität. Da die Netto-Photosynthese direkt abhängig ist von der Menge photosynthetisch aktiver Strahlung ist, die von Pflanzen absorbiert wird, kann durch die Messung der reflektierten Strahlung im nahen Infrarot (0,78 - 1 µm) auf die Photosyntheseleistung geschlossen werden. Je aktiver das Chlorophyll der Pflanzen ist, desto größer ist der Anstieg des Reflexionsgrades in diesem Spektrum. Der NDVI errechnet sich aus:

$$NDVI = \frac{NIR - rot}{NIR + rot}$$

Der Index kann Werte zwischen -1,0 und +1,0 annehmen, für Vegetation liegen sie meist zwischen 0,1, und 0,7. Sein Vorteil liegt in der Verhältnisbildung, welche unterschiedliche Beleuchtung, atmosphärische Trübung, Oberflächenneigung und Beobachtungsaspekte weitgehend kompensiert. Neben der Unterscheidung der Vegetation von anderen Objekten lässt sich somit auf die Vitalität der Vegetation schließen, die wiederum von Nährstoff- und in noch stärkerem Maße von der Wasserversorgung abhängt.

Der GVMi berechnet sich aus den Bändern des nahen Infrarot und des kurzwelligen Infrarot nach der Formel:

$$GVMi = \frac{(NIR + 0,1) - (SWIR + 0,02)}{(NIR + 0,1) + (SWIR + 0,02)}$$

Für den GVMi wurde in zahlreichen Studien belegt, dass er direkt mit dem Wassergehalt der Vegetation korreliert. Er ist also ein gutes Maß für die Feuchtigkeitsversorgung der Vegetation. Die Verteilung der Index-Werte pro Monat wurde vergleichend für die beiden Jahre mit Violin-Plots dargestellt. Diese sind Boxplots recht ähnlich, zeigen die Dichteverteilung der Werte aber noch besser. Violin-Plots oder Violindiagramme werden verwendet, wenn die Verteilung numerischer Daten beobachtet werden soll und sind besonders nützlich, wenn die Verteilungen zwischen mehreren Gruppen verglichen werden soll. Die Spitzen, Täler und Enden der Dichtekurve jeder Gruppe können verglichen werden, um zu sehen, wo Gruppen ähnlich oder unterschiedlich sind.

Die Ergebnisse sind in Abbildung 10 und Abbildung 11 dargestellt.

2.2.2 Ergebnisse

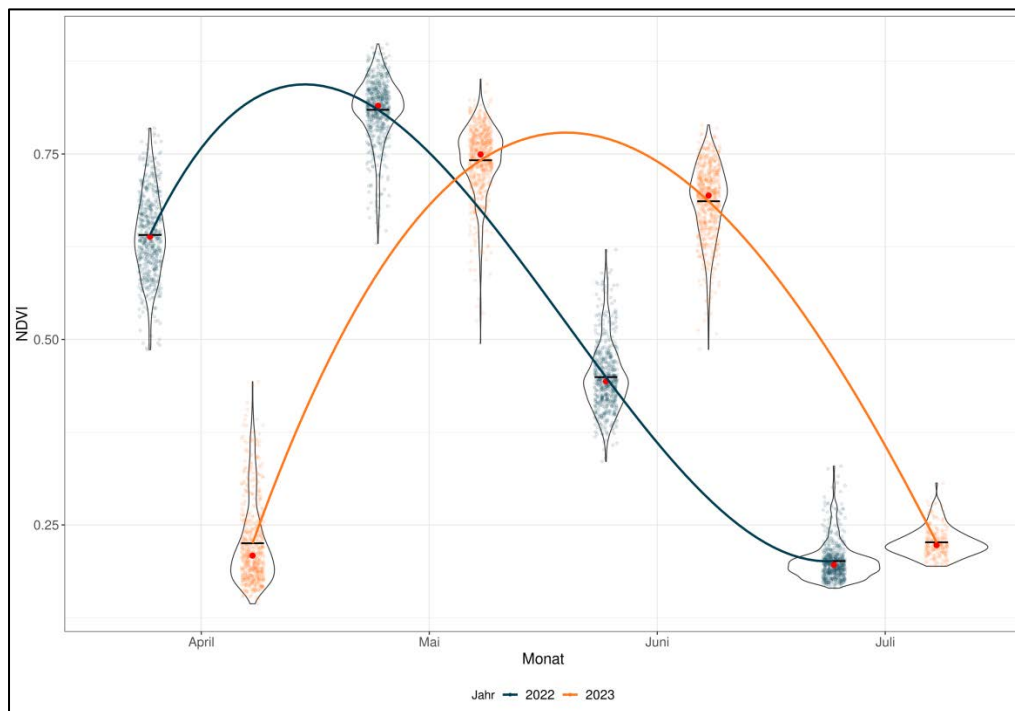


Abbildung 10: Violindigramm der NDVI-Werte der beiden Untersuchungsgruppen 2022 (freier Acker ohne Agroforst- bzw. Keyline-Strukturen) und 2023 (nach Anlage des Keyline-Agroforstsystems). Es zeigt sich, dass 2023 die Vegetation auf der Fläche länger in den Sommer hinein vital und produktiv blieb.

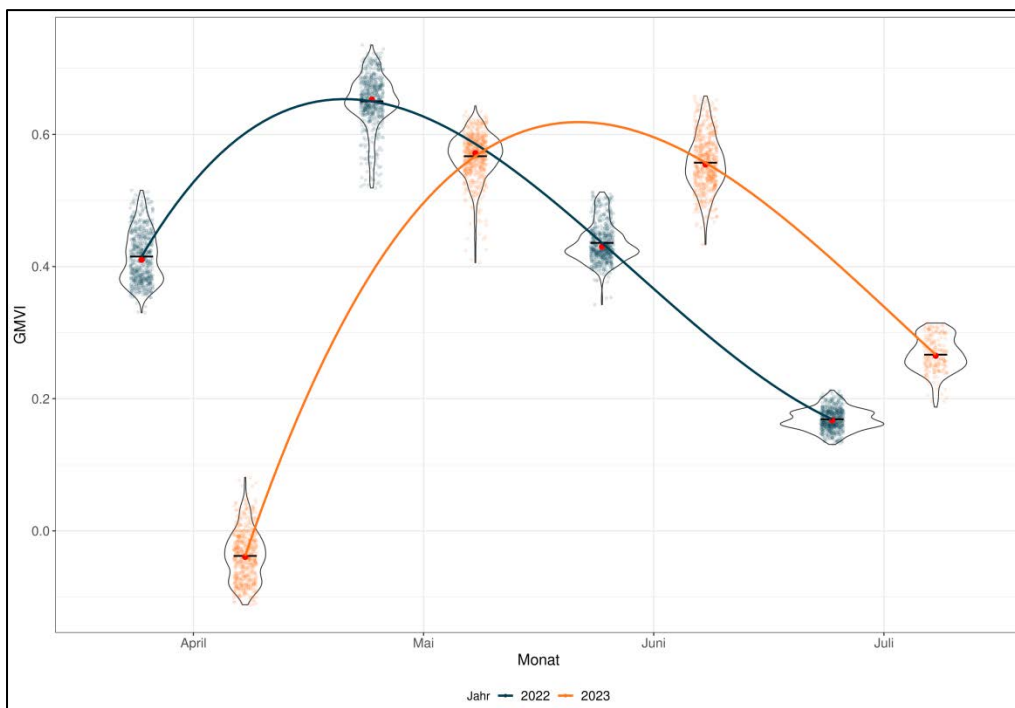


Abbildung 11: Violindigramm der GVMi-Werte der beiden Untersuchungsgruppen 2022 (freier Acker ohne Agroforst- bzw. Keyline-Strukturen) und 2023 (nach Anlage des Keyline-Agroforstsystems). Auch der GVMi zeigt, dass 2023 die Vegetation auf der Fläche länger in den Sommer hinein vital und produktiv blieb.

2.2.3 Diskussion

Der NDVI ist eher ein Weiser für die Produktivität der Vegetation, der GVMi weist direkt auf die Wasserversorgung hin. Beide Indices lagen 2023 im Sommer höher als 2022 auf dem Acker ohne Retentionsstreifen. Selbstverständlich sind diese zwei verglichenen Jahre zu wenig, um eine statistisch haltbare Aussage zu treffen, sie zeigen jedoch eine interessante Momentaufnahme.

Betrachtet man die Niederschlagsverteilung in diesen beiden Zeiträumen ist auffällig, dass der Vergleichszeitraum 2022 deutlich feuchter war als 2023. **Trotz der trockeneren Bedingungen war im Keyline-System mehr Wasser für die Pflanzen verfügbar und die Vegetation produktiver als auf dem freien Acker vor Anlage des Systems.**

Auch für den Hochwasserschutz bzw. die Entstehung von Erosion oder sogar Sturzfluten kann dies bedeutsam sein. Ein Boden, der weniger ausgetrocknet ist, kann den nächsten Niederschlag besser aufnehmen, da Verschlammung und Verkrustungen geringer sind. Auch eine vitalere Vegetation bietet mehr Wasserrückhalt durch Interzeption und verhindert die Konzentration von Abfluss zu Rillen und Rinnen. **Oberflächenabflüsse treten also seltener auf und werden ggf. abgeschwächt, verlangsamt und daran gehindert, eine erosive Geschwindigkeit und Stärke aufzubauen.**

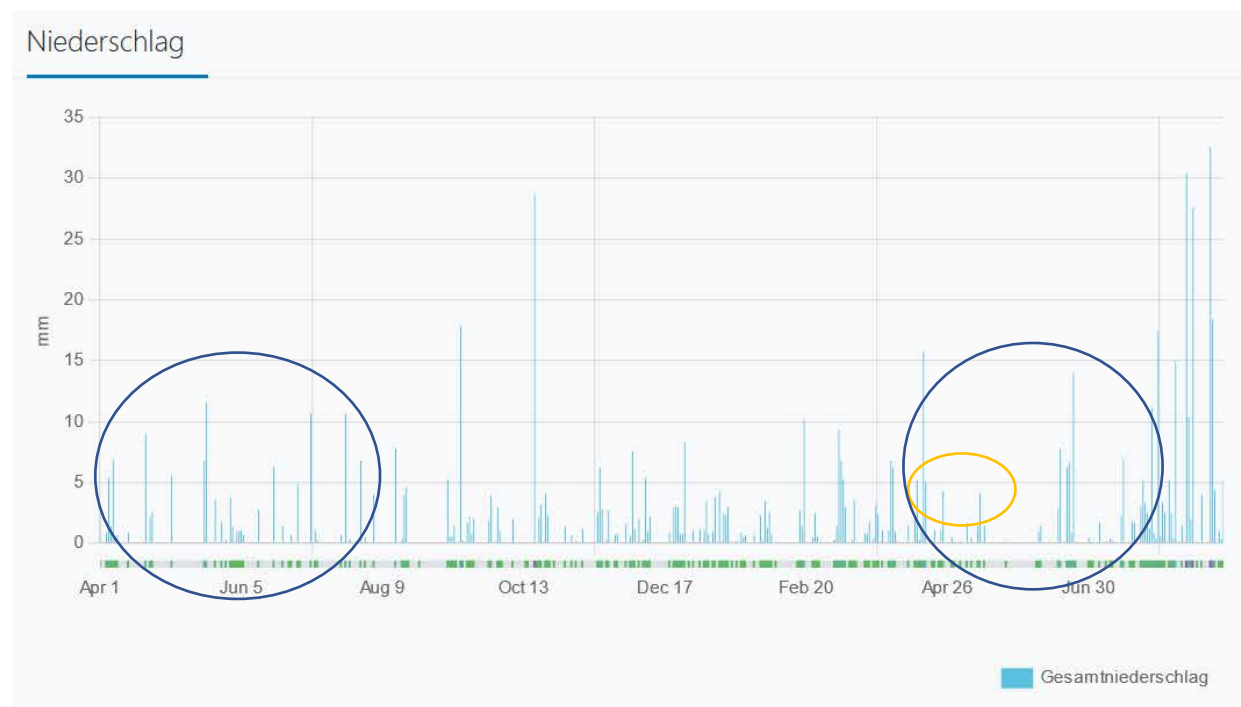


Abbildung 12: Niederschlagsverteilung in den beiden untersuchten Zeiträumen April-Juli 2022 bzw. 2023. Quelle: meteostat.net

2.3 Auswirkungen auf die andwirtschaftlichen Erträge

2.3.1 Methodik

Für die Abschätzung der Auswirkungen auf die landwirtschaftlichen Erträge wurden bekannte Ergebnisse aus der Literatur herangezogen und verglichen.

2.3.2 Ergebnisse und Diskussion

Aus Untersuchungen in Brandenburg ist bekannt, dass Agroforstsysteme Erträge im Ackerbau stabilisieren können und teilweise sogar Mehrerträge möglich sind. Ein Grund hierfür ist der Windschutz, der die Ackerkultur erheblich vom sonst permanent wirkenden Verdunstungsstress entlastet². Daneben gibt es international Untersuchungen, die zeigen, dass Keyline-Bearbeitungsmuster signifikant mehr pflanzenverfügbares Wasser in der Fläche bringen, sogar im Vergleich mit einer typischen, mehr oder weniger hangparallelen „Querbearbeitung“. Auch der Bodenabtrag wird signifikant vermindert, so dass mehr fruchtbare Feinsedimente im Acker verbleiben³. Dies lässt darauf schließen, dass bei einer Kombination aus wasserhaltenden Strukturen mit der Schutzwirkung einer agroforstlichen Bepflanzung die Ackerkulturen deutlich stabiler gegen die Auswirkungen von Dürreperioden sein müssen. Die Kulturpflanzen haben mehr Wasser zur Verfügung, sind geringerem Verdunstungsstress ausgesetzt und profitieren zusätzlich von einem verbesserten Erhalt der Bodenfruchtbarkeit.

Es ist daher davon auszugehen, dass, wenn sich das System etabliert hat und die Bäume das an den Keyline-Strukturen versickerte Wasser in Verdunstung und somit Kühlung umsetzen, der Ackerbau eine erhebliche Stabilisierung der Erträge erfährt. Es ist darüber hinaus möglich, dass es langfristig Mehrerträge, besonders im Wintergetreide gibt.

Neben den zu erwartenden positiven Effekten auf die Produktivität des Ackers bei einer erfolgreichen Etablierung des Agroforstsystems ist mit einem Ertrag an Energie-, Industrie- oder Wertholz zu rechnen, je nachdem, wie die Gehölze gepflegt werden. **Bei einem mittleren Umtrieb kann mit einem Ertrag von ca. 14 Festmetern Holz pro Jahr pro Hektar Gehölzfläche gerechnet werden⁴.**

2.4 Erhebung

2.4.1 Methodik

Es wurden am 12.09.2023 alle Agroforststreifen begangen und alle gepflanzten Bäume begutachtet. Sie wurden nach Baumart unterschieden und mittels Felderhebungsbogen nach Status tot/lebendig gezählt. Die Ergebnisse wurden digitalisiert und die Anteile der ausgefallenen Pflanzen nach Baumart und nach Agroforststreifen getrennt errechnet.

² Kanzler, M.; Böhm, C.; et al. (2018): Microclimate effects on evaporation and winter wheat (*Triticum aestivum* L.) yield within a temperate agroforestry system. *Agroforest Syst* (2019) 93: S. 1821–1841.

³ del Carmen Ponce-Rodríguez, M.; et al. (2021): Keyline in Bean Crop (*Phaseolus vulgaris* L.) for Soil and Water Conservation. *Sustainability* 2021, 13, 9982. <https://doi.org/10.3390/su13179982>

⁴ Tsonkova, P.; Böhm, C.; (2020): CO₂-Bindung durch Agroforstgehölze als Beitrag zum Klimaschutz. Innovationsgruppe Aufwerten: Loseblatt #6. Brandenburgische Technische Universität, Cottbus.

2.4.2 Ergebnisse

Es wurden 1272 Pappeln und 35 Walnüsse gezählt. Die Pflanztiefe und der Bodenschluss wurden stichprobenartig angesprochen und am oberirdischen Trieb nachgemessen. Da die Länge der Pflanzruten mit 185 cm gegeben war, konnte durch oberirdische Messung die Pflanztiefe festgestellt werden. Diese lag zwischen 50 und 60 cm. Mit dieser Pflanztiefe ist auch eine vorliegende Pflugsohle durchbrochen, so dass kein Bewurzelungshindernis vorliegt. Der Bodenschluss war überall gegeben, so dass die Pflanzung als normal und fachgerecht ausgeführt angesehen werden kann.

Bei den gepflanzten Pappeln wurden insgesamt 55 % Ausfall festgestellt. Viele Bäume zeigen Vergilbungen an den Blättern, die auf starke Vertrocknung und Nährstoffkonkurrenz hindeuten. Dabei zeigt sich, dass die Streifen mit einreihiger Pflanzung und Graben (A und C) bei den Pappeln den höchsten Ausfall verzeichnen. Dies gilt es weiter zu beobachten. Die Zahlen sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt und im Bild dokumentiert:

Streifen	Art	Anzahl gesamt	tot	lebendig	Ausfall %
A	Walnuss	34	11	23	32%
A	Pappel	166	156	10	94%
B	Pappel	654	295	359	45%
C	Pappel	164	152	12	93%
D	Pappel	215	63	152	29%
E	Pappel	73	29	44	40%
gesamt	Pappel	1272	695	577	55%



Abbildung 13: Trockenzustand am 12.09.2023. Die Auswirkungen der Dürre im Juni wurde durch den Beikrautdruck verschärft.



Abbildung 14: ustand am 12.09.2023. Hier im Bild ein gutes Austriebsverhalten der Langruten.

2.4.3 Diskussion

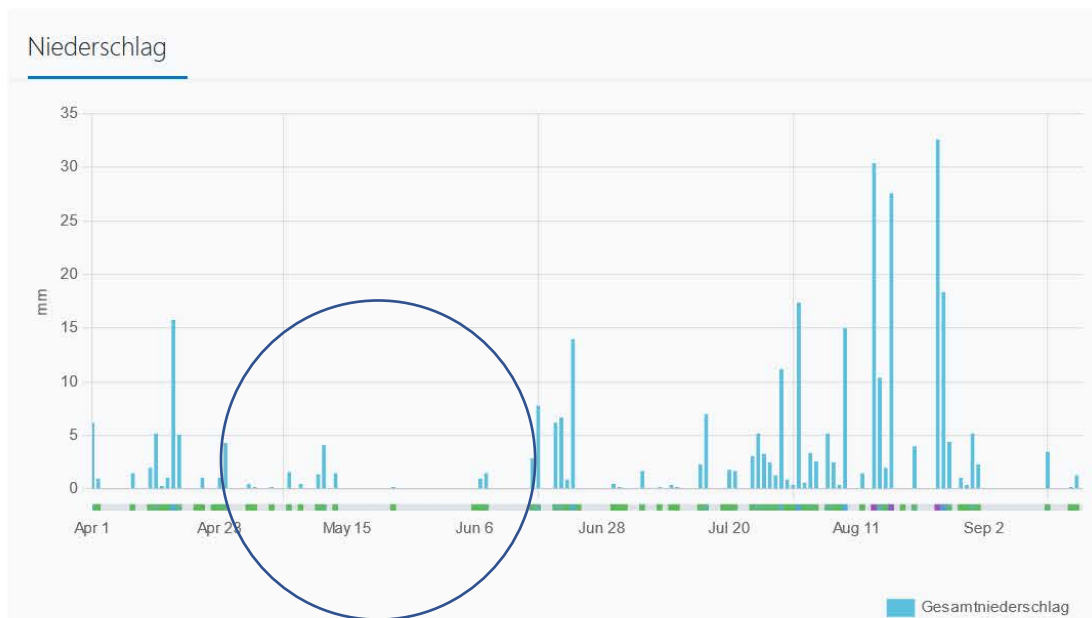
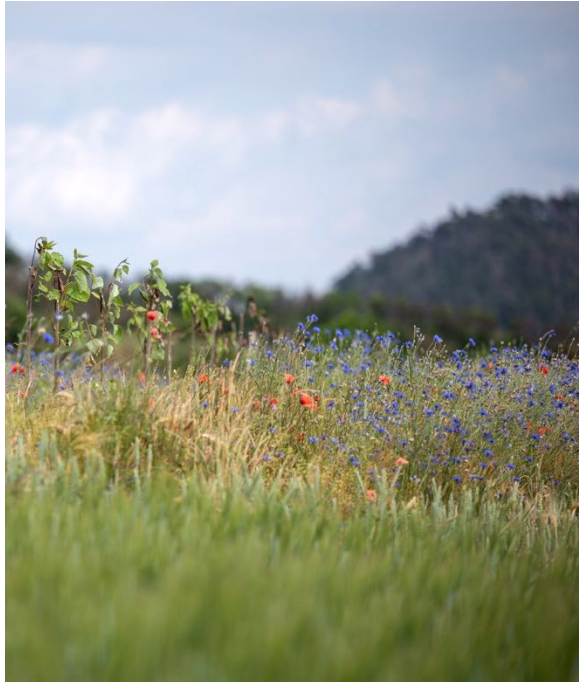


Abbildung 15: Niederschlagsverteilung an der Wetterstation Etzleben (3 km von Kannawurf entfernt) vom 1. April bis 17. September 2023. Deutlich zeigt sich die starke Trockenphase im Mai und Juni, wo die Pflanzen das meiste Wasser gebraucht hätten. Quelle: metostat.net

Pappeln sind robuste Bäume. Dennoch sterben auch sie ab, wenn das Niederschlagsdefizit zu groß ist und Konkurrenzdruck auftritt. Daher mussten die starken Ausfälle in Kauf genommen und durch eine Nachpflanzung im Herbst ausgeglichen werden. Die Niederschlagsverteilung zeigt für Mai und Juni klar

eine ausgeprägte Trockenperiode. Dies ist die Zeit, in der die Pflanzen mit der in ihnen gespeicherten Feuchtigkeit und Nährstoffen austreiben und sich im Boden verwurzeln.

Aufgrund der Trockenphase haben die Bäume zwar mit der in ihnen noch vorhandenen Feuchtigkeit Triebe bilden können, jedoch nicht genug Wurzelmasse, um diese dann auch zu versorgen. Generell sind die frisch gepflanzten Gehölze aufgrund des Pflanzschocks nach dem Austrieb am empfindlichsten. Austrocknung im Mai und Juni setzt ihnen daher stark zu und bedingt mitunter signifikante Ausfälle, trotz zwischenzeitlicher Bewässerung und Pflege.



*Anwuchs der biodiversen Keyline-Strukturen im April vor der Trockenphase 2023.
Foto: IBA Thüringen / Thomas Müller*



Nachpflanzung und Pflegearbeiten im Oktober nach der Trockenphase 2023.

3 Empfehlungen

3.1 Bedeutung der Pflege

Es ist besonders wichtig, bei der Pflege eine angemessene Intensität beizubehalten. Eine gute Wasser- und Nährstoffversorgung in der Anwuchsphase ist besonders wichtig. Allzu schnell gewinnen auch Beikräuter eine so starke Dominanz, dass Bäume unübersehbar geschwächt werden oder sogar eingehen, allzu schnell sind unerwünschte Äste im Stammbereich so dick, dass ein Entfernen zu große Wunden hinterlässt. Der Grundstein für den Erfolg eines Agroforstprojektes wird bei der Planung und Pflanzung gelegt. Ob sich der Erfolg einstellt, hängt auch von der weiteren, nicht unaufwendigen Pflege ab.

3.2 Pflegehinweise für die Agroforststreifen im Projekt Kannawurf

3.2.1 Walnüsse

Walnüsse werden je nach Standort und betrieblichen Zielen häufig in Agroforstsystemen eingesetzt. Ihr Vorteil ist, dass sie hoch aufgeastet werden können und so Licht und Raum für die Kulturen am Boden lassen. Ggf. produzierte Schalenfrüchte (Walnuss) fallen ohne Wertverlust herunter und können aufgesammelt und genutzt werden. Wird ausschließlich auf Wertholz gesetzt, muss kein Raum für die Ernte unter den Baumkronen eingeplant oder die Kulturführung entsprechend angepasst werden. Ziel ist es, langfristig einen hohen Kronenansatz und gute Untersonnung zu erreichen. Gleichzeitig soll beidseitig neben den Stämmen genug Platz für eine von der Ackerkultur unabhängige Befahrung bleiben.



Abbildung 16 - Mehrstufige Pflanzung mit Wertholz in der oberen und Fruchtertragsbäumen in der unteren Schicht. 8. Standjahr in einem Agroforstsystem im Grünland, Vogelkirsche und Walnuss-Sämlinge (bei Edelsorten)

bessere Kontrolle über Habitus und Ertrag). Seibertsweilerhof, Bayern. Planung durch baumfeldwirtschaft.de – Deutsche Agroforst GmbH.

3.2.2 Pappeln

Mehrreihige Streifen mit schnellwachsenden Gehölzen (Pappel, Weide) für den Kurzumtrieb sind sehr leicht zu bewirtschaften. Lediglich in den ersten 1-2 Jahren braucht es intensivere Pflege, danach folgt direkt die Ernte im angestrebten Zeitraum. Astungsmaßnahmen fallen nur an, wenn Überhälter stehen gelassen werden sollen, die im mittleren oder langen Umtrieb zur Ernte von Sägeholz bestimmt sind.

Für alle Entwicklungspfade (mit oder ohne Überhälter) ist jedoch ein guter Anwuchs die Grundlage für gute Erträge, weshalb es sehr darauf ankommt im ersten und ggf. auch im zweiten Jahr nach der Pflanzung eine ausreichend intensive Pflege sicherzustellen.



Abbildung 17 - Streifen mit belgischen Pappelsorten im Kurzumtrieb 14 Monate nach der Pflanzung. Landwirtschaftsbetrieb Rainer Guhl, Brandenburg. Planung durch baumfeldwirtschaft.de – Deutsche Agroforst GmbH.

Für die Biomassenutzung werden Pappeln einfach wachsen gelassen und alle 3-8 Jahre auf den Stock gesetzt. Kombiniert mit anderen Bäumen muss darauf geachtet werden, dass die Pappel einerseits den anderen Bäumen nicht in die Krone wächst, andererseits muss sie selbst auch den Raum für die Entfaltung ihrer Krone haben.

Der Entnahmezeitpunkt hängt vom gewünschten Durchmesser der Bäume oder vom Licht- und Raumbedarf der benachbarten Bäume ab. Sobald Kronen wertvollerer Bäume sich nicht mehr frei entwickeln können, sollten die Pappeln entnommen werden, bzw. ist abzuwägen, ob die Pappeln länger gehalten werden, um eine wertvollere Zielstärke zu erreichen. Unabhängig davon können die

Pappeln jederzeit auch früher auf den Stock gesetzt und zur Erzeugung von Hackschnitzeln genutzt werden.

Eine Beikrautregulierung am Stamm sollte in den ersten 2 Jahren unbedingt erfolgen, danach kann darauf verzichtet werden. Bei reinen Pappelpflanzungen wird i.d.R. mit einer Fräse oder Egge nah an den Reihen entlang gefahren, so dass der Boden offen bleibt. Geeignete Geräte sind Umkehrfräsen, Kreiseleggen oder ggf. Scheibeneggen. Für eine Bodenpflege bis dicht an die Stämme und in der Pflanzreihe kann eine im Frontanbau montierte Kombi aus Rad- und Fingerhacke verwendet werden, wie sie im Wein- und Obstbau üblich ist. Auch Unterstock-Pflegegeräte wie z.B. Krümler mit Taster und Rückholautomatik sind geeignet, aber selten verfügbar.

Die Einbringung einer Mulchschicht kann nach eigener Einschätzung erfolgen, erfahrungsgemäß ist der Aufwand jedoch höher als der Mehrwert. Bei Pflanzung an einem Retentionsgraben kann nur hangabwärts der Bäume gefräst werden, da oberhalb die unbedingt zu schonende Grabenböschung liegt. Dies reicht jedoch aus, um der Pappel genug Raum für den Zutritt von Niederschlagswasser zu verschaffen. Auch hier kann eine Mulchschicht hilfreich sein.

Einen idealen Pflegezustand in den ersten Jahren, der mit verschiedenen lokal verfügbaren Geräten erreicht wurde zeigen die folgenden Bilder. Abbildung 18 zeigt den ersten Pflegegang nach der Pflanzung. 19 zeigt das Stadium im 3. Standjahr, in dem keine Pflege mehr notwendig ist. 20 zeigt das 4. Standjahr und die guten Zuwächse durch die Pflege in den ersten 2 Jahren.



Abbildung 18 - Fräsen zwischen zwei Pflanzreihen eines Pappelstreifens im ersten Sommer nach der Pflanzung. Landwirtschaftsbetrieb Sonja Moor, Brandenburg. Planung durch baumfeldwirtschaft.de – Deutsche Agroforst GmbH.



Abbildung 19 - Pappelstreifen im 3. Standjahr. Ein Offenhalten des Bodens kann hier, begünstigt durch Laubfall und Beschattung unterbleiben. Pflege vorher mit Fräse zwischen den Reihen. Landwirtschaftsbetrieb Wilmars Gärten GmbH, Brandenburg. Planung durch baumfeldwirtschaft.de – Deutsche Agroforst GmbH.



Abbildung 20 - Pappelstreifen zu Beginn des 4. Standjahres bei 20 Bodenpunkten und unter 400 mm Jahresniederschlag, teilweise aufgeastet. Pflegearbeiten am Boden waren bereits im Vorjahr nicht mehr nötig. Pflege vorher mit Fräse zwischen den Reihen. Landwirtschaftsbetrieb Wilmars Gärten GmbH, Brandenburg.

3.3 Pflege der Keyline-Strukturen

Keyline-Retentionsgräben können Wasser in der Fläche umverteilen und halten, so dass Gehölze und Bodenkulturen von mehr Feuchtigkeit profitieren. Sie werden mit dem Betrieb entsprechend der Erfordernisse (Mechanisierung, Wasserführung etc.) geplant und umgesetzt. Nach der Anlage sollten sie mit einer stabilen Dauerbegrünung eingesät werden, auf manchen Böden findet auch eine ausreichende Selbstbegrünung statt. Auf dem oberen flachen Bankett des Grabens und unterhalb der Bäume kann maschinell gemäht werden. Auch ein Hacken an den Bäumen ist motormanuell oder mit einer Befahrung unterhalb der Bäume möglich. Der Bereich zwischen Bäumen und Grabensohle muss motormanuell gemäht werden.



Abbildung 21 - Pflanzung an einem Keyline-Retentionsgraben nach 20 mm Regen. Der Streifen wird beidseitig der Bäume begrünt und dadurch für Befahrung und Wasserrückhalt stabilisiert. Projekt Slow Water auf dem Katzhof, Schweiz. Planung durch baumfeldwirtschaft.de – Deutsche Agroforst GmbH.

4 Fazit und Ausblick

Das bei Kannawurf/Sachsenburg angelegte Keyline Design mit Agroforstgehölzen ist durch seine Struktur wegweisend für die Entwicklung der Klimawandelanpassung der deutschen Landwirtschaft. Es hat bereits im ersten Jahr gezeigt, wie wirksam ein funktionierendes Keyline Design in der Vermeidung von Erosion, Sturzfluten und Hochwasser sein kann.

Dennoch ist es mit den immer stärker zutage tretenden Klimafolgen nicht einfach, Bäume auf großen Ackerflächen zu etablieren. Es braucht robuste Baumarten und eine gut ausgeführte Pflanzung. Dies wurde mit der Wahl von Walnuss und Pappel sowie mit der Nutzung der speziellen Tiefpflanzmaschine gewährleistet.

Darüber hinaus muss ein Keyline- und/oder Agroforstsystem von den Bewirtschaftern in den laufenden Betrieb integriert werden. Dabei muss es die klare Entscheidung für die Erbringung der zum Erfolg führenden Arbeiten geben, denn nur bei gutem Anwachsen und Gedeihen der Baumstreifen werden sich Wasserrückhalt, Verdunstungsschutz, Nützlingslebensraum, Ertragsstabilisierung etc. einstellen. Diese sind teilweise in ökonomischen Betrachtungen schwer darstellbar, werden aber erfahrungsgemäß von Landwirtschaftsbetrieben nach ein paar Jahren Agroforst wahrgenommen und als hochwertiger Zugewinn für den Betrieb empfunden.

Die Wirkung des Keyline Designs in Kannawurf ist bereits jetzt nicht zu unterschätzen. Viele Anwohner und Anwohnerinnen gehen bereits bei Spaziergängen immer wieder gezielt zur Fläche, um sich den Entwicklungszustand anzusehen. Viele empfinden große Erleichterung, weil die letzten Starkniederschläge nicht wie in den Vorjahren zu Sturzfluten mit starken Schlammablagerungen im Ort geführt haben. Auch Landwirte von weiter her, Verbände, Amtspersonen mit Zuständigkeiten für Hochwasserschutz etc. interessieren sich für das System und informierten sich über seine Entwicklung. Es ist das erste größere Keyline Design in der konventionellen Landwirtschaft. Der Zugewinn an Akzeptanz und Ansehen für die Landwirtschaft ist bereits nach kurzer Zeit zu beobachten.