

UNIVERSITÄT KASSEL
FACHBEREICH ÖKOLOGISCHE LANDWIRTSCHAFT
BACHELOR ÖKOLOGISCHE LANDWIRTSCHAFT

Bachelorarbeit

ZUM THEMA

Einführung in die Planung von Agroforstsystemen im Programm QGIS unter Berücksichtigung von Keyline- bzw. Hauptlinien-Design – ein Leitfaden für die Praxis

- 1. Betreuerin: Dr. Rike Becker*
- 2. Prüfer: Prof. Dr. Christoph Gornott*

vorgelegt von:
Tristan Mitzel (geb. 22. November 1997, Eching)
Matrikelnummer: 35382690
Email-Adresse: tristanm@posteo.de

Witzenhausen, Februar 2022

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Material und Methoden	2
3	Stand des Wissens	3
4	Überblick zur Agroforstwirtschaft in Deutschland	4
4.1	Historische Agroforstsysteme	5
4.2	Moderne Agroforstsysteme	5
4.3	Vor- und Nachteile von Agroforstsystemen	6
4.4	Rechtliche Hemmnisse	7
5	Keyline-Design	8
5.1	Geomorphologie	9
5.2	Keypoints und Keylines	10
5.3	Keyline-Kultivierungsmuster	11
5.4	Anpassung der Keyline-Geometrie zur Hauptlinien-Geometrie	14
5.5	Keyline Scale of Permanence	14
6	Planung von Agroforstsystemen	16
6.1	Ausrichtung und Breite der Agroforststreifen	17
6.2	Agroforstförderung	17
6.3	Gehölzarten- und -sortenauswahl	18
6.3.1	Standortverhältnisse	19
6.3.2	Ökonomie	22
7	Planung in QGIS	23
7.1	Koordinatensysteme und Kartierung	23
7.1.1	Geographische Koordinatensysteme	23
7.1.2	Projizierte Koordinatensysteme	25
7.1.3	Drohnenkartierung	26
7.1.4	GNSS, RTK, PPK, SAPOS und LiDAR	27
7.2	QGIS-Versionen und Projektstruktur	28
7.3	Nützliche Erweiterungen	30
7.3.1	Plugins	30
7.3.2	Weitere externe Anwendungen (SAGA, GDAL, GRASS, OTB)	31
7.4	Kartenmaterial	32
7.4.1	QuickMapServices und Nominatim Locator Filter	32
7.4.2	Google Earth Pro	33
7.4.3	Kartenmaterial bei den Ämtern	33

7.4.4	Freie Datensätze für GIS	36
7.4.5	Karten hinzufügen und zuschneiden	36
7.4.6	Karten georeferenzieren	38
7.4.7	Grenzsteine und Grundstücksgrenzen	39
7.5	Rasteranalyse und -extraktion	40
7.5.1	Schummerung, Neigung, Perspektive	40
7.5.2	Konturlinien erzeugen	43
7.5.3	Einzugsgebiete berechnen	44
7.6	Wichtige Werkzeuge	44
7.6.1	Temporäre Layer speichern	44
7.6.2	Werkzeugkiste	45
7.6.3	Werkzeugleisten	45
7.6.4	Attributtabelle und Feldrechner	47
7.7	Vektordaten einzeichnen, bearbeiten und darstellen	49
7.7.1	Keyline- bzw, Hauptlinien-Design	49
7.7.2	Gehölzstreifen	52
7.7.3	Pufferbereiche (Agroforstförderung, Nachbarschaftsrecht, Leitungen, Drainagen usw.)	54
7.7.4	Gehölzstreifen um Pufferbereiche beschneiden	57
7.7.5	Längen und Flächen ermitteln	57
7.7.6	Gehölze einzeichnen	58
7.7.7	Symbolisierung und Beschriftung	60
7.7.8	Layouts/Karten erstellen	62
7.8	Übertrag der Planung in die Fläche	63
8	Potenzial durch QGIS-Erweiterungen	65
9	Diskussion	66
10	Schlussfolgerung	67
11	Zusammenfassung	68
12	Anhang	69

Abbildungsverzeichnis

1	Einteilung einiger Käme und Täler eines Gebirges in Hauptkäme (rot), Primärkäme (orange) und Sekundärkäme (gelb), sowie Haupttäler (lila), Primärtäler (blau) und Sekundärtäler (hellblau)	10
2	Keypoints und Keylines in Primärtälern (Pavlov, 2015)	10
3	Natürlicher Wasserfluss im Boden (Krawczyk und Goldwynn, o.D.)	12
4	Kultivierungsmuster (grün gestrichelt) erstellt durch Parallelversatz einer Ausgangslinie (lila) abgeleitet von einer Keyline (rot) in einer idealen Landschaft (Doherty und Jeeves, 2017)	13
5	Winterhärtezonen für Gehölze in Mitteleuropa (Heinze und Schreiber, 1984 in Bärtels und Schmidt, 2014, S.18)	21
6	Geographische Breitengrade (links) und Längengrade (rechts) (Gimond, 2021)	24
7	Von der einfachen zylindrischen Projektion zur Mercator-Projektion (Britannica, o.D.)	24
8	Pazifik-zentrierte Robinson-Projektion (Wikipedia, o.D.(a))	25
9	Referenzellipsoid und Geoid (Institut für Digital Humanities, Universität zu Köln, o.D.)	25
10	Universal Transverse Mercator Zylinder (GISGeography, 2021a)	25
11	UTM Zonen global (GISGeography, 2021a)	26
12	UTM Zonen in Deutschland (Wikipedia, o.D.(e))	26
13	Unterschied zwischen einem DTM (deutsch: Digitales Geländemodell (DGM)) und einem DSM (deutsch: Digitales Oberflächenmodell (DOM)) (Wikipedia, o.D.(b))	27
14	Projekt-Koordinatenbezugssystem (KBS) in QGIS festlegen	29
15	Bedienung des Plugins QuickMapServices	32
16	Benutzung des Plugins NominatimLocatorFilter	33
17	Historische Satellitenbilder in Google Earth Pro anzeigen lassen	33
18	Erosionsrinnsal in Talsenke, sichtbar auf einem Digitales Orthophoto (DOP)20	34
19	Hinzufügen von Vektorlayern und Aufrufen des Layer-Bedienfelds	37
20	Rasterlayer zuschneiden um Rechenleistung zu sparen	38
21	Transformationseinstellungen bei der Georeferenzierung einer Karte	38
22	Bedienfeld der Georeferenzierung mit bereits 5 gesetzten Markierungspunkten	39
23	Koordinaten der Grenzsteine als .txt-Datei im csv-Format	40
24	Bedienfeld der Rasteranalyse Schummerung	40
25	Einstellung der Symbolisierung für das Perspektive-Layer	42
26	Darstellung der Perspektive über einem DGM20, Maßstab 1:16.000	42
27	Beschriftung von Konturlinien einstellen	43
28	Beschriftete Konturlinien über DGM1	44
29	Werkzeugkiste	44
30	Attributwerkzeuge	46
31	Erweiterte Digitalisierung Bedienfeld	47
32	Neues Feld (Spalte) in der Attributtabelle hinzufügen	48

33	Feldrechner mit der Funktion \$length, um Längen von Linien zu ermitteln	48
34	Bedienfeld des Plugins PisteCreator	49
35	Parameter-Einstellungen des Plugins PisteCreator	50
36	Mithilfe des Skidding track Modus des PisteCreator Plugins gezogene Linie in 10 m Segmenten mit 1 % Gefälle aus dem Tal zum Kamm hin, 0 % Gefälle auf dem Kamm und 1% Steigung zum nächsten Tal. Die Einzugsgebiete (Drainage basins) und Wasserläufe (Channels) wurden mithilfe des SAGA-Werkzeugs „channel network and drainage basins“ ermittelt.	51
37	Parameter-Einstellung des Werkzeugs „Feld versetzter (paralleler) Linien“	52
38	Parallel versetzte Linien unterschiedlicher Hauptlinien	53
39	Voneinander getrennte Gehölzstreifen unterschiedlicher Hauptlinien	54
40	Pufferbereiche um Grenzen und Elemente, um ausreichend Abstand von Gehölzstreifen zu gewährleisten	55
41	Um einige Pufferbereiche bereinigte Gehölzstreifen	57
42	Bedienfeld des Werkzeugs „Punkte entlang Geometrie“	59
43	Entlang von Gehölzstreifen mit dem Werkzeug „Punkte entlang einer Geometrie“ eingezeichnete Punkte	59
44	Symbolisierung von eingezeichneten Gehölzen	60
45	Beschriftung der eingezeichneten Gehölzsorten aus der Attributtabelle	61
46	Eingezeichnete Gehölze mit passender Symbolisierung und Sortenbeschriftung	61
47	Layout der finalen Agroforstplanung auf dem Werragut bei Eschwege für den Verein Regenerative und soziale Landwirtschaft e.V. und in Zusammenarbeit mit dem Planungsbüro Triebwerk	63
48	Koordinaten von Geometrien eines Layers in .csv-Datei abspeichern	64
49	Keyline-Design auf der Nevallan-Farm von P.A. Yeomans und seinen Söhnen Neville und Allan in North Richmond, NSW, Australien (Google Earth Pro, historisches Satellitenbild 12/2012)	69
50	Keyline-Design auf der Nevallan-Farm von P.A. Yeomans und seinen Söhnen Neville und Allan in North Richmond, NSW, Australien (Google Earth Pro, historisches Satellitenbild 01/2014)	70
51	Keyline-Design auf der Nevallan-Farm von P.A. Yeomans und seinen Söhnen Neville und Allan in North Richmond, NSW, Australien (Google Earth Pro, historisches Satellitenbild 02/2017)	70
52	Keypoints an Sattelpunkten zwischen zwei Hügeln und einem Tiefpunkt eines Berggrückens (Yeomans, 1958, S. 59)	71
53	Keyline Scale of Permanence erweitert (Doherty und Jeeves, o.D.)	72
54	Ökologische Potenz mitteleuropäischer Baumarten (Otto, 1994 verändert nach Forster, Falk und Reger, 2019, S. 13)	73

55	Einfluss besonderer Standortfaktoren auf das Anbaurisiko von 21 Baumarten. Der Basenverlaufstyp teilt sich auf in folgende Typen auf: Typ 1+: sehr basenreich, Typ 1–: sehr basenreich, geringes Kaliumangebot, Typ 2: basenreich, 3: mittelbasisch, Typ 4: basenarm, Typ 5: sehr basenarm (Forster, Falk und Reger, 2019, S. 19)	74
56	Winterhärtezonen für Gehölze in Europa (Heinze und Schreiber, 1984 in Bärtels und Schmidt, 2014, S.19)	74
57	Dreißigjährige globale Karte der USDA-Winterhärtezonen für den Zeitraum 1978-2007 (Magarey, Borchert und Schlegel, 2009)	75
58	Die Ökoregionen (siehe Abb. 59) sind in 14 Biome und acht biogeografische Bereiche eingeteilt (Olson u. a., 2001)	76
59	Karte der terrestrischen Ökoregionen der Welt mit 867 verschiedenen Einheiten (Olson u. a., 2001)	77
60	SAPOS GNSS-Referenzstationen	78

Tabellenverzeichnis

1	Arten von Gehölzen, deren Anbau bei Agroforstsystemen ausgeschlossen ist (Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, 2021 und Bundesrat, 2021) . . .	18
2	Rasterdaten und Geoportale der Landesämter	35
3	Beginn der nächsten Himmelsausrichtungen in 8 Klassen in Prozent und Grad	41
4	Gesetzestexte der Bundesländer zum Nachbarschaftsrecht, in welchen der Abstand von Pflanzen zu angrenzenden Grundstücken geregelt ist	56

Abkürzungsverzeichnis

CAD Computer aided design and drafting

DD Decimal Degrees

DeFAF Deutscher Fachverband für Agroforstwirtschaft

DGM Digitales Geländemodell

DMS Degrees/Minutes/Seconds

DOM Digitales Oberflächenmodell

DOP Digitales Orthophoto

DWD Deutscher Wetterdienst

ELER Förderprogramm zur Entwicklung des ländlichen Raums

EPSG European Petroleum Survey Group Geodesy

ETRS89 Europäisches Terrestrisches Referenzsystem 1989

FAO Food and Agriculture Organization of the United Nations

FLOSS free/libre and open-source software

FOSS free and open-source software

GAP Gemeinsame Agrarpolitik der Europäischen Union

GDAL Geospatial Data Abstraction Library

GIS Geoinformationssystem

GLONASS Globalnaja nawigazionnaja sputnikowaja sistema, deutsch: Globales Satellitennavigationssystem

GNSS Global Navigation Satellite System

GPS Global Positioning System

GRASS Geographic Resources Analysis Support System

GRS80 Geodätisches Referenzsystem 1980

IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change

KBS Koordinatenbezugssystem

LiDAR Light Detection and Ranging

o.D. ohne Datum

OGP International Association of Oil and Gas Producers

OSM Open Street Map

OTB Orfeo ToolBox

PFAF Plants For A Future

PPK Post-Processed Kinematic

QGIS Quantum Geoinformationssystem

RTK Real Time Kinematic

SAGA System für Automatisierte Geowissenschaftliche Analysen

SAPOS Satellitenpositionierungsdienst der deutschen Landesvermessung

USDA United States Department of Agriculture

UTM Universal Transverse Mercator-Koordinatensystem

WGS84 World Geodetic System 1984

1 Einleitung

Die Landbewirtschaftung (Landwirtschaft, Forstwirtschaft und andere Landnutzung) ist für knapp ein Viertel (~10 – 12 GtCO₂eq / Jahr) der anthropogenen Treibhausgasemissionen verantwortlich, wobei die Landwirtschaft den größten Teil davon ausmacht (IPCC, 2014, S.816). Außerdem trägt die Landwirtschaft zum Verlust der Biodiversität, zur Erosion und zu Humusverlusten und damit einhergehend zu Verwüstung und Überschwemmungen bei. Wie lange unser Oberboden bei einer Erosionsrate, die größer ist als die Bodenneubildung (FAO, 2019), hält, ist letztlich nur eine Frage der Zeit. Die Geschichte zeigt die menschengemachte Verwüstung der Epizentren menschlicher Zivilisation durch nicht nachhaltige Landbewirtschaftung (Montgomery, 2007 und Montgomery, 2017). Doch wie es beispielsweise in der Permakultur häufig betont wird, das Problem ist gleichzeitig auch die Lösung. Menschengemachte Ökosysteme wie bspw. Streuobstwiesen zählen zu den artenreichsten Ökosystemen Mitteleuropas. Der Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) schlägt schon seit 2014 die Agroforstwirtschaft, wozu unter anderem auch Streuobstwiesen zählen, als Lösungsansatz mit sehr großem Potenzial vor (IPCC, 2014). Während in Ländern wie Frankreich, Großbritannien, den USA oder Neuseeland Agroforstsysteme bereits seit Jahrzehnten erprobt werden (Bender u. a., 2009), scheitert die Umsetzung in Deutschland nach wie vor an schlechten Förderbedingungen, ungenauen rechtlichen Bestimmungen und einer unverständlichen Ablehnungs-Haltung der zuständigen Ämter und Behörden gegenüber der Integration von Gehölzen in Agrarproduktionssystemen und das Zusammendenken von Naturschutz und Landwirtschaft auf derselben Fläche.

Trotzdem erfährt die Agroforstwirtschaft in Deutschland immer mehr Aufmerksamkeit und die Nachfrage nach Flächenplanungen sowie Beratung steigt zunehmend (Kayser, 2022, Minute 16 – 17, Wack, 2022, Minute 19, Gerhardt, 2022, Minute 9 und Gaede, 2022, Minute 3). Durch die neue Gemeinsame Agrarpolitik der Europäischen Union (GAP) sollen nun erstmals Agroforstsysteme auch in Deutschland als Landwirtschaftsform mit eigenem Flächencode förderfähig werden. Bisher gibt es bei den zuständigen Ämtern und bei den Anbauverbänden wie Bioland, Demeter usw. kaum bis keine Informationen oder Beratung zur Anlage und Bewirtschaftung von Agroforstsystemen. Dieser Aufgabe widmen sich kleine Unternehmen und Selbstständige im Auftrag durch Landwirte und Landwirtinnen oder die Landwirte und Landwirtinnen selbst.

Für die Planung von Agroforstsystemen werden neben der Planung direkt auf der Fläche, ggf. mithilfe von Karten, diverse Softwares benutzt. Für einfachere Planungen reicht häufig analoge Technik wie ein A-Frame mit Wasserwaage und ein Maßband oder schnell erlernte und intuitive Software wie Scribble Maps, Google Maps oder Google Earth Pro, welche jedoch bei umfassenderen Planungen, z.B. unter Einbezug von Keyline-Design, einem ganzheitlichen Planungsansatz mit Fokus auf den Wasserhaushalt, oder konturlinienparalleler Bewirtschaftung, schnell an ihre Grenzen stoßen. Neben ein paar wenigen teuren Softwares wie ArcGIS oder Vectorworks bietet sich vor allem QGIS als free/libre and open-source software (FLOSS) für die Planung von Agroforstsystemen an. QGIS wird derzeit von den meisten professionellen Planern in Deutschland zur Planung von Agroforstsystemen benutzt, jedoch ist es eine Software mit einem sehr umfangreichen Anwendungsbereich und ist nicht auf die Planung von Agroforstsystemen zugeschnitten (Wack, 2022, Minute 25). Außerdem ist es

ohne Einführung schwierig in der Handhabung, vor allem weil zur Planung von Agroforstsystemen bisher nahezu keine Literatur, Videos oder Kurse angeboten werden. Es gibt eine große Menge an Menschen, die gerne in die Agroforstplanung einsteigen würden und an Einleitungen in die theoretischen Planungsaspekte, sowie praktische Einführungen in QGIS interessiert sind.

In dieser Arbeit soll es darum gehen, wie Agroforstsysteme mit QGIS geplant werden können, welche Überlegungen wichtig sind und welche Daten und Werkzeuge benötigt werden und wo diese zu finden sind. Außerdem soll es darum gehen, wie Keyline-Design bei den Planungen miteinbezogen werden kann, da diese Art der Bewirtschaftung ein großes Potenzial bei der Minderung der Wassererosion, Erhöhung der Niederschlags-Infiltration und dadurch Senkung der Gefahr von Überschwemmungen und Trockenheit, birgt.

Die Kapitel 4 und 5 geben eine Einführung in die Thematik. Anschließend wird in Kapitel 6 die Herangehensweise bei der Planung von Agroforstsystemen ausgeführt und in dem Kapitel 7 eine Einführung in die Benutzung des Programmes QGIS gegeben und anhand von praktischen Beispielen erklärt, wie Agroforstsysteme damit geplant werden können.

In dieser Arbeit kann nur auf die Grundlagen der Keyline-Geometrie eingegangen werden, für die Planung von Rückhaltebecken, Dämmen und Teichen werden weitere Kenntnisse aus der Hydrologie, dem Erdbau und dem Wasserbau benötigt, welche in diesem Rahmen nicht vertieft werden können. Bei einer nicht fachgerechten Umsetzung von Erdbauten können Keyline-Systeme auch genau die Katastrophen verursachen, die sie eigentlich verhindern sollen. So berichtet Gerhardt, 2022, Minute 15, dass wenn Überläufe bei Rückhaltebecken nicht richtig eingeplant und dimensioniert sind, es bspw. zu Damnbrüchen mit erheblichen Erosionsschäden kommen kann.

2 Material und Methoden

Für die Ausarbeitung dieser Bachelorarbeit wurde angesammeltes Wissen, Erfahrungen und Literatur aus der Studienzzeit, unter Rücksprache mit aktuellen Planern und Planerinnen in der Agroforstwirtschaft, mit der vorhandenen Fachliteratur abgeglichen und durch diese ergänzt. Meine bisherige Erfahrung und mein Interesse an der Planung von Agroforst- und Waldgartensystemen mithilfe der QGIS-Software und die aktuelle stark steigende Nachfrage nach Beratung und Agroforstplanungen gab den Anlass zum Verfassen dieser Bachelorarbeit. Großer Dank geht hierbei an das Agroforst-Planungsbüro Triebwerk (Christoph Meixner, Nicolas Haack und Janos Wack) und Philipp Gerhardt, die mich inspirieren und an diese Thematik herangeführt haben.

Es wurden die Bibliothekskataloge der Universität Kassel (KARLA, HeBIS, KOBRA), sowie wissenschaftliche Datenbanken (Science Direct, Organic Eprints) und die Internetsuchmaschine Google Scholar zur Recherche genutzt. Diese wurden nach relevanten Begriffen, wie „QGIS“, „Keyline(-Design)“ und „Agroforstplanung“ auf englischer und deutscher Sprache durchsucht.

Außerdem wurden Interviews mit professionellen Agroforst- und Landschafts-Planern geführt und deren Hinweise und Anregungen miteinbezogen. Da die Interviews nur der Hervorhebung der Relevanz des Themas, der Belegung einiger Aussagen und der Diskussion dienen, nicht aber die Ergebnisse oder die Struktur der Arbeit beeinflussen, wurden diese nicht verschriftlicht sondern sind sind

als .mp3-Dateien auf einer CD-ROM der Arbeit beigelegt und im Text mit Minutenangabe zitiert.

Die Struktur des Kapitels 7 ist grob an der Struktur des Leitfadens von Philipp Gerhardt orientiert (Gerhardt, 2019a), die Inhalte wurden dabei autodidaktisch, durch Recherchieren und Optimieren des Planungs-Vorgangs erarbeitet. Das Kapitel 7.1.3 basiert auf den Inhalten eines mehrtägigen Online-Kurses von Tobias Kellner, welcher im Frühjahr 2021 stattfand.

Da es viel um die Software QGIS gehen wird, deren großer Vorteil ist, dass sie „free/libre and open-source software“ ist, möchte ich vorab erläutern, was eine freie/libre Software und was eine open-source Software ausmacht. Die Begriffe frei bzw. libre und open-source werden häufig synonym verwendet, sie unterscheiden sich jedoch in ihrer Bedeutung und die dazugehörigen Gruppen in ihrer Philosophie. Bei der freien Software, die auch libre Software genannt wird, um den Fokus auf Freiheit und nicht auf gratis bzw. den Preis zu lenken, geht es um die Freiheit und Gemeinschaft der Nutzer und Nutzerinnen. Sie haben die Freiheit die Software auszuführen, zu kopieren, zu verbreiten, zu untersuchen, zu ändern und zu verbessern (GNU, o.D.). Den Mitmenschen zu helfen und die gesamte Gesellschaft profitieren zu lassen, ist ein Ziel freier/libre Software.

Auch bei open-source Software kann der Quellcode eingesehen, geändert und genutzt werden. Dabei steht jedoch vor allem der praktische Ansatz eines offenen Quellcodes im Vordergrund und teilweise fällt auch proprietäre/unfreie Software unter die Definition von open source Software.

Da sich diese beiden philosophischen Lager der freien Software Bewegung jedoch auch großteils für die gleichen Sachen einsetzen und gut miteinander arbeiten, kann eine neutrale Bezeichnung herangezogen werden: „free/libre and open-source software (FLOSS)“. Diese wird gegenüber der Bezeichnung „free and open-source software (FOSS)“ bevorzugt, da dadurch die Namen der beiden Lager gleichermaßen hervorgehoben werden.

Für die Erstellung dieser Arbeit wurde fast ausschließlich FLOSS, wie GNU/Linux als Betriebssystem, Firefox als Browser mit Startpage als Suchmaschine, sowie \LaTeX als Texteditor mit JabRef als Literaturverwaltungsprogramm verwendet. Die Interviews wurden mit der Software OBS-Studio aufgenommen und über BigBlueButton geführt. Bilder wurden mit der Software GIMP bearbeitet. Teilweise wird in dieser Arbeit, wenn bisher keine FLOSS-Alternative vorhanden ist, auf proprietäre Software verwiesen oder deren Dienst beansprucht, was jedoch für die Planung von Agroforstsystemen nicht zwingend notwendig ist. Dies ermöglicht den Einstieg in die Agroforstplanung auch ohne hohe Kosten. Die Schattenbibliothek Sci-Hub setzt sich außerdem dafür ein „alle Hindernisse zu beseitigen, die die größtmögliche Verbreitung von Wissen in der menschlichen Gesellschaft behindern“ (Sci-Hub, o.D.). Ohne die Freie Software Community wäre diese Arbeit nicht in diesem Umfang möglich gewesen.

3 Stand des Wissens

Agroforstwirtschaft und Keyline-Design sind immer noch relativ neue Themen in der Landwirtschaft in Deutschland. Neben Forschungen zu Kurzumtriebsplantagen werden erst seit ca. 2004 von Universitäten ausgehend Forschungsprojekte zu Agroforstsystemen in Deutschland durchgeführt (Kayser, 2022, Minute 5). Durch das zweijährig stattfindende Forum Agroforstsysteme kamen die Akteure

und Akteurinnen der Agroforstwirtschaft seit 2009 regelmäßig zusammen und tauschten sich zu der Wissenschaft und Praxis aus. Erst seit der Gründung des Deutschen Fachverbandes für Agroforstwirtschaft (DeFAF) 2019 wird Lobbyarbeit betrieben und Einfluss auf die Politik genommen, was sich auch im Aufkommen der Agroforstförderung ab 2023 widerspiegelt.

International sind Agroforstsysteme schon länger unter wissenschaftlicher Untersuchung und es gibt viele Veröffentlichungen, in denen die positiven Effekte von Agroforstsystemen bewiesen und dargestellt werden (z.B. in Reeg u. a., 2009, Nair und Garrity, 2012, Castro u. a., 2019).

Das Interesse an der regenerativen Landwirtschaft und der Agroforstwirtschaft als ein Element derselben, trifft vor allem bei jungen Menschen und Quereinsteigern auf Anklang (Gerhardt, 2022, Minute 11 – 12). Dies zeigt sich auch an der verhältnismäßig großen Anzahl an Projekt-, Bachelor- und Masterarbeiten, die zu dem Thema verfasst werden, wozu auch diese Arbeit gehört. Mit Keyline-Design befassten sich hingegen erst wenige Arbeiten (bspw. Kullik, 2016 und Hofmann, 2019).

Keyline-Design wird zwar von vielen Planenden und Praktizierenden weltweit als wirksam empfunden, es gibt jedoch bisher kaum wissenschaftliche Studien über die Wirksamkeit des Einsatzes von Keyline-Design oder des Keyline-Tiefenmeißels (Fahrendorf, 2022, Minute 22 und Wack, 2022, Minute 28). Außerdem ist der Ansatz des australischen Begründers von Keyline-Design, P. A. Yeomans, nicht ohne Weiteres auf die Verhältnisse außerhalb Australiens übertragbar. Ein moderner angepassterer Ansatz wurde von Darren Doherty (Doherty und Jeeves, 2017), Mark Shepard (Shepard, 2020), sowie parallel in Deutschland von Philipp Gerhardt entwickelt.

Kayser, 2022, Minute 22 – 23, gibt zu bedenken, dass Keyline-Design ursprünglich für Weidesysteme in Australien entwickelt wurde und es bisher keine Studien gibt, die zeigen, dass das System bspw. auf sandige Ackerböden übertragbar wäre und ab welcher Neigung des Geländes es sinnvoll eingesetzt werden kann.

Professionelle Agroforstplanungen werden erst seit etwa fünf Jahren, seit die Nachfrage ausreichend stark gestiegen ist, in Deutschland angeboten. Dementsprechend gering sind die Erfahrungswerte und das Angebot an Leitfäden und Kursen zur Planung von Agroforstsystemen. Philipp Gerhardt hat 2019 einen Wochenendkurs mit dem Titel „QGIS Einsteigerkurs – Fokus Waldgarten- und Agroforstplanung“ gehalten und dafür einen Leitfaden erstellt. Seit Beginn 2022 trifft sich außerdem regelmäßig eine vom Deutscher Fachverband für Agroforstwirtschaft (DeFAF) ins Leben gerufene Arbeitsgruppe zum Thema „GIS und Agroforst“ und dieses Jahr möchte der DeFAF außerdem eine Agroforst-Ausbildung starten, in welchen auch Aspekte der Planung von Agroforstsystemen vermittelt werden sollen.

4 Überblick zur Agroforstwirtschaft in Deutschland

Der gezielte Anbau von Gehölzen in Kombination mit landwirtschaftlichen oder gärtnerischen Kulturen und / oder mit der Haltung von Nutztieren (Definition des DeFAF) - die Agroforstwirtschaft - hat eine lange Geschichte und ist in vielen Ländern der Tropen, bspw. in Form von Waldgärten, die Regel und nicht die Ausnahme. Auch in Deutschland wurde die Agroforstwirtschaft früher sowohl auf landwirtschaftlichen Flächen als auch im Wald verstärkt praktiziert.

4.1 Historische Agroforstsysteme

In der Geschichte gab es eine Vielzahl an Nutzungsarten von Bäumen in der Kulturlandschaft Deutschlands, die auch unter die Definition der Agroforstwirtschaft fallen. Dazu gehörten und teilweise gehören:

1. die Scheitelwirtschaft zur Futterlaubgewinnung,
2. die Zeidlerei als Vorgänger der Imkerei,
3. die Kopfholzkultur,
4. Streuobstwiesen und -äcker,
5. Hecken,
6. sowie Waldweiden, z.B. Hutewälder.

Kobold und Reeg, 2009, geben an, dass der Obstbau in früheren Zeiten überwiegend mit Ackerland kombiniert war, also Streuobstäcker überwogen und nicht Streuobstwiesen, wie es heute üblich ist.

Durch die systematische Trennung von Land- und Forstwirtschaft ab dem 19. Jahrhundert und durch die Agrarförderpolitik ab der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts verlor die Agroforstwirtschaft zunehmend an Aufmerksamkeit (Kobold und Reeg, 2009, S. 173-174 und DeFAF, o.D.(a)). Im Zuge der Flurbereinigung von 1950 – 1970 in Westdeutschland und der Kollektivierung in Ostdeutschland wurden neben der Begradigung und Ebnung von Flurstücken, Wegen und Flüssen und der Entwässerung vieler Flächen, etliche Feldgehölze, Hecken, Streuobstwiesen und Alleen gefällt, um Platz für mehr Ackerland zu schaffen und die Produktion zu intensivieren. Es wurden sogar Prämien von Landwirtschaftsämtern für die Fällung von Obstbäumen und Rodung von Sumpfwiesen gezahlt (Wieland, 1974).

Dies führte zu einer gewaltigen Umgestaltung der Landschaft. Durch die Entfernung der Landschaftselemente und die Vergrößerung der Schläge, konnte Oberflächenwasser ungebremst abfließen. „Die Flurbereinigung hat resultierend daraus starke Auswirkungen auf die Abflussbildung auf landwirtschaftlich genutzten Flächen“ (Mendel, 2000 in Sennekamp, 2006, S. 16), und dadurch auf die Bodenerosion.

4.2 Moderne Agroforstsysteme

Aufgrund ihrer positiven Eigenschaften finden moderne Agroforstsysteme heute zunehmend wieder Interesse (Kobold und Reeg, 2009). Die Bedrohung ökologischer Zusammenbrüche und ein steigendes Nachhaltigkeits-Bewusstsein tragen zu diesem Trend bei. In Deutschland haben außerdem die Trockenheitsjahre 2018 und 2019 zu einer veränderten Wahrnehmung der aktuellen Landwirtschaft im Bezug zum Klimawandel geführt und zu einem Interesse an Agroforstsystemen geführt (Kayser, 2022, Minute 6 – 7 und Wack, 2022, Minute 19).

Moderne Agroforstsysteme sind außerdem dadurch gekennzeichnet, dass sie an den heutigen Stand

der Technik, ihre Arbeitsweise und Maschinenbreiten angepasst sind. Während historische Agroforstsysteme auf der Fläche geplant wurden oder entstanden sind, können (und teilweise müssen) Agroforstsysteme heute mithilfe von Geoinformationssystem (GIS)-Anwendungen sehr exakt geplant werden.

4.3 Vor- und Nachteile von Agroforstsystemen

Zu den positiven Auswirkungen von Agroforstsystemen gehören u.a.:

- Veränderung des Mikroklimas und Schutz vor klimatischen Extremen und starken Temperaturschwankungen unter anderem durch die Beschattung der Fläche. Außerdem Verringerung der Windgeschwindigkeit durch die mehr oder weniger geschlossenen Gehölzstrukturen und dadurch eine Verringerung der Verdunstung, des Pflanzenstresses sowie der Winderosion (Jäger, 2016 und Bender u. a., 2009). Der Windschutz tritt vor allem dann auf, wenn die Gehölzreihen quer zur Hauptwindrichtung angelegt werden.
- Werden die Gehölzstreifen konturparallel angelegt, kann der Oberflächenabfluss um bis zu ca. 70 % im Vergleich zu einer Fläche ohne Gehölzstreifen verringert werden (Seidl, 2014 in Schulz u. a., 2020). Die Gehölzstreifen bremsen den Wasserfluss und sorgen so für eine Verringerung der Wassererosion und erhöhen außerdem die Versickerung des Oberflächenwassers (Smith, Levy und Shainberg, 1990 in Schulz u. a., 2020).
- Erhöhung der Bodenfruchtbarkeit durch stärker geschlossene Nährstoffkreisläufe und Humusanreicherung. In Versuchen konnte mithilfe von Kurzumtriebsplantage-Streifen der Stoffaustrag von landwirtschaftlich genutzten Flächen um fast 90 % reduziert werden (Kort, Collins und Ditsch, 1998 in Schulz u. a., 2020). Außerdem werden durch den Laubfall und den Umsatz der Feinwurzeln Nährstoffe verfügbar gemacht. Die Gehölze dringen in tiefere Bodenschichten vor und erschließen dort Wasser und Nährstoffe. Dieser Effekt kann sich durch stabile Symbiosen mit Mykorrhiza-Pilzen verstärken, welche bei den Ackerkulturen immer wieder zerstört werden.
- Schaffung von Strukturvielfalt im Landschaftsbild, was in der Regel als ästhetischer wahrgenommen wird, vor allem bei an die Landschaftskontur angepassten Systemen.
- Zunahme der Biotopvielfalt in ausgeräumten Landschaften und damit auch der Artenvielfalt und Individuenzahl bereits vorkommender Arten (Unselde u. a., 2011). „Durch die Einsaat von Blümmischungen in den Gehölzstreifen können zusätzliche Nahrungsquellen und Rückzugsräume für kleine Wirbeltiere und Arthropoden geschaffen werden.“ (Schulz u. a., 2020, S. 9. Die Gehölzstreifen können außerdem als Korridore für Wildtiere dienen und deren Habitate vernetzen.
- Die Bäume fungieren außerdem als Kohlenstoffspeicher. Dabei gibt es relativ einfache Abschätzungen zur Speicherung im oberirdischen Zuwachs und schwierig quantifizierbare Kohlen-

stoffspeicherungen im Wurzelsystem und der Wurzelausscheidungen, welche das Bodenleben in dauerhaften Humus umwandelt (Jäger, 2016).

Es können aber auch negative Auswirkungen durch die Anlage von Agroforstsystemen auftreten, welche jedoch in der Regel durch die positiven Auswirkungen aufgewogen werden oder durch eine angepasste Planung verringert bzw. verhindert werden können. Dazu gehören u.a.:

- Konkurrenz zwischen den Gehölzen und den Ackerkulturen um Licht, Nährstoffe, Wasser und Wuchsraum. Vor allem bei Pflanzen mit C4-Photosynthese wie Mais, die von einer Beschattung schnell beeinträchtigt sind, kann dies auftreten. Die Konkurrenz um Nährstoffe und Wasser wird in der Regel dadurch verhindert, dass die Wurzeln der Bäume regelmäßig an den Seiten der Gehölzstreifen durch Bodenbearbeitungsmaßnahmen oder Benutzung eines Tiefenmeißels an den Seiten der Gehölzstreifen gekappt werden und sich so erst unterhalb der Wurzeltiefe der meisten Ackerkulturen zur Seite ausbreiten.
- Hohe Etablierungskosten bei der Anlage und zusätzliche Kenntnisse bei der Bewirtschaftung der Agroforstsysteme benötigt. Außerdem tritt eine langfristige Kapital- und Flächenbindung durch die vergleichsweise langsam wachsenden Gehölze auf (DeFAF, o.D.(b)).
- Offenlandarten können in weithin offenen Agrarlandschaften verdrängt werden. Außerdem kann es zu einer Abnahme oder einem Verlust der Bestände lebensraumtypischer und gefährdeter Arten von Flächen wie Magerrasen oder Feuchtwiesen kommen (Unselde u. a., 2011).

4.4 Rechtliche Hemmnisse

Während Agroforstsysteme bereits seit 2006 durch die Verordnung des Förderprogramm zur Entwicklung des ländlichen Raums (ELER) in der GAP förderfähig sind, wurde eine Festlegung der rechtlichen Rahmenbedingungen für Deutschland bis vor kurzem versäumt. So war die Umsetzung von Agroforstsystemen bisher nur durch verschiedene rechtliche Regelungen, wie bspw. den folgenden möglich:

- Gehölzstreifen verlieren ihre Förderfähigkeit
- 100-Baum-Regelung für Grünland auf Bundesebene: Auf Grünland dürfen 100 Bäume pro Hektar gepflanzt werden, ohne dass das Grünland seinen Status verliert.
- Omnibusregelung auf EU-Ebene: Solange die Grünlandnutzung nicht eingeschränkt wird, bleibt der Status von Dauergrünland auch bei der Pflanzung von Bäumen erhalten (Wack, 2022, Minute 17).
- Dauerkultur-Status in Kombination mit der Zusammenfassung der einzelnen Gehölzstreifen an einem Ende zu einer Art Kamm (Gabelschlag), um die Mindestschlaggröße förderfähiger entsprechend der Länderregelungen zu erfüllen
- Streuobstwiesen

- Kurzumtriebsplantagen
- Agrarumweltmaßnahme B57 „Obstbäume im Acker“ in Bayern (Gerhardt, 2019a, Minute 7).

Bei der Anlage von Agroforstsystemen gab es dabei bei der Abstimmung mit den zuständigen Behörden Uneinigkeiten zwischen dem Förderrecht, Fachrecht und Naturschutzrecht, was den Planungsprozess verkomplizierte (Wack, 2022, Minute 18). Außerdem werden viele Bäume als geschützte Landschaftselemente klassifiziert und dürfen dann nicht mehr gefällt werden, was bspw. der Nutzung des Wertholzes als geplanter Nutzung widerspricht.

Am Ende des Jahres 2021 kam schließlich der Beschluss, dass Agroforstsysteme in der neuen GAP ab 2023 auf landwirtschaftlichen Flächen mit einem eigenen Fördercode angelegt werden dürfen. Die Agroforstwirtschaft hat dadurch im Zuge von Pressemitteilungen viel an Aufmerksamkeit gewonnen und es wurde eine Definition für Agroforstsysteme eingeführt, die verwaltbar und kontrollierbar ist (Wack, 2022, Minute 8 und Kayser, 2022, Minute 10). Die Vorgaben für die Förderung fallen jedoch mit einer unverhältnismäßig geringen Fördersumme von 60 €/ha und von den Experten nicht nachvollziehbaren Regelungen, was die Platzierung, Ausmaße und Gestaltung der Gehölzstreifen betrifft, aus (Wack, 2022, Minute 9). Siehe hierzu auch Kapitel 6.2. Bei der Auslegung der Förderbedingungen wurde dabei zu wenig auf die Vorschläge der führenden Wissenschaftler und des DeFAF eingegangen, außerdem haben laut Kayser, 2022, Minute 14 – 15 auch Personalknappheit, Zeitdruck sowie verfehlte Beratung Einfluss auf die Gestaltung der GAP gehabt.

5 Keyline-Design

Keyline-Design wurde in den 1940er Jahren von dem australischen Bergbauingenieur Percival Alfred Yeomans und seinen Söhnen entwickelt und ab den 1950er Jahren erprobt. Durch die Regenerative Landwirtschaft und die Permakultur-Bewegung findet Keyline-Design heute vermehrt Anwendung in der Landwirtschaft. Es dient dem Wassermanagement und dem Erosionsschutz und bietet gleichzeitig eine äquidistante Ausrichtung der Bearbeitungslinien für eine praktikable Feldbewirtschaftung.

Mit dem Begriff Keyline-Design werden im Allgemeinen drei Themenschwerpunkte assoziiert, welche im Folgenden erläutert werden:

1. Topographische Landschaftsmerkmale wie der Keypoint und die dazugehörige Keyline eines Tales
2. ein Kultivierungs- und Bearbeitungsmuster (Keyline cultivation pattern)
3. ein Design-Vorgang (beschrieben anhand der Keyline Scale of Permanence)

Das Kultivierungsmuster zielt darauf ab, bei Niederschlagsereignissen so viel Wasser im Boden zu halten, wie der Boden unter natürlichen Prozessen zu seiner optimalen Entwicklung benötigt (Yeomans, 1958). Wenn die Wassermenge über den Bedarf des Bodens steigt und die zusätzliche Kapazität von ggf. vorhandenen landwirtschaftlicher Dämme übersteigt, folgt es Flusslinien, welche so gestaltet sind, dass die Gefahr von Wassererosion so gering wie möglich ist. Durch die Anwendung des

Keyline-Kultivierungsmusters sollen die natürlichen Prozesse der Bodengenese beschleunigter stattfinden als unter gleichen Bedingungen ohne dessen Einfluss. Außerdem wird durch die erhöhte Infiltration des Niederschlags die Gefahr von Hochwasserereignissen verringert (MacDonald-Holmes, 1960, S. 10).

Eine zweijährige Studie von Duncan und Krawczyk, 2018 zeigte, dass das Bearbeiten von Grünland mit dem Keyline-Plow leichte aber nicht als statistisch signifikant festgestellte Unterschiede verursachte. Dazu gehörten eine Erhöhung der Feuchtigkeitsspeicherung im Oberboden während der Trockenzeit; eine erhöhte Wasserinfiltration bei Regenereignissen über 4 mm in 24 Stunden; eine nachhaltige Verringerung des Durchdringungswiderstands des Bodens und eine Erhöhung der Durchwurzelungstiefe bei grober Bodentextur; eine Erhöhung des gesamten organischen Kohlenstoffs, nicht aber des aktiven Bodenkohlenstoffs.

Laut Krawczyk und Goldwynn, o.D. soll es außerdem unveröffentlichte Berichte über eine starke Zunahme von organischem Kohlenstoff im Boden und der Durchwurzelungstiefe geben. Außerdem gibt es bekannte Luftbilder bspw. der Nevallan-Farm von P. A. Yeomans, die die erhöhte Infiltration entlang der mit dem Keyline-Tiefenmeißel gezogenen Linien und entlang von Hecken zeigen (siehe Abb. 49, 50 und 51 im Anhang).

5.1 Geomorphologie

Um ein besseres Verständnis für die Grundlagen der Keyline-Geometrie entwickeln zu können, müssen vorerst einige Begriffe erläutert werden. In Abb. 1 ist eine vereinfachte topographische Darstellung eines Gebirges zu sehen. Auf diesem Gebirge sind einige Haupt-, Primär-, und Sekundärkämme, sowie -täler eingezeichnet. Das Landschaftsmuster ist fraktal aufgebaut und die Einteilung könnte auch mit Tertiär-, Quartär- usw. -kämmen bzw. -tälern weitergeführt werden. Yeomans entwarf Keyline-Design angepasst an die Verhältnisse Australiens. Die Geländemorphologie in Australien, dem ältesten Kontinent, ist durch die Zeit ungewöhnlich regelmäßig geworden, sodass sich die Keyline-Geometrie nach Yeomans nicht problemlos auf komplexere Geländemorphologien anderer Kontinente übertragen lässt und einer Anpassung bedarf (Shepard, 2020).

Nun soll ein kleinerer Kartenausschnitt, bspw. ein landwirtschaftlicher Schlag und seine Umgebung betrachtet werden. In Abb. 2 sind Konturlinien (Isohypsen, von iso = gleich und hypsos = Höhe) dargestellt. Jeder Punkt auf der gleichen Konturlinie besitzt dieselbe Höhe. Dabei liegen zwischen den dargestellten Konturlinien theoretisch unendlich viele weitere Konturlinien. In der Abbildung sind der Hauptkamm (Main ridge) und das Haupttal, hier durch einen Fluss (Creek) gekennzeichnet, dargestellt. Außerdem sind die Primärkämme und die Primärtäler mit ihren Keypoints und den dazugehörigen Keylines dargestellt. Im Folgenden wird darauf eingegangen, was Keypoints und Keylines ausmacht und wo sie zu finden sind.



Abbildung 1: Einteilung einiger Kämme und Täler eines Gebirges in Hauptkämme (rot), Primärkämme (orange) und Sekundärkämme (gelb), sowie Haupttäler (lila), Primärtäler (blau) und Sekundärtäler (hellblau)

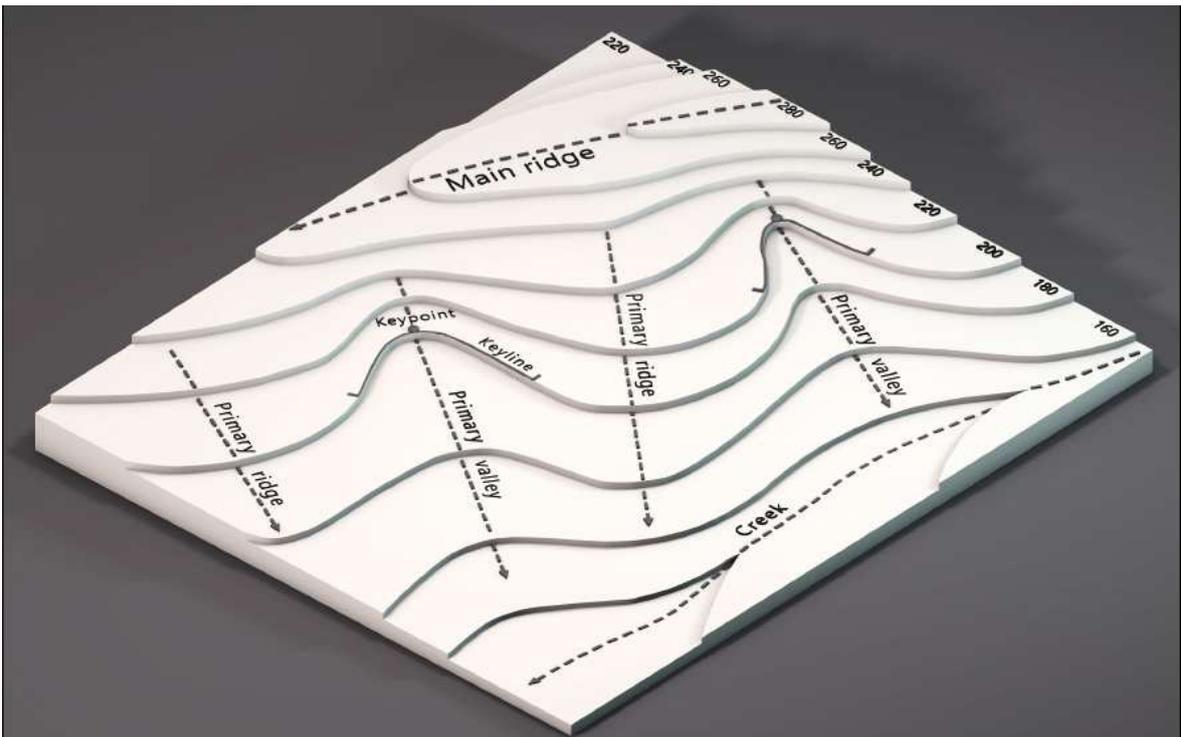


Abbildung 2: Keypoints und Keylines in Primärtälern (Pavlov, 2015)

5.2 Keypoints und Keylines

Keypoints sind geometrische Punkte, die nach Yeomans nur in Primärtälern, jedoch nach dem modernen Ansatz von Shepard, 2020 theoretisch in jedem Tal zu finden sind. Häufig markieren sie den Punkt, an dem abgetragene Sedimente wie Ton beginnen sich abzulagern (Shepard, 2020, S.41). Um

die Lage der Keypoints zu ermitteln beschreibt Yeomans unterschiedliche Arten von Tälern:

- Wenn sich ein Tal von einem Kamm aus bildet (wie in Abb. 2), verliert es zunächst steil an Höhe, steiler als der Hang zu beiden Seiten des Tals. Dann flacht das Tal ab und verläuft flacher als die beiden Hangseiten. Das Tal hat also einen steilen Kopf, dann einen flacheren Fuß. Der steile Talkopf hat im Allgemeinen ein gleichmäßiges Gefälle, bis er abflacht und den flacheren Talfuß bildet. Dieses zweite Gefälle setzt sich in der Regel als gleichmäßiges Gefälle bis zum darunter liegenden Bachlauf (Tal höherer Ordnung) fort. Bei diesem Taltyp gibt es also zwei Talabschnitte: den steilen Teil im Talkopf und den flacheren Teil im Talfuß. Am Übergang zwischen dem steilen Talkopf und dem flacheren Talfuß liegt der Keypoint des Tals, und die Konturlinie durch diesen Punkt ist die Keyline des Tals (Yeomans, 1958, S. 60). Wird das Tal im Querschnitt dargestellt, so heißt es oft, der Keypoint befinde sich am Wendepunkt des konvex gekrümmten Bereiches zum konkav gekrümmten Bereich. Das stimmt auch beinahe, da der Keypoint in der Regel nur etwas unterhalb vom Wendepunkt liegt. Es sind jedoch unterschiedliche Punkte, da der Keypoint nicht über den Wendepunkt definiert ist.
- Der zweite Typ von Tälern bildet sich hingegen aus einem Sattelpunkt zwischen zwei Hügeln oder einem Tiefpunkt eines Kamms (siehe Abb. 52 im Anhang). Diese Täler haben durch ihre Ausgangspunkte im Sattel bereits an Höhe verloren. Ihre Talbette sind bereits niedriger als das Land auf beiden Seiten. Daher kann es vom Sattel aus als ein einziger gleichmäßiger Hang abfallen. Der Sattelpunkt ist der Keypoint eines solchen Tals, und die Keyline ist die Konturlinie durch diesen Punkt (Yeomans, 1958, S. 60).

Es kommt vor, dass nach dieser Beschreibung auch mehrere Keypoints in einem Tal aufzufinden sind und die Keylines sich in unregelmäßigen Landschaften nicht als die geeignetsten Linien für die Umsetzung eines Keyline-Designs herausstellen.

5.3 Keyline-Kultivierungsmuster

Yeomans benutzte die Keylines als Ausgangslinien für die Erstellung eines Kultivierungsmusters. Da der Wasserfluss von Niederschlagswasser auf und in dem Boden immer der Schwerkraft folgend auf dem direktesten Weg nach unten stattfindet, fließt das Wasser von den Kämmen in die Täler. Auf einer topographischen Karte betrachtet bedeutet dies, dass der Abfluss an jedem gegebenen Punkt orthogonal zu seiner Konturlinie verläuft (siehe Abb. 3)

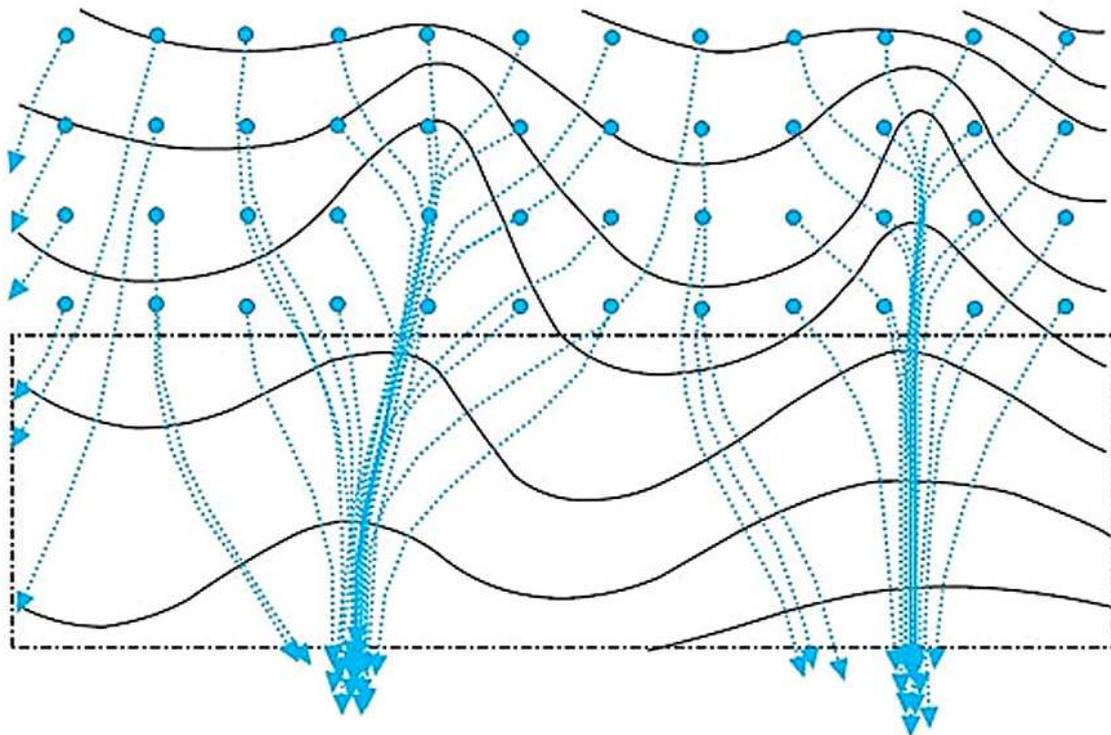


Abbildung 3: Natürlicher Wasserfluss im Boden (Krawczyk und Goldwynn, o.D.)

Mithilfe des Keyline-Kultivierungsmusters ist es möglich, das Wasser aus den tendenziell feuchten Tälern zu den tendenziell trockenen Kämmen zu transportieren und somit den Wasserhaushalt der Fläche auszugleichen. Das wird erreicht indem die Kultivierungslinien mit einem Gefälle von 1 % (Shepard, 2013, S. 117 und Shepard, 2020, S. 109) aus den Tälern hin zu den Kämmen abfallen. Yeomans gibt ein Gefälle von 1 in 300, also 0,33 % an (Yeomans, 1966, S. 165). Ein Gefälle von 2 % weist bereits Erosionspotenzial auf (Shepard, 2020, S. 109).

Bei Regenereignissen mit Oberflächenabfluss kann das Wasser mithilfe von auf den Keylines angelegten Gräben oder durch einen Tiefenmeißel bzw. den sogenannten Keyline- oder Yeomans-Plow, gezogene Rillen fließen. Fraglich ist, ob auch das Wurzelwerk von Baumreihen dicht genug sein kann, um als Widerstand auszureichen, der den Wasserfluss aus den Tälern zu den Kämmen lenkt. Wenn die Niederschlagsmenge die Infiltrationsrate des Bodens übersteigt, kommt es zu Oberflächenabfluss, welcher in den Rillen oder den Gräben die Möglichkeit bekommt, tiefer oder zu einem späteren Zeitpunkt zu infiltrieren und nicht in das nächste Tal und somit aus der Landschaft heraus zu fließen.

Durch die Geometrie natürlicher Landschaften kommt es, dass die Keyline durch den Keypoint genau die Linie markiert, die, parallelversetzt, dazu führt, dass die Linien des Kultivierungsmusters von den Tälern zu den Kämmen hin abfallen. In Abb. 4 ist dies dargestellt. Die roten Kreise markieren die Keypoints, durch diese laufen die roten Keylines bis zum Wendepunkt der Konturlinie von konkav zu konvex. Diese Keyline wird nach unten parallelversetzt, bis die Seiten in etwa auf eine Konturlinie des Kamms fallen. Auf dem Kamm soll die Kultivierungslinie dann genau auf der Konturlinie liegen, um das Wasser möglichst gut zu halten. Die Kombination aus Keyline im Tal und Konturlinie auf

dem Kamm (lila Linie) wird dann in beide Richtungen parallelversetzt um das Kultivierungsmuster zu erhalten.

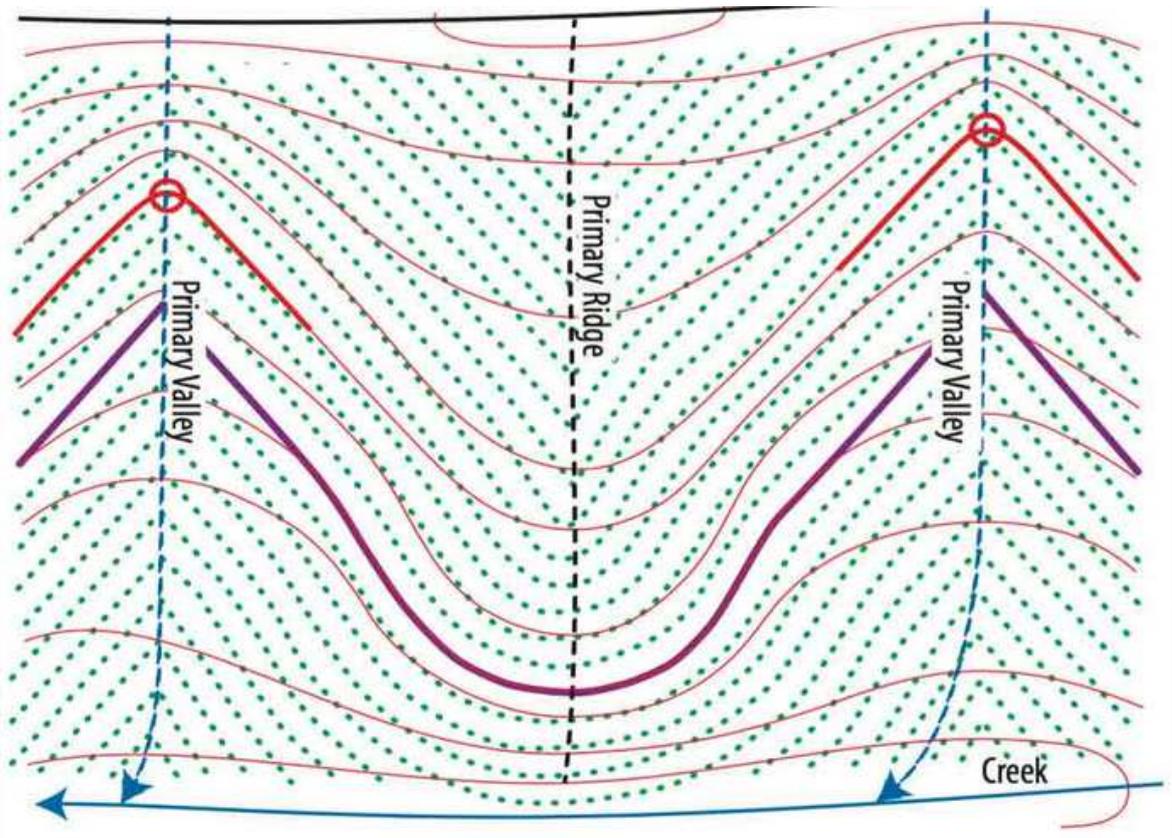


Abbildung 4: Kultivierungsmuster (grün gestrichelt) erstellt durch Parallelversatz einer Ausgangslinie (lila) abgeleitet von einer Keyline (rot) in einer idealen Landschaft (Doherty und Jeeves, 2017)

Dies ist einfach zu realisieren, wenn die Landschaft, wie in den Abbildungen, gleichmäßig verläuft und keine Anomalien aufweist (eine Ideallandschaft). Durch Grundstücksgrenzen liegen jedoch häufig auch keine Keypoints auf der zu planenden Fläche und es kann vorkommen, dass ein Tal mehrere Keypoints aufweist und Unregelmäßigkeiten in der Landschaft die Applikation von Keyline-Design erschweren.

Durch den Parallelversatz und die Unregelmäßigkeit der Landschaft ist es außerdem keinesfalls so, dass alle Linien ein Gefälle von 1 % aufweisen und stellenweise auch bei 4 % oder darüber liegen können. Die Linien fallen in manchen Teilen viel steiler und in anderen viel flacher aus. Bei parallelversetzten Linien kann es auch vorkommen, dass in einzelnen Gräben das Wasser in die andere Richtung geleitet wird. Das ist nicht so problematisch solange das Wasser auf einer darunter liegenden Linie wieder in die gewünschte Richtung geleitet wird (Shepard, 2020, S. 119). Durch das Anpassen des Gefälles in einem Graben, kann die Richtung des Wasserflusses ggf. auch noch im Nachhinein geändert werden (Shepard, 2020, S. 119).

In der Praxis ist das Finden eines passenden Kultivierungsmusters ein iterativer Prozess, in dem viele Linien angepasst und verworfen werden. Häufig ist auch ein möglichst konturparalleles Kultivierungsmuster das passendste, wenn das Wasser nur in seinem Abfluss gebremst und auf der Fläche

gehalten werden und nicht an trockenere Stellen geleitet werden soll.

5.4 Anpassung der Keyline-Geometrie zur Hauptlinien-Geometrie

Wie Pavlov in seinem Leitfaden zu Keyline-Geometrie schreibt, sind „[...] Keypoints und Keylines [...] für die Platzierung von Elementen wie Dämmen von großer Bedeutung, für die Erstellung der Keyline-Geometrie sind sie jedoch weitgehend irrelevant geworden [...]“ (Pavlov, 2015, S. 41). Als Yeomans und seine Söhne Mitte des 19. Jahrhunderts ihre Entdeckungen machten, gab es noch keine modernen Geoinformationssysteme wie QGIS es beispielsweise ist. Dadurch war die Erstellung einer Keyline-Planung nur mithilfe von Kartenmaterial oder direkt auf der Fläche möglich. In diesem Fall geben die Keypoints gute Ausgangspunkte ab, da sie zentrale Punkte des Wasserhaushalts darstellen und sich eine Wasserhaushaltsplanung in den regelmäßigen australischen Landschaften gut damit planen lässt.

In Keyline-Planungen mit Geoinformationssystemen können Keypoints ebenfalls gute Ausgangspunkte sein und wie Pavlov sagt sind sie bei der Anlage von Dämmen, beispielsweise zum Stauen eines Teiches oder Sees, von großer Bedeutung. Häufig lässt sich jedoch ein passendes Keyline- oder konturlinienparalleles Kultivierungsmuster auch ohne die Keypoints finden. Die Landschaften nicht in der Regel nicht so regelmäßig, dass ein Keyline-Kultivierungsmuster, welches ausgehend vom Keypoint geplant wurde auch die besten Ergebnisse der Ziele der Keyline-Geometrie liefert und der bessere Keypoint, bzw. die bessere Keyline liegen bspw. etwas weiter über oder unter den geometrisch eigentlich richtigen Keypoints bzw. Keylines (Shepard, 2020, S. 60-61).

Für diesen angepassten Ansatz benutzen Mark Shepard, Philipp Gerhardt und Max Fahrendorf unterschiedliche Begriffe wie Masterline, Master pattern line, Managementline oder Hauptlinie. Diese Hauptlinie ist häufig eine durch Herantasten ermittelte Ausgangslinie, von der aus die weiteren Linien auf der Fläche parallel versetzt werden. Weitere Erklärung zum Finden einer Hauptlinie folgt in Kapitel 7.7.1.

5.5 Keyline Scale of Permanence

Keyline-Design ist neben der Geometrie auch ein ganzheitlicher Design-Vorgang. Für die Planung von Betrieben stellte Yeomans fest, dass die vielen Faktoren, welche bedacht und miteinbezogen werden müssen, in Relation zueinander stehen und sich gegenseitig bedingen, ausschließen oder ergänzen. Er schloss auf eine logische Reihenfolge der Faktoren nach der Dauerhaftigkeit ihrer Auswirkung. Die Dauerhaftigkeit der Auswirkungen jeder Entscheidung zeigt die relative Bedeutung der Entscheidung in der Planung (Yeomans, 1958, S. 34). Daher sollten zuerst die Dinge entschieden werden, welche die längste Auswirkung haben. Die aus dieser Überlegung entstandene „Keyline Scale of Permanence“ umfasste acht Faktoren und wurde von Doherty und Jeeves, 2017, Gerhardt, 2019b, sowie Shepard, 2020, in ihrem Umfang und um die zwei letzten Punkte Ökonomie und Energie ergänzt (siehe auch Abb. 53 im Anhang):

1. Klima und Kultur: das biosphärische Klima bedingt die Vegetation und auch die Geographie der Fläche. Auch Wetterextreme gehören zum normalen Wetter in jedem Klima und ein System

sollte dementsprechend resilient gegenüber Wetterextremes geplant werden (Shepard, 2020, S. 26).

Gemeint ist hier aber auch das humane Klima, die Kultur (Normen, Gesetze usw.), welche ebenfalls sehr langfristig und schwierig zu ändern ist.

2. Geographie, Geländemorphologie: Die Geländemorphologie ist nur unter hohem Energieaufwand änderbar und bedingt den Wasserhaushalt, sowie das Kleinklima. Ein DGM liefert Informationen über die Geländemorphologie. Das Ausgangsgestein bedingt auch die Vegetation, die darauf wächst.
3. Wasserhaushalt: Wasser ist für jede Fläche eine begrenzte Ressource und bedingt sehr stark die Vegetation. Für die Optimierung des Wasserhaushalts kann Keyline-Design genutzt werden. Die Wasserversorgung sollte den Gegebenheiten des Klimas und der Geländemorphologie, sowie den Zielen der Planung angepasst werden. Mit einmaligen gut geplanten Eingriffen durch Erdarbeiten kann die Bodenfeuchtigkeit im Boden langfristig besser gehalten werden und dadurch schließlich auch die Photosynthese-Produktivität der Fläche erhöht werden (Shepard, 2020, S. 27). Die Wasserhaushalts- bzw. Keyline-Planung gibt vor, wo die Elemente der Punkte 4., 5., 6. und 7. platziert werden.
4. Straßen und Erschließung: Die Erschließung der Fläche bedingt die Bearbeitung und Ernte und muss den Arbeitsbreiten der Maschinen angepasst werden. Straßen und Wege sind ggf. befestigt und ermöglichen selten eine zweite Nutzung. Wege können auch dem Wassertransport dienen.
5. Vegetation: Hiermit sind in erster Linie Bäume gemeint. An dieser Stelle kann auch der sukzessionale Ansatz syntropischer Agroforstsysteme miteinbezogen werden. Die Vegetation hat einen Einfluss auf die Kohlenstoff- und Nährstoffbilanz, den Wasserhaushalt und auch auf das Klima (Gerhardt, 2019b). Außerdem beeinflussen die angebauten Ackerkulturen die Auswahl der Gehölze.
6. Gebäude: Die Platzierung und das Design von Gebäuden sollte anderen Faktoren, vor allem dem Klima, der Geographie, dem Wasserhaushalt und der Erschließung angepasst sein (Doherty und Jeeves, o.D.). Sie sollten außerdem so gebaut werden, dass der Boden unter ihnen in Zukunft auch wieder in fruchtbaren Boden verwandelt werden kann (Gerhardt, 2019b).
7. Zäune und Grenzen: Hierunter können auch Wege und Hecken verstanden werden. Die Übergänge zwischen verschiedenen Bereichen sind häufig auch Orte mit einer besonders hohen Diversität, da sie Elemente beider angrenzenden Bereiche und eigene Elemente beinhalten (Mollison, 1988).
8. Böden: Böden können sehr schnell zerstört werden, sie sind jedoch auch relativ schnell regenerierbar. Die richtige Bodenbearbeitung und die Verringerung der Erosion sind wichtig, um gesunde Böden zu generieren oder zu erhalten. Böden bilden außerdem die Grundlage für die Landwirtschaft. Wenn bodenaufbauende oder das Bodenleben fördernde Maßnahmen, wie

z.B. das Ausbringen von Kompost, Komposttees oder Mikroorganismen, durchgeführt werden, sollte darauf geachtet werden, dass diese aufwändigen Maßnahmen nicht durch Erosion oder Austrocknung wieder zunichte gemacht werden (Shepard, 2020, S. 29).

9. **Ökonomie:** Die Ökonomie kann auf vielen kreativen Wegen lokal gestaltet werden. Solidarische, lokal organisierte und kreislaufwirtschaftliche Ansätze haben ein großes Potenzial um eine ökonomische Sicherheit zu schaffen (REconomy Project und Transition Network, 2015). Betriebszweige können in ihrem Umfang und in ihrer Ausrichtung relativ schnell geändert werden.
10. **Energie:** Das hauptsächliche Ziel sollte sein die Photosyntheserate einer Fläche zu erhöhen, da die Photosynthese der Ursprung fast aller vom Menschen genutzten Energie darstellt (Doherty und Jeeves, o.D.). Eine Form eingesetzter Energie kann auch die Nutzung von Tieren oder Mikroben im Boden sein (Gerhardt, 2019b). Es kann viel Energieeinsatz gespart werden, wenn Prozesse den vorangegangenen Punkten angepasst werden.

6 Planung von Agroforstsystemen

Bei der Planung von Agroforstsystemen müssen viele Faktoren in Relation zueinander bedacht werden, wodurch es sich anbietet, den Prozess in Schritte entlang der Keyline Scale of Permanence aufzuteilen. Beim Beginn einer Planung sollten dementsprechend zuerst klimatische und geomorphologische Eigenschaften der Fläche, wie Informationen zur Niederschlagsmenge und -verteilung, Anzahl der Sonnenstunden und Frosttage, die Durchschnittstemperatur, die Hauptwindrichtung, die Richtung kalter Winterwinde und die Winterhärtezone, sowie kulturelle Aspekte wie rechtliche Rahmenbedingungen untersucht werden bzw. bekannt sein.

Im weiteren Planungsverlauf folgen die weiteren Punkte der Keyline Scale of Permanence, wobei je nach Planung auch manche Punkte, wie z.B. Gebäude und Straßen nicht unbedingt geplant werden müssen, da keine neue Fläche erschlossen wird, sondern diese Elemente bereits bestehen und ggf. umgestaltet werden können.

Die landwirtschaftlichen Betriebe selbst haben bereits einige hilfreiche Daten über ihre Betriebe vorliegen. Diese können in einem Abfragebogen erhoben werden. Der Inhalt eines solchen Abfragebogens kann an den Inhalten der Keyline Scale of Permanence orientiert werden, wobei die Reihenfolge der Fragen hier auch umgekehrt Sinn macht, da die letzten Punkte der Keyline Scale of Permanence „Energie“, „Ökonomie“ und „Boden“ den Betriebsalltag stärker gestalten als die obersten Punkte „Klima“ und „Geographie“.

Der Einsatz von Ernte- und Verarbeitungstechnik, sowie Absatzmöglichkeiten sollten im Vorhinein Berücksichtigung finden. Auch neben der Ernte regelmäßig anfallende Arbeitsabläufe wie z.B. der Baumschnitt sollte in den Betriebsalltag eingeplant werden. Außerdem fallen die größten Arbeits- und Investitionskosten bei der Implementierung eines Agroforstsystems in den ersten Jahren an und die Erträge, sowie positive Randeffekte setzen häufig erst nach einigen Jahren ein. Bei Wertholz ist erst nach ca. 60 Jahren mit Erträgen zu rechnen. Deshalb ist häufig eine alternative Finanzierung über

Spenden oder Förderungen notwendig und auch die Bewerbung solcher Finanzierungsmöglichkeiten nimmt Arbeitszeit in Anspruch.

6.1 Ausrichtung und Breite der Agroforststreifen

Die Ausrichtung der Streifen beeinflusst, wie im Kapitel 5 beschrieben, den Wasserhaushalt und die Erosionsgefährdung auf der Fläche. Außerdem hat sie einen Einfluss auf den Schattenwurf. Werden die Gehölzstreifen in Nord-Süd-Ausrichtung platziert, so ist der Schattenwurf gering und zur Mittagszeit fällt der Schatten in die Baumreihe selbst, wohingegen bei einer Ost-West-Ausrichtung die Unterkulturen deutlich stärker beschattet werden (Jäger, 2016, S. 4).

Einen Einfluss auf die Beschattung hat dabei auch der Abstand der Gehölze innerhalb der Gehölzstreifen, die Lichtdurchlässigkeit ihrer Krone und ihre Höhe, sowie der Abstand zwischen den Gehölzstreifen (Jäger, 2016, S. 4). Fraglich ist, ob es sich im Zuge des Klimawandels und zunehmender Trockenheit und Hitze im Sommer nicht als vorteilhaft herausstellen würde, die Unterkulturen gerade zur Mittagszeit im Sommer zu beschatten, was für eine Ost-West-Ausrichtung sprechen würde. Eine recht lichtdurchlässige Krone haben bspw. Bäume wie Lärche, Ginkgo oder Himalayanischer Sanddorn (*Elaeagnus salicifolia*, ehemals *Hippophae salicifolia*). Viele der landwirtschaftlichen Unterkulturen wie Getreide oder Raps stehen außerdem in Sommer-Monaten mit großer Sonneneinstrahlung bereits tot zum Ausreifen auf der Fläche, zu welcher Zeit die Gehölze viel Photosynthese betreiben können, besonders wenn sie sich, wie in einer Ost-West-Ausrichtung nicht gegenseitig beschatten.

Die Gehölzstreifen sollten so breit gestaltet werden, dass Sträucher von ihrer Breite her darauf genügend Platz finden. Bei Bäumen kann der Streifen schmaler sein, falls ihre Krone über der Höhe der landwirtschaftlichen Maschinen wächst, sollte aber breit genug sein, dass keine Anfahrtsschäden an den Bäumen passieren. Auch die Arbeitsbreite eines Mähwerks kann für die Anpassung der Breite der Gehölzstreifen herangezogen werden. In der Regel sind die Gehölzstreifen mit 2 m Breite geplant (Jäger, 2016). Es ist auch zu beachten, dass sich die Breite der Streifen über die Zeit verändern kann. So können die Gehölzstreifen zu Beginn sehr schmal und die Ackerstreifen breit sein, nach einigen Jahren nehmen die Ackerstreifen dann um die Breite ab, um die die Gehölzstreifen zunehmen.

Die Ackerstreifen sollten an die Arbeitsbreite der landwirtschaftlichen Maschinen des Betriebes angepasst werden (Bender u. a., 2009, S. 16). Gängige Arbeitsbreiten für landwirtschaftliche Maschinen sind etwa 3 m, 5 m, 6 m, 8 m und 12 m. Häufig wird eine Ackerstreifen-Breite gewählt, die das Vielfache der gängigen Arbeitsbreiten und mindestens so breit wie die breiteste Arbeitsbreite ist. So bietet sich bspw. eine Breite von 24 m an.

6.2 Agroforstförderung

Nach dem derzeitigen Stand (Beschluss des Bundesrats zur Verordnung zur Durchführung der GAP-Direktzahlungen (GAP-Direktzahlungen-Verordnung - GAPDZV)) vom 17.12.21 gelten für die Anlage von förderbaren Agroforstsystemen folgende Vorschriften (Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, 2021 und Bundesrat, 2021):

- Die Gehölze dürfen in Streifen, welche zwischen 2 – 40 % der Fläche einnehmen oder es

dürfen zwischen 50 – 200 Gehölze pro Hektar verstreut gepflanzt werden. Diese müssen das vorrangige Ziel der Rohstoffgewinnung oder Nahrungsmittelproduktion haben.

- Der Abstand zwischen Gehölzstreifen und zum Rand der Fläche muss zwischen 20 – 100 m liegen. Wird ein Gehölzstreifen fließgewässerbegleitend oder in Gewässernähe angelegt kann der dort vorgegebene Abstand zum Rand der Fläche geringer sein.
- Es müssen mindestens 2 Gehölzstreifen sein.
- Die Streifen müssen weitgehend druchgängig mit Gehölzen bestockt sein.
- Die Streifen müssen zwischen 3 – 25 m breit sein.
- geschützte Landschaftselemente bleiben als geschützte Landschaftselemente klassifiziert und dürfen nicht entfernt werden, auch wenn sie jetzt unter die Definition von Agroforst fallen würden.
- Es gibt eine Negativliste von Arten, die nicht gepflanzt werden dürfen:

<i>Botanische Bezeichnung</i>	Deutsche Bezeichnung
<i>Acer negundo</i>	Eschen-Ahorn
<i>Buddleja davidii</i>	Schmetterlingsstrauch
<i>Fraxinus pennsylvanica</i>	Rot-Esche
<i>Paulownia tomentosa</i>	Blauglockenbaum
<i>Prunus serotina</i>	Späte Traubenkirsche
<i>Quercus rubra</i>	Roteiche
<i>Rhus typhina</i>	Essigbaum
<i>Robinia pseudoacacia</i>	Robinie
<i>Rosa rugosa</i>	Kartoffel-Rose
<i>Symphoricarpos albus</i>	Gewöhnliche Schneebeere

Tabelle 1: Arten von Gehölzen, deren Anbau bei Agroforstsystemen ausgeschlossen ist (Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, 2021 und Bundesrat, 2021)

6.3 Gehölzarten- und -sortenauswahl

Bei der Auswahl der Gehölzarten und -sorten müssen verschiedene Aspekte betrachtet werden. Zum einen sind arbeitswirtschaftliche Aspekte und Vermarktungsstrukturen wichtig. Soll extensiv Wildobst und Wertholz angebaut werden oder sollen arbeitsintensivere Kulturen wie Beerenobst, Gemüsestauden, wie bspw. Rhabarber, Artischocken oder Kardonen, oder sogar einjährige Gemüsepflanzen in den Gehölzstreifen integriert werden? Zum anderen spielen die Standortverhältnisse eine große Rolle bei der Auswahl der passenden Kulturen.

Grundlage für die Wahl der passenden Gehölze ist eine Artenkenntnis und ggf. auch Kenntnisse über kultivierte Sorten oder im Falle von Wertholz auch spezielle Herkünfte geradschaftiger und schnellwachsender Bäume.

Einen guten Überblick über die Eigenschaften von Pflanzenarten bietet die von Ken Fern mit Unterstützung seines Sohnes Ajna Fern erstellte Webseite theferns.info, welche von der gemeinnützigen Organisation Plants For A Future (PFAF) auf der bekannteren Webseite pfaf.org übernommen und erweitert wurde.

Informationen über die kultivierten Ertragssorten sind vor allem auf den Webseiten und in den Katalogen von spezialisierten Baumschulen zu finden. Außerdem bieten sich die deutschsprachigen Bücher „Enzyklopädie der Wildobst- und seltenen Obstarten“ – Pirc, 2015 und „555 Obstsorten für den Permakulturgarten und -balkon“ – Tatschl, 2015 an, in welchen ein guter Überblick über die Obstgehölzarten gegeben und einige wichtige Sorten vorgestellt werden.

Weitere Agroforst-Datenbanken, die herangezogen werden können, sind im Folgenden aufgelistet:

- [Agroforestree Database](#)
- [Tree Functional Attributes and Ecological Database](#)
- [Agroforestry Species Switchboard 2.0](#)

Eine auf Deutschland bezogene Datenbank konnte nicht gefunden werden, der DeFAF beabsichtigt jedoch die Erstellung von Artenportraits für Agroforstgehölze.

6.3.1 Standortverhältnisse

Bei der Eingrenzung der Pflanzenauswahl für einen Standort spielen vor allem folgende Parameter eine Rolle:

Klima Informationen über das Klima in Deutschland können dem [Climate Data Center](#) und den [Klimakarten Deutschland](#) des Deutschen Wetterdienst (DWD) entnommen werden.

Wichtige klimatische Parameter bei der Gehölzauswahl sind:

- Tolerierte Winterhärtezone: Manche Feigensorten sind bspw. bis Winterhärtezone 6b frosthart.
- Spät- und Frühfröste: Die Blüte der Walnussbäume ist bspw. spätfrostgefährdet (Böllersen, 2019), wohingegen Bergahorn und Speierling damit kein Problem haben (Bender u. a., 2009), S. 14).
- Niederschlagsmenge und -verteilung über das Jahr: Beim Haselnussanbau werden aufgrund der flachen Wurzeln Niederschläge von mindestens 800 – 1.000 mm im Jahr hauptsächlich in den Monaten April bis August empfohlen (Gatti, 2020).
- Durchschnittstemperatur: Der Walnussanbau in Deutschland liegt bspw. in Gebieten mit mindestens 9 °C Jahresdurchschnittstemperatur und 16 °C in den Monaten Mai bis September (Böllersen, 2019, S. 31).

Auf vielen Webseiten von Baumschulen und Samengärtnereien und auf den Webseiten theferns.info und pfaf.org sind die tolerierten Winterhärtezone für Pflanzen angegeben. Sollen nur einheimische

Gehölze gepflanzt werden, so scheint die Beschäftigung mit den Winterhärtezonen nicht so wichtig, da diese Gehölze ja bereits hier wachsen. Im Zuge des Klimawandels könnte es sich jedoch als wichtig herausstellen auch fremdländische, bspw. besser an Trockenperioden angepasste, Gehölzarten und -sorten zu integrieren (Stichwort Klimagehölze). Außerdem können viele Früchte und Nüsse, die hierzulande in den Lebensmittelgeschäften zu finden sind und häufig nicht für winterhart gehalten werden, auch in Deutschland angebaut werden. Dazu gehören u.a. Sorten von Esskastanie, Persimone, Kiwi, Pekannuss, Mandel und Feige.

Die Winterhärtezonen geben den Mittelwert der absoluten Minima der Lufttemperatur in 2 m Höhe vergangener Jahre an. Am verbreitetsten ist die Einteilung des United States Department of Agriculture (USDA) in weltweit 13 Zonen. Diese Einteilung wurde von (Bärtels und Schmidt, 2014) in Abb. 5 zur einfacheren Vergleichbarkeit übernommen und von °F in °C übersetzt. Es sind die Winterhärtezonen in Mitteleuropa abgebildet. Die Karte kommt aus dem Jahre 1984 und „[i]n Anbetracht der bereits ablaufenden und der zu erwartenden Klimaänderungen ist die Erarbeitung neuer Karten der Winterhärtezonen erforderlich. [...] Die Winterhärtezonen und Szenarien im Deutschen Klimaatlas (DWD 2012) basieren auf anderen Daten als die der Winterhärtezonen-Karten für Gehölze, sodass sie für den hier benötigten Zweck nicht geeignet sind.“ (Bärtels und Schmidt, 2014, S. 20).

In der Abb. 57 im Anhang sind die globalen Winterhärtezonen dargestellt. Regionen auf der Erde mit ähnlichen Winterhärtezonen wie bspw. in Deutschland sind häufig Regionen, aus denen weitere mögliche Pflanzenarten, die in unserem Klima wachsen, in der Vergangenheit kamen und in Zukunft kommen könnten. Bspw. Japan, Ost-China und Teile Zentralasiens, der USA und Chile. Dies sind auch die Zonen, in denen die Biome der temperierten Laub- und Mischwälder vorkommen (vergleiche Abb. 58 im Anhang).

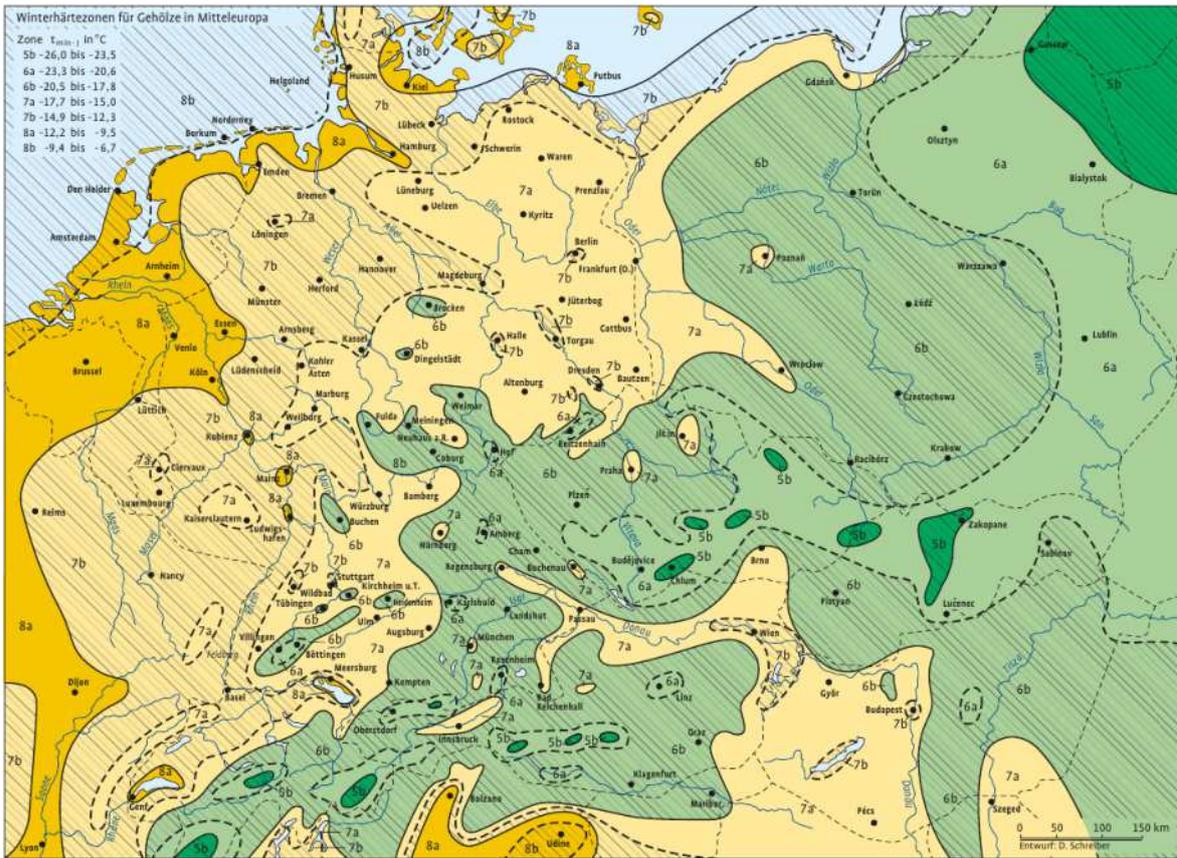


Abbildung 5: Winterhärtezonen für Gehölze in Mitteleuropa (Heinze und Schreiber, 1984 in Bärtels und Schmidt, 2014, S.18)

Boden

- Wasserhaushalt: Manche Gehölze wie Erle oder Feldahorn sind bspw. tolerant gegenüber Überflutungen, Walnuss hingegen gegenüber Trockenheit (Bender u. a., 2009), S. 14). „Für eine rentable Wertholzproduktion in einem Agroforstsystem können in unseren Breiten 600 mm Jahresniederschlag als Untergrenze angesetzt werden.“ (Bender u. a., 2009), S. 14)
- Boden-pH-Wert: Esskastanie und Blaubeeren brauchen niedrige pH-Werte
- Bodentextur: manche Gehölze wie Ahorne, Baumhaseln und Ulme sind bspw. tolerant gegenüber schweren Böden (Plants for a Future, o.D.).
- Ausgangsgestein: beeinflusst den pH-Wert und die Nährstoffverfügbarkeit.

Umwelteinflüsse

- Salz
- Exposition und Wind
- Verschmutzung: Bäume, welche typischerweise entlang von Straßen gepflanzt werden, sind häufig Baumarten, welche eine hohe Toleranz gegenüber Verschmutzung aufweisen.

Geographische Flächeneigenschaften

- Hangausrichtung
- Höhenlage

6.3.2 Ökonomie

Die Gehölzauswahl kann sich auch an ihrer Nutzung oder nach ihrer Arbeitsintensivität richten. Beersträucher bspw. haben mit Schnitt und Ernte einen relativ hohen Arbeitskraftbedarf, jedoch auch eine schnellere Anlagenrendite, während Wertholzsysteme und Kurzumtriebsplantagen relativ extensiv bewirtschaftet werden und bei Wertholzsystemen eine späte Anlagerendite erreicht wird. Um etwaige Risiken zu streuen und verschiedene wirtschaftliche Standbeine zu entwickeln, empfiehlt es sich, mehrere Nutzungen zu kombinieren. Zu den Nutzungsintentionen können folgende zählen:

- Wertholz: am besten in astfreier Furnierholz-Qualität mit einer Mindest-Stammlänge von etwa 2,5 m, einem Brusthöhendurchmesser von mindestens 45 cm, sowie geradschaftigem Wachstum ohne Drehwuchs. Wertvolles Holz liefern alle Obstbäume (Grosser, 2013, S. 55) und auch Wildobstarten wie bspw. die *Sorbus*-Arten (Elsbeere, Mehlsbeere, Speierling und Vogelbeere) und die Vogelkirsche. Viele triploide Apfel- und Birnsorten sind starkwüchsig und ohne Drehwuchs und bieten sich daher auch zur Wertholzerziehung an (Mitzel, 2020). Außerdem gibt es von vielen Arten wie bspw. der Vogelkirsche oder der Walnuss besondere Herkünfte mit starkwachsenden und geradschaftigen Eigenschaften.
- Energieholz im Kurzumtrieb mit den erlaubten Arten: Weiden, Pappeln, Birken, Erlen, Esche, sowie Stiel-, Trauben- und Roteiche. Die Robinie ist unter der neuen GAP ab 2023 nicht mehr erlaubt.
- Frucht- und Nussertrag: Hierfür bieten sich Ertragssorten und auch viele fremdländische nuss- und fruchttagende Gehölze an.
- biodiversitätsfördernde Gehölze, wie z.B. Kopfbäume, welche von einer hohen Bedeutung für einige bedrohte Arten sind (Hofmann, 2019, S. 42), sowie Eichen, auf denen „allein nur von den beiden Ordnungen Großschmetterlinge und Käfer [...] schon über 1.000 Arten an Eichen nachgewiesen [wurden].“ (Bußler, 2014, S. 89).
- Bienenweide: Schaffung eines konstanten Nahrungsangebots für Bienen von Frühjahr bis Herbst durch Nektar und Pollen spendende Bäume wie z.B. den frühblühenden Haselnüssen und Salweiden, den Trachtbäumen Linde und Robinie, sowie spätblühenden Bäumen wie z.B. Schnurbaum (*Sophora japonica*) und Bienenbaum (*Tetradium danielii*) (Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau (LWG), 2019).
- Stickstofffixierung: Intergierung von Leguminosengehölzen wie Robinie, Gleditschie (*Gleditsia triacanthos*) oder Geweihbaum (*Gymnocladus dioica*) und auch nicht-leguminöse Gehölze wie Erlen (*Alnus spp.*), Ölweiden und Sanddorne (beides *Elaeagnus spp.*)

- Futterlaubebäume: Eschen, Ulmen, sowie Berg- und Feldahorn waren für die Gewinnung von Futterlaub am bedeutetsten (Machatschek, 2002, S. 108).
- Biomasse- und Bodenfruchtbarkeitsbäume: In der von Ernst Götsch begründeten syntropischen Agroforstwirtschaft, werden häufig speziell für die Biomasse- und Bodenfruchtbarkeit eingesetzte schnellwachsende Gehölze wie Pappeln, Weiden oder auch Holunder in die Gehölzreihen gepflanzt. Diese werden dann regelmäßig zurückgeschnitten und die Biomasse in die Streifen gelegt.

7 Planung in QGIS

Im Folgenden soll eine Einführung in das Programm QGIS gegeben und erklärt werden, wie Agroforstsysteme mithilfe dieses Programmes geplant werden können.

7.1 Koordinatensysteme und Kartierung

Geoinformationssysteme werden auch Räumliche Informationssysteme genannt und besitzen die Eigenschaft, dass die Daten einen räumlichen Bezug erhalten. Dazu wird im Folgenden zuerst auf ein paar theoretische Aspekte zu Koordinatensystemen und zur Kartierung eingegangen, damit die Arbeitsweise in QGIS besser verstanden werden kann.

7.1.1 Geographische Koordinatensysteme

Geographische Koordinatensysteme aus zwei Kugelkoordinaten. Die Breitengrade (Y-Werte) verlaufen parallel zum Äquator, welcher die 0°-Linie darstellt, um den Globus und betragen am Südpol -90° und am Nordpol +90°. Die Längengrade (X-Werte) verlaufen als Meridiane (Halbkreise) in Nord-Süd-Richtung und haben ihre 0°-Linie auf dem Greenwich-Meridian, welcher durch das Royal Observatory in Greenwich, England läuft. Sie liegen zwischen -180° westlich von Greenwich und +180° östlich von Greenwich (siehe Abb. 6).

Die Koordinaten werden häufig in Decimal Degrees (DD) oder in Grad/Minuten/Sekunden (DMS) angegeben. Dabei entspricht ein Grad 60 Minuten (') und eine Minute 60 Sekunden ("). Die Koordinaten von Witzenhausen bspw. liegen in der WGS84-Projektion in DD bei (51.3399682°, 9.8555643°) bzw. in DMS bei (51° 20' 23.8842", 9° 51' 20.0298")

Da der Erdkörper (Geoid) ein recht unförmiger Körper ist, der einem Ellipsoiden nur ähnelt, werden Referenzellipsoiden herangezogen (siehe Abb. 9). In Europa wird das Koordinatensystem auf dem Referenzellipsoiden des Geodätisches Referenzsystem 1980 (GRS80) definiert. Durch das Raumbezugssystem Europäisches Terrestrisches Referenzsystem 1989 (ETRS89) wird die Lage des Referenzellipsoiden mit einem Geodätischen Datum in Bezug zur Lage der realen Erde gestellt (Gerhardt, 2019a). Dadurch wird die Z-Koordinate (der Höhenwert) ermittelt. Das Geodätische Datum beschreibt dabei die Lage des Koordinatensystems in Bezug auf den Erdkörper.

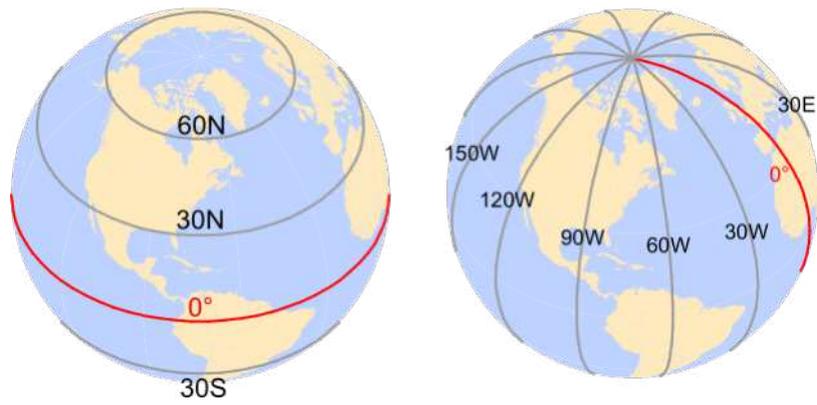


Abbildung 6: Geographische Breitengrade (links) und Längengrade (rechts) (Gimond, 2021)

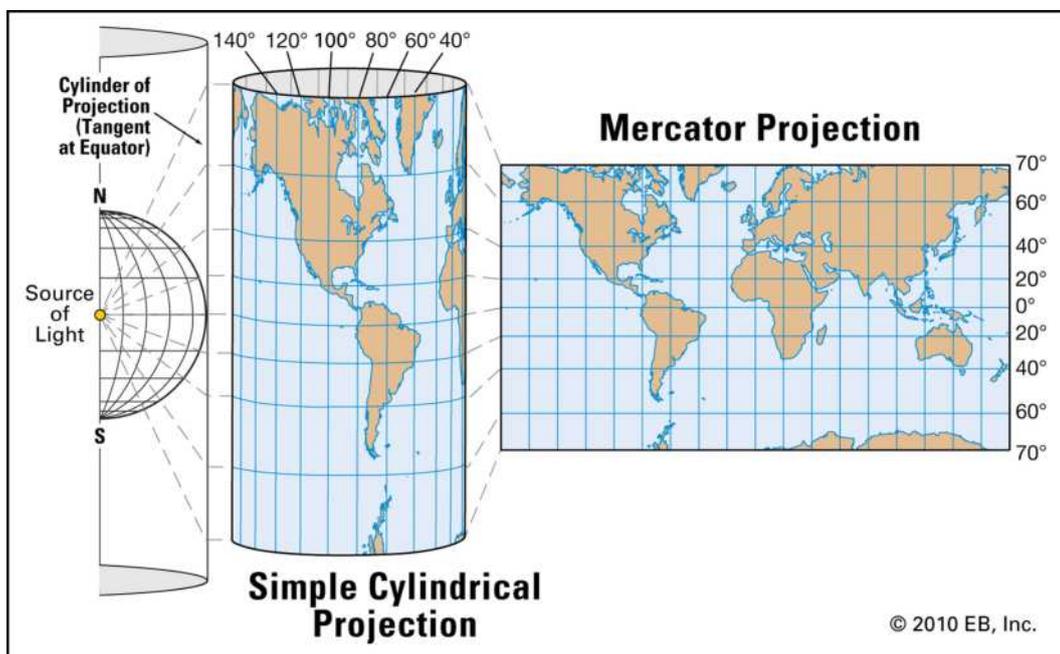


Abbildung 7: Von der einfachen zylindrischen Projektion zur Mercator-Projektion (Britannica, o.D.)



Abbildung 8: Pazifik-zentrierte Robinson-Projektion (Wikipedia, o.D.(a))

7.1.2 Projizierte Koordinatensysteme

Um Koordinatensysteme zweidimensional z.B. auf einer Karte, darstellen zu können, werden sie vom Globus auf eine Fläche, bspw. in Form eines Zylinders, projiziert (siehe Abb. 7). Doch jede Projektion der Oberfläche eines Ellipsoids auf eine zweidimensionale Fläche führt zu einer Verzerrung (GISGeography, 2021b). Die Projektion auf dem Zylinder kann dann zerschnitten und umgerechnet, z.B. gestaucht, werden, um einen bestimmten Kartenausschnitt gut darzustellen oder die Verzerrung zu minimieren. So z.B. die Robinson-Projektion, welche speziell entwickelt wurde, um einen Kompromiss aus Verzerrung und Darstellung des gesamten Globus ohne Einschnitte, darzustellen. In Abb. 8 ist diese Projektion bspw. Pazifik-zentriert, was bspw. in China eine beliebte Darstellung ist.

Die KBS werden mit eindeutigen Schlüsselnummern, den EPSG-Codes der European Petroleum Survey Group Geodesy (EPSG) zugeordnet. Die EPSG war eine Arbeitsgruppe der europäischen Öl- und Gaskundungsunternehmen, welche Ordnung in die vielen verschiedenen KBS, Projektionen, Referenzellipsoide usw. bringen sollte. Es wird unter gleichem Namen von der Nachfolgeorganisation International Association of Oil and Gas Producers (OGP) weitergeführt. Die Informationen zu den EPSG-Codes liegen in einer [Online-Datenbank](#) vor (Wikipedia, o.D.(c)).

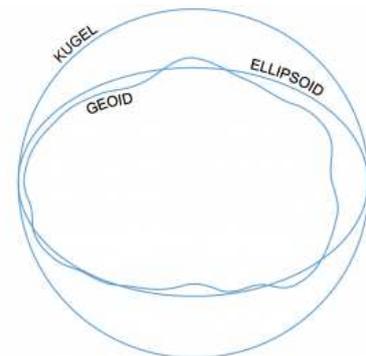


Abbildung 9: Referenzellipsoid und Geoid (Institut für Digital Humanities, Universität zu Köln, o.D.)

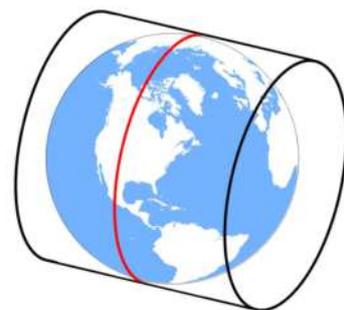


Abbildung 10: Universal Transverse Mercator Zylinder (GISGeography, 2021a)

Für Planungen in Deutschland empfehlen sich die KBS “UTM Zone 32N” (EPSG:25832), sowie für den Osten Deutschlands “UTM Zone 33N” (EPSG:25833) (siehe Abb. 12). Diese Projektion stellt Deutschland besonders gut dar, Entfernungen lassen sich gut in Meter messen und Positionen mit XY-Koordinaten angeben (Gerhardt, 2019a). Das Universal Transverse Mercator-Koordinatensystem (UTM) wird wie die Mercator Projektion aus einer Projektion auf einen Zylinder ermittelt. Dieser wird jedoch nicht aufrecht, sondern um 90° gedreht (transversal) an 60 verschiedene Meridiane der Längengrade angelegt (GISGeography, 2021a) (siehe Abb. 10). Daher gibt es 60 verschiedene UTM-Zonen (siehe Abb. 11).

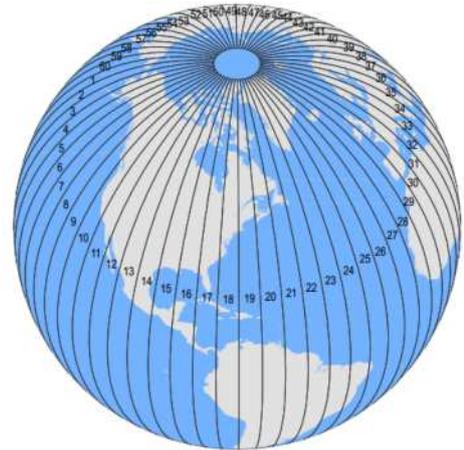


Abbildung 11: UTM Zonen global (GIS-Geography, 2021a)

Die Koordinaten der UTM-Zonen sind in Meter angegeben. Um das Abmessen und Berechnen ohne Negative Werte zu erleichtern, sind die UTM-Zonen in Nord- und Südhemisphäre unterteilt. Auf den Abschnitten auf der Nordhemisphäre hat der Äquator die Breitenkoordinate 0, auf den Abschnitten der Südhemisphäre wiederum hat der Äquator die Breitenkoordinate 10.000.000. Außerdem hat der Längsmeridian entlang der Mitte jeder 6° breiten UTM-Zone eine Längenkoordinate von 500.000. So sind die Koordinaten im östlichen und westlichen Teil der UTM-Zone stets positiv, im Osten > 500.000 und im Westen < 500.000. Erst wenn ein Punkt über 500.000 m westlich liegt tauchen negative Werte auf, für solche Entfernungen ist die UTM-Projektion jedoch nicht gedacht, da die Verzerrung wie in Abb. 7 zu sehen mit zunehmendem Abstand von der Mitte des Zylinder zunimmt. Die UTM-Projektion ist für enge Regionen sehr gut geeignet, für Weltkarten jedoch nicht. Abb. 12 zeigt die UTM-Zonen in Deutschland.

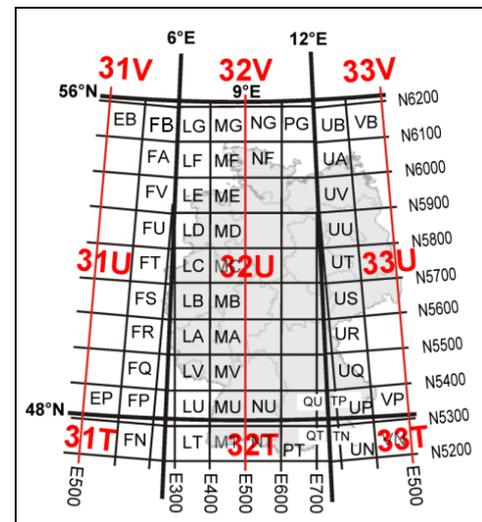


Abbildung 12: UTM Zonen in Deutschland (Wikipedia, o.D.(e))

7.1.3 Drohnenkartierung

Eine Möglichkeit, gutes Kartenmaterial für eine Agroforstplanung zu produzieren, ist das Nutzen einer Drohne. Mithilfe einer Drohne können sehr scharfe DOP sowie DOM erstellt werden. Die Drohnen sind mittlerweile preislich erschwinglich und ein Drohnenführerschein kann online absolviert werden. Zusätzlich muss eine Haftpflichtversicherung für die Drohne abgeschlossen werden. Eine Drohne sollte folgende Voraussetzungen erfüllen (Kellner, 2021):

- Die Kamera sollte senkrecht nach unten schauen können

- Die aufgenommenen Bilder sollten eine GPS Geotag Information enthalten
- Zur einfacheren Handhabung sollte eine Flugplanungs-App für das Smartphone wie DroneDeploy, Pix4DCapture oder MapsMadeEasy unterstützt werden.

Mithilfe eines Flugplanungsprogramms entweder als App, Web- oder PC-Anwendung kann dann ein Flug über die Fläche geplant werden. Normalerweise werden dabei automatisch eine effiziente Fluglinie berechnet und während des Flugs die benötigten Fotos geschossen.

Diese Fotos werden dann in Programmen wie WebODM oder Reality Capture geladen. Da zur Umwandlung eines Luftbilds in ein Orthophoto ein Höhenmodell benötigt wird, welches von der Software durch Fotogrammetrie berechnet wird, lässt sich nicht nur ein DOP, sondern auch ein DOM ausgeben. Dabei ist zu beachten, dass es sich um ein DOM handelt und nicht um ein DGM, wie es beispielsweise bei den zuständigen Ämtern erhältlich ist (siehe Abb. 13).

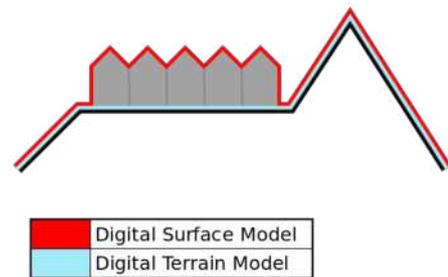


Abbildung 13: Unterschied zwischen einem DTM (deutsch: DGM) und einem DSM (deutsch: DOM) (Wikipedia, o.D.(b))

Da die GPS-Information der Drohne eine Messungenauigkeit von mehreren Metern in der Länge und Breite und eine noch größere im zweistelligen Bereich in der Höhe hat (Kellner, 2021), ist der Lagebezug der erstellten Karten

in Bezug zu anderen Karten recht ungenau. Die Karten in sich wiederum sind durch die Software-Korrektur der Fotogrammetrie sehr genau. Um eine genauere Bezugslage der erstellten Karte zu anderen Karten zu erhalten, können der Software genau eingemessene Koordinaten von sogenannten Ground Control Points (Passpunkte) angegeben werden. Diese sind üblicherweise etwa einen Quadratmeter große Flächen mit einem Schachbrettmuster, welche auf den Fotos gut sichtbar sind beispielsweise auf der Fläche mit RTK oder PPK-GPS-Geräten sehr genau eingemessen werden können. Es gibt auch Drohnen in welchen bereits ein RTK bzw. PPK-GPS verbaut ist.

7.1.4 GNSS, RTK, PPK, SAPOS und LiDAR

GNSS Wenn heutzutage von Global Positioning System (GPS) gesprochen wird, so ist häufig eigentlich das Global Navigation Satellite System (GNSS) gemeint (Kellner, 2021). Das GNSS setzt sich aus den Satelliten der USA (GPS), Russlands (GLONASS) und der Europäischen Union (GALILEO) zusammen (Kellner, 2021). Modernere GPS-Geräte nutzen üblicherweise das GNSS-System.

RTK und PPK Bei diesen Arten der Standortbestimmung werden Ungenauigkeiten, welche beispielsweise durch das Flimmern der Ionosphäre verursacht werden, dadurch korrigiert, dass zwei GPS-Geräte zum Einsatz kommen, eine Basis und ein Rover. Die Basis bleibt dabei an einem Ort stehen und kann dadurch Korrekturdaten an den Rover senden, welcher dadurch, dass er bewegt wird,

alleine das Flimmern nicht von Bewegung unterscheiden kann. Bei Real Time Kinematic (RTK)-GPS-Systemen werden die Korrekturdaten dabei live an den Rover gesendet und es sind bereits vor Ort genaue Daten vorhanden, jedoch ist eine Verbindung zwischen Basis und Rover nötig. Bei Post-Processed Kinematic (PPK)-GPS-Systemen wiederum wird die Korrektur im Nachhinein vorgenommen, es ist keine Verbindung nötig, jedoch sind auch keine korrigierten Daten direkt vor Ort vorhanden (Kellner, 2021).

SAPOS Als Base für RTK- und PPK-Systeme können auch die Referenzstationen des Satellitenpositionierungsdienst der deutschen Landesvermessung (SAPOS) genutzt werden. Diese Stationen decken die gesamte Fläche Deutschlands ab (siehe Abb. 60 im Anhang) und es wird ein Hochpräziser Echtzeit-Positionierungs-Service (HEPS) für RTK, sowie ein Geodätischer Postprocessing-Positionierungs-Service (GPPS) für PPK angeboten. Die Gebühren können entweder pauschal oder nutzungsabhängig ausfallen und sind für Bundesländer, welche die SAPOS-Daten gebührenfrei bereitstellen, reduziert. Diese Open Data Bundesländer sind folgende (Stand 01.01.2022): Brandenburg, Berlin, Baden-Württemberg, Bremen, Hessen, Hamburg, Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen, Sachsen und Thüringen.

LiDAR Bei der Light Detection and Ranging (LiDAR)-Vermessung werden Laserstrahlen ausgesendet und durch die Zeit bis zur Rückkehr zum Sensor und dessen Winkel die Entfernung und Position ermittelt. Die DGM1-Daten der Bundeslandämter werden in Deutschland üblicherweise mit Kleinflugzeugen und LiDAR vermessen. Der Vorteil bei LiDAR ist außerdem, dass die Laserstrahlen durch die Vegetation hindurchstrahlen und so auch der Boden bspw. unter einem Wald mitkartiert wird und die Vegetationshöhe mithilfe von Algorithmen herausgerechnet werden kann und so ein DGM entsteht (Kellner, 2021). Bisher sind die LiDAR-Sensoren noch sehr teuer und auch vom Gewicht her zu schwer, um sie an kleineren Drohnen anzubringen (Kellner, 2021).

7.2 QGIS-Versionen und Projektstruktur

Es werden laufend neue QGIS-Versionen entwickelt und aktualisiert. Neben den aktuellsten Versionen gibt es Versionen mit Langzeitunterstützung, bei welchen die meisten Plugins funktionieren und welche für eine längere Zeit nicht gewechselt werden müssen. Das hat den Vorteil, dass mit einer gleichbleibenden QGIS-Umgebung gearbeitet werden kann. Die aktuellste Version mit Langzeitunterstützung ist derzeit QGIS 3.16.16 'Hannover'.

Um eine neue Planung zu starten wird zuerst ein neues leeres Projekt angelegt. Beim Beginn sollte zuerst das KBS festgelegt werden. Dazu wird ganz unten rechts auf das Feld mit „EPSG:xxxxx“ geklickt und z.B. „ETRS89 / UTM zone 32N“ (EPSG:25832) oder „ETRS89 / UTM zone 33N“ (EPSG:25833) ausgewählt (siehe Abb. 14). Folgend sollten alle erstellten und hinzugefügten Layer des Projekts übersichtshalber in dem gleichen KBS abgespeichert werden. Das macht auch das Exportieren von GPS-Daten beim Übertrag der Planung auf die Fläche einfacher.

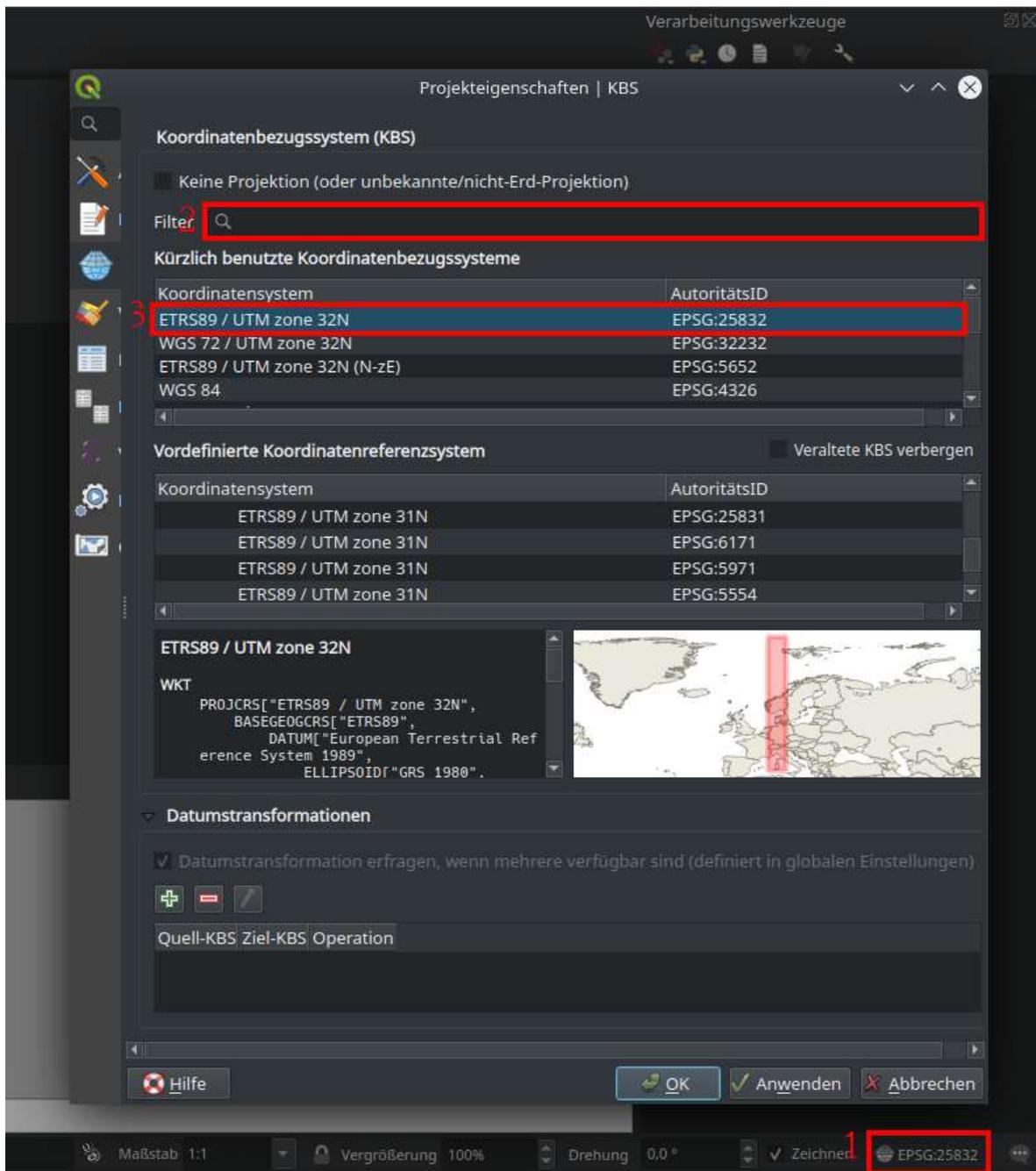


Abbildung 14: Projekt-KBS in QGIS festlegen

Dann sollte das Projekt in dem vorgesehenen Projektordner auf dem PC abgespeichert werden. Dazu oben links auf „Projekt“ > „speichern“. Es sollte für jedes Projekt ein eigener Ordner angelegt werden. Außerdem sollte der Projektordner übersichtlich aufgebaut werden, z.B. wie folgt (nach Gerhardt, 2019a):

- Unterordner „Infos“ (für Karten, Tabellen, Ersterhebungsbogen des Betriebes usw.)
- Unterordner „Rasterdateien“ (für Rasterdateien wie z.B. .TIFF-Bilder, .TIFF-GeoTIFFs, .aux-Dateien usw.)
- Unterordner „Vektordateien“ (für Vektordateien wie z.B. .shp-Shapefiles und die dazugehöri-

gen .dbf-, .prj-, .qproj- und .shx-Dateien)

- Die Projekt-Datei .qgz (über diese Datei wird das Projekt auch geöffnet)

Außerdem empfiehlt es sich zu überprüfen, ob unter „Projekt“ > „Eigenschaften“ > „Allgemein“ > „Pfade speichern“ auf „Relativ“ gestellt ist, so kann der ganze Projektordner verschoben werden und die Layer werden z.B. beim Öffnen auf einem anderen Computer weiterhin gefunden (Gerhardt, 2019a).

Nierste, o.D.(a) empfiehlt das Abspeichern der Projektdatei und aller weiteren erstellen Vektor- und Rasterdaten in einer Geopackage-Datase. Dadurch sind alle Daten übersichtlich in einer Datei gespeichert und können bspw. problemlos geteilt werden. Ein Problem können Datenverluste sein, da beim überschreiben der .gpkg (Geopackage)-Datei das gesamte Projekt überschrieben wird.

7.3 Nützliche Erweiterungen

Über die QGIS-Umgebung können weitere externe Datenanbieter und Plugins installiert und ausgeführt werden, von welchen im Folgenden einige für die Agroforstplanung relevante vorgestellt werden.

7.3.1 Plugins

Da QGIS eine FLOSS ist, können Benutzer*innen über die Programmiersprache Python, in der QGIS geschrieben ist, selbst Plugins schreiben und diese zum [QGIS Python Plugins Repository](#) hinzufügen. Die Community um QGIS ist recht aktiv und es gibt einige nützliche Plugins, die auch bei der Planung von Agroforstsystemen eingesetzt werden können:

-  QuickMapServices: Einfügen von Karten wie Google Maps, OpenStreetMap, Bing Maps usw. (siehe Kapitel 7.4.1)
-  Nominatim Locator Filter: Suche von Orten, Städten usw. (siehe Kapitel 7.4.1)
-  QuickOSM: Zugriff auf Vektordaten von OpenStreetMap.
-  Value tool: Zeigt Rasterwerte aller Rasterlayer an der Mausposition an. Dadurch können bspw. Höhenmeter schnell abgelesen werden.
-  PisteCreator: Kann z.B. für die Erstellung von Keylines mit vorgegebenem Gefälle benutzt werden (siehe Kapitel 7.7.1).
-  Point sampling tool: Schreibt Attribute anderer Layer in die Attributtabelle eines Punktlayers.
-  Sort and Number: Fügt eine neue Spalte in der Attributtabelle eines Layers hinzu in welchem die Elemente dann z.B. alphabetisch durchnummeriert werden.
-  Vector Bender: Zum Georeferenzieren von Vektorebenen.

-  Profile Tool: Zeichnet Profillinien/Querschnitte aus Raster-Layern, bspw. einem DGM, wodurch das Gefälle oder die Steigung von Linien überprüft werden kann.
-  Spreadsheet Layers: Das Plugin wurde dazu entwickelt, dass Attributtabelle mit .ods-, .xls- oder .xlsx-Tabellen (Open Document Spreadsheets bzw. Excel-Tabellen) verknüpft werden können und diese sich dynamisch aktualisieren, also bspw. Änderungen in der Attributtabelle auch in der .ods-Tabelle übernommen werden und anders herum. Leider hat das Ändern in der Attributtabelle bisher stets zu einer korrupten Datei auf dem Desktop geführt, welche nicht mehr geöffnet werden konnte.

Dies ist nur eine Auswahl einiger Plugins, Gerhardt, 2019a gibt noch weitere an. Die Plugins werden unter „Erweiterungen“ > „Erweiterungen verwalten und installieren“ installiert. Manche Plugins werden hier nicht gefunden und können dann über das [QGIS Python Plugins Repository](#) heruntergeladen und anschließend die .zip-Datei unter „aus ZIP installieren“ installiert werden.

7.3.2 Weitere externe Anwendungen (SAGA, GDAL, GRASS, OTB)

Über QGIS sind außerdem weitere externe Anwendungen eingegliedert, welche unter „Einstellungen“ > „Optionen“ > „Verarbeitung“ > „Datenanbieter“ aktiviert werden können:

- System für Automatisierte Geowissenschaftliche Analysen (SAGA): SAGA wurde „für eine einfache und effektive Implementierung von räumlichen Algorithmen entwickelt [...und...] bietet ein umfangreiches, wachsendes Set an geowissenschaftlichen Methoden“ (SAGA, o.D.). „Ursprünglich entstand SAGA aus einer Vielzahl kleiner, spezialisierter Programme für verschiedene geowissenschaftliche Fragestellungen, die in einem Programm zusammengefasst wurden. Der Schwerpunkt des Programmes liegt auf physisch-geographischen Berechnungen und Darstellungsformen, welche meist auf Basis von Rasterdaten durchgeführt werden. Darüber hinaus beherrscht SAGA aber auch das Laden, Verändern und Erstellen von Vektordaten und ist damit auch für den Umgang mit thematischen Karten geeignet“ (Wikipedia, o.D.(d)).
- Geospatial Data Abstraction Library (GDAL): „GDAL ist eine Übersetzungsbibliothek für Raster- und Vektor-Geodatenformate [...und...] sie enthält außerdem eine Reihe nützlicher Kommandozeilenprogramme für die Datenübersetzung und -verarbeitung“ (GDAL, o.D.).
- Geographic Resources Analysis Support System (GRASS): GRASS wurde „für die Verwaltung von Vektor- und Raster-Geodaten, Geoprocessing, räumliche Modellierung und Visualisierung entwickelt“ (GRASS, o.D.).
- (Orfeo ToolBox (OTB): Für die Verarbeitung von optischen, multispektralen und Radarbildern bspw. zur Klassifizierung mithilfe von Machine Learning. Die Installation gestaltet sich bisher etwas komplizierter als das bloße Aktivieren und dieser Anbieter ist vorerst für die Planung von Agroforstsystemen nicht direkt relevant.)

7.4 Kartenmaterial

Das Finden und richtige Eingliedern von Kartenmaterial macht einen großen Teil bei der Planung von Agroforstsystemen in QGIS aus. In diesem Kapitel soll erklärt werden, wo Kartenmaterial gefunden werden kann und wie dieses richtig in die QGIS-Umgebung eingefügt wird.

7.4.1 QuickMapServices und Nominatim Locator Filter

Für einen ersten Überblick ist das Plugin „QuickMapServices“ (🌐) besonders hilfreich. Nach der Installation ist es unter „Web“ > „QuickMapServices“ zu finden. In den Einstellungen können unter „Visibility“ die verschiedenen Kartenanbieter ausgewählt werden, welche dann in dem Plugin angezeigt werden. „Open Street Map (OSM)“ oder Satellitenbilder wie „Google Satellite Hybrid“, „Bing Aerial“ und „ESRI Satellite“ sind hilfreich. Das Einfügen einer dieser Karten ändert das Projekt-KBS auf WGS84, es sollte danach zurück auf UTM zone 32 bzw. 33 geändert werden (siehe Kapitel 7.2). Das KBS der Layer dieser Hintergrunddienste sollte niemals unter Rechtsklick > „KBS setzen“ geändert werden, da QGIS es „on the fly“ in das Projekt-KBS projiziert (Nierste, o.D.(b)).

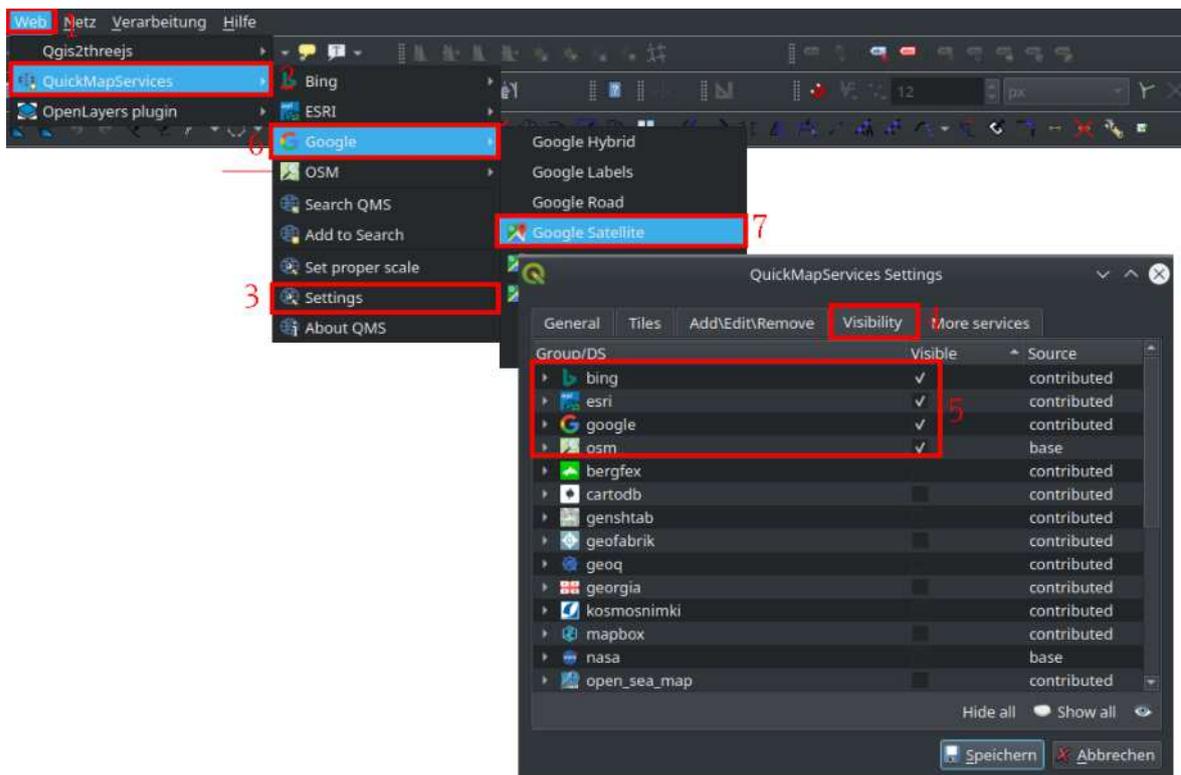


Abbildung 15: Bedienung des Plugins QuickMapServices

Mithilfe des Nominatim Locator Filter-Plugins kann dann nach der Position eines Ort gesucht werden. Dazu wird die Suchleiste unten Links im QGIS-Fenster benutzt. Es ist wichtig, bei der Suche ein Leerzeichen am Ende anzufügen, damit die Suche funktioniert, bspw. so: „Witzenhausen “ (siehe Abb. 16).

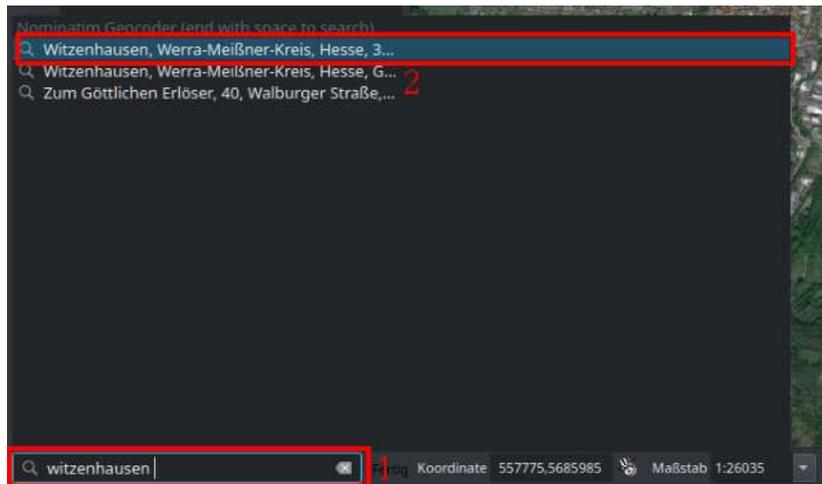


Abbildung 16: Benutzung des Plugins NominatimLocatorFilter

7.4.2 Google Earth Pro

Zusätzlich können in dem freien Programm Google Earth Pro historische Satellitenbilder angezeigt werden (siehe Abb. 17). Durch das Betrachten verschiedener Satellitenbilder können teilweise weitere interessante Elemente entdeckt werden. Außerdem lässt sich bei Google Earth Pro an manchen Orten mithilfe des gelben Google Street View-Männleins bzw. -Weibleins in die Bodenansicht wechseln. So lässt sich ein Eindruck der Topographie auch schon vor einer Flächenbegehung gewinnen.

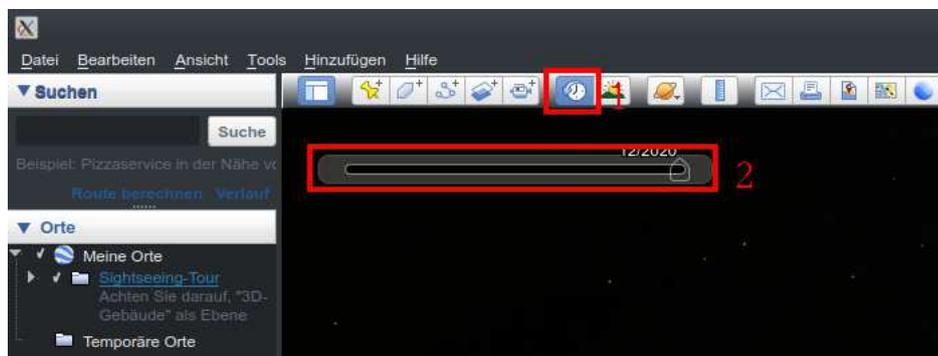


Abbildung 17: Historische Satellitenbilder in Google Earth Pro anzeigen lassen

7.4.3 Kartenmaterial bei den Ämtern

Die Verfügbarkeit von gutem Kartenmaterial ist von Bundesland zu Bundesland unterschiedlich. Oft müssen brauchbare Karten gekauft werden, für manche Projekte reichen aber auch die frei verfügbaren Karten aus. Wichtig sind zum einen ein DGM, am besten ein DGM1 mit einer Gitterweite von 1 m, also einer Höheninformation für jeden Quadratmeter und manchmal ist ein DOP hilfreich, am besten ein DOP20 mit einer Auflösung von 20 cm. Durch die Benutzung unterschiedlicher Satellitenbilder und Orthophotos können Details, wie bspw. Erosionsrinnale entdeckt werden, welche manchmal nur auf einer der Karten sichtbar sind, also z.B. nur in einem Jahr aufgetreten sind (siehe Abb. 18).

Die Rasterdaten gibt es bei den zuständigen Landesämtern der Bundesländer, sowie beim Bund (siehe Tab. 2). Häufig gibt es eine Mindestbestellgröße von 1 km², für diesen Fall schlägt Nierste, o.D.(b) vor, die Ausdehnung des Rasters möglichst über das Wasser-Einzugsgebiet zu erstrecken, in welchem die Fläche liegt, da dieses am ehesten einen Einfluss auf die Fläche hat (siehe hierzu Kapitel 7.5.3). Es gibt außerdem von allen Bundesländern ein Geoportal oder einen Geoviewer mit einer interaktiven Karte wo allerlei Infos zu beispielsweise Grundstücksgrenzen, Schutzgebieten, Bodenausgangsgestein, Bodenart und vieles mehr zu finden sind (siehe Tab. 2).



Abbildung 18: Erosionsrinnsal in Talsenke, sichtbar auf einem DOP20

Bundesland	Quellen für Rasterdaten	(Weitere) Geoportale
Bund	Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (für 174.000 € ist hier ein DOP20 für das gesamte Bundesgebiet erwerbbar)	Geoportal und DOP-Viewer
Schleswig Holstein	Landesamt für Vermessung und Geoinformation	Digitaler Atlas Nord Allgemein
Mecklenburg-Vorpommern	Landesamt für innere Verwaltung	Geodatenviewer GAIA-MV
Hamburg	Landesbetrieb Geoinformation und Vermessung	Geoportal Hamburg und Geoportal der Metropolregion Hamburg
Niedersachsen	Landesamt für Geoinformation und Landesvermessung	GeobasisdatenViewer Niedersachsen und NIBIS Kartenserver
Bremen	Landesamt für Geoinformation	Geoportal Bremen
Brandenburg	Landesvermessung und Geobasisinformation	Geoportal Brandenburg und Brandenburg Viewer
Berlin	Berlin Open Data und Landesvermessung und Geobasisinformation	Geoportal Berlin
Sachsen-Anhalt	Landesamt für Vermessung und Geoinformation	Sachsen-Anhalt Viewer
Nordrhein-Westfalen	Geoportal NRW	TIM-Online
Hessen	Hessische Verwaltung für Bodenmanagement und Geoinformation	Geoportal Hessen und Geoviewer Hessen
Thüringen	Landesamt für Bodenmanagement und Geoinformation	Thüringen Viewer , InVeKoS-TH und Geoproxy Thüringen
Sachsen	Staatsbetrieb Geobasisinformation und Vermessung	Sachsenatlas und GeoMIS Sachsen
Rheinland-Pfalz	Landesamt für Vermessung und Geobasisinformation	Geoportal Rheinland-Pfalz
Saarland	Landesamt für Vermessung, Geoinformation und Landentwicklung	Geoportal Saarland
Baden-Württemberg	Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung	Geoportal Baden-Württemberg
Bayern	Bayerische Vermessungsverwaltung	BayernAtlas

Tabelle 2: Rasterdaten und Geoportale der Landesämter

7.4.4 Freie Datensätze für GIS

Im Internet sind viele Datenbanken bspw. mit freien Vektor- und Rasterdaten für die Benutzung in GIS-Systemen zu finden.

DGM Beim Open Data Portal Österreich können die von Sonny zusammengestellten und bearbeiteten [Digitalen LiDAR-Geländemodelle von Europa](#) heruntergeladen werden. Für Deutschland gibt es dort ein DGM mit einer Auflösung von 20 m. Für manche Agroforstplanungen kann ein DGM dieser Auflösung ausreichen, vor allem, wenn keine Keyline- oder konturlinienorientierte Planung angedacht ist und das DGM nur zur Überprüfung oder Darstellung der Topographie genutzt wird.

Boden Im Produktcenter der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe gibt es die [Bodenübersichtskarte 1:1.000.000](#) der Bundesrepublik Deutschland als Vektor- und Rasterdatensatz zu downloaden. Die [Bodenübersichtskarte 1:200.000](#) hingegen gibt es nur in 55 einzelnen Blättern zu downloaden und die Attribute (z.B. für eine Legende) müssen der [BÜK200-Flächendatenbank \(MS Access\)](#) entnommen werden. Unter Windows ist diese Microsoft Access Datenbank mit Microsoft Office zu öffnen. Unter Linux kann die Datenbank z.B. mit dem FLOSS Programm [MDB Tools](#) geöffnet und die Tabellen entnommen werden.

Von der Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), in Zusammenarbeit mit einigen anderen Institutionen, gibt es außerdem die [Harmonized World Soil Database v 1.2](#), welche jedoch für Deutschland bis auf kleinste Abweichungen den gleichen Datensatz wie die Bodenübersichtskarte 1:1.000.000 beinhaltet.

Weitere Quellen für globale GIS-Daten Auf den folgenden Seiten sind weitere open-source GIS-Daten zu finden, die sich teilweise als hilfreich bei der Planung und Darstellung von Agroforstsystemen herausstellen könnten, auf die hier jedoch nicht näher eingegangen werden kann:

- [Free GIS Data](#)
- [List of GIS data sources](#)
- [GeoServer](#)
- [Earth Explorer](#)
- [INSPIRE Geoportal](#)
- [DIVA-GIS](#)

7.4.5 Karten hinzufügen und zuschneiden

Das Kartenmaterial kann unter „Layer“ > „Layer hinzufügen“ > „Rasterlayer hinzufügen“ hinzugefügt werden (siehe Abb. 19). In manchen Fällen handelt es sich um Vektordaten, diese werden dementsprechend unter „Vektorlayer hinzufügen“ hinzugefügt. Bei den Rasterlayern wird in der Regel jeweils die .tif Datei, in manchen Fällen auch bspw. eine .xyz-Datei ausgewählt. Im Layer-Bedienfeld

werden die neuen Rasterlayer nun angezeigt. Falls das Bedienfeld nicht geöffnet ist, kann es durch Rechtsklick auf die Menüwerkzengleiste geöffnet werden.

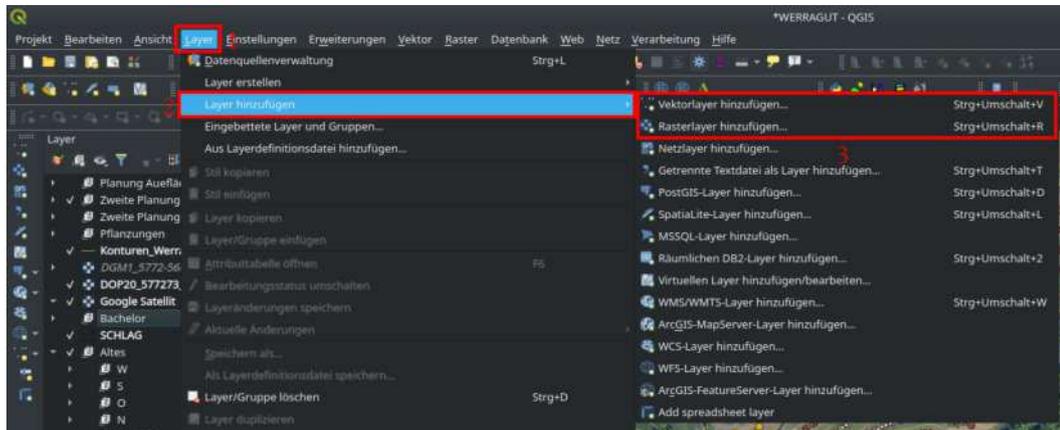


Abbildung 19: Hinzufügen von Vektorlayern und Aufrufen des Layer-Bedienfelds

Falls die hinzugefügten Karten nicht mit den Hintergrundkarten aus dem QuickMapServices Plugin übereinstimmen, kann es an einem falschen KBS liegen. Es ist wichtig zu wissen, in welchem KBS die Daten abgespeichert sind, bevor diese hinzugefügt werden. Falls die Karten nicht richtig georeferenziert sind können folgende Schritte unternommen werden:

- Durch Rechtsklick auf das Layer > „KBS setzen“, kann ein anderen KBS gesetzt werden, falls das falsche KBS gesetzt ist, die Datei/das Layer jedoch im passenden KBS projiziert ist.
- Transformieren unter „Raster“ > „Projektion“ > „Transformieren (Reprojizieren)“. Hier kann als Quell-KBS das KBS angegeben werden, welches bei manchen Datensätzen in der .xml-Datei in der Zeile mit „targetSrs“ (STRG+F um die Textsuche zu öffnen) steht (z.B. ETRS_1989_UTM_32N) und als Ziel-KBS das Projekt-KBS EPSG:25832 bzw. 25833.
- Falls beides nicht hilft, müssen die Karten manuell georeferenziert werden, siehe dazu Kapitel 7.4.6.

Wenn große Rasterdatensätze vorhanden sind, jedoch nur ein kleiner Kartenausschnitt benötigt wird, empfiehlt es sich Rechenleistung zu sparen, indem zuerst das Rasterlayer auf den gewünschten Kartenausschnitt zugeschnitten wird. Das ist unter „Raster“ > „Extraktion“ > „Raster auf Ausdehnung zuschneiden“ möglich. Dort wird das Eingabelayer (z.B. ein DGM oder DOP) und der gewünschte Kartenausschnitt angegeben. Der Kartenausschnitt kann entweder durch Koordinaten, der aktuelle Auschnittsausdehnung der Ansicht in QGIS, durch das Einzeichnen eines Kartenausschnitts oder der Ausdehnung eines anderen Layers angegeben werden. Außerdem kann eine Ausgabedatei ausgewählt werden oder das Layer vorerst in einer temporären Datei gespeichert und diese anschließend exportiert werden (siehe Kapitel 7.6.1).

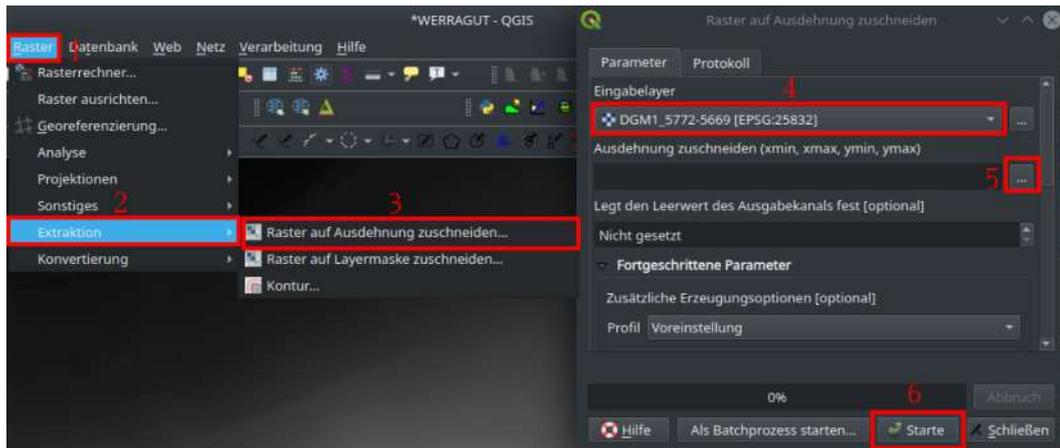


Abbildung 20: Rasterlayer zuschneiden um Rechenleistung zu sparen

7.4.6 Karten georeferenzieren

Um bspw. Lagekarten von Drainagen oder Erdkabeln oder historische Karten zu georeferenzieren, also den Karten einen räumlichen Bezug zu geben, gibt Gerhardt, 2019a eine gute Erklärung, die im Folgenden leicht verändert aufgeführt wird:

Zuerst wird ein neues QGIS-Projekt angelegt und kein KBS gesetzt. Dann kann mit dem Plugin QuickMapServices ein Satellitenbild hinzugefügt und mit dem Plugin Nominatim Locator ein Standort gesucht werden. Dann wird unter „Raster“ > „Georeferenzierung“ (🗺️) das Bedienfeld der Georeferenzierung geöffnet (siehe Abb. 22).

In dem Bedienfeld kann unter (🗺️) die Karte geöffnet werden, die georeferenziert werden soll. Anschließend werden unter (📍) Markierungspunkte gesetzt. Diese werden möglichst zuerst in den Ecken, immer diagonal zueinander, dann nochmal versetzt in den Ecken und dann in der Mitte gesetzt, da sich die Karte aufgrund des Algorithmus stärker verzerrt, wenn die Punkte in einer Reihe gesetzt werden (Gerhardt, 2019a). „Für die Georeferenzierung braucht QGIS mindestens 3 Punkte, erst ab dem 4. Punkt kann es einen Messfehler berechnen und anzeigen.“ (Gerhardt, 2019a, S. 25).

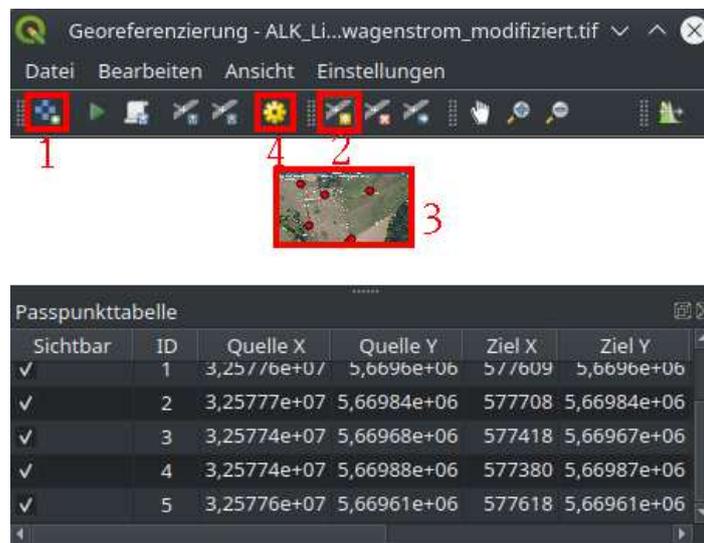


Abbildung 21: Transformationseinstellungen bei der Georeferenzierung einer Karte

Nach dem Setzen eines markanten Punktes auf dem Bild öffnet sich ein Fenster in dem die dazugehörigen Koordinaten angegeben werden können. Unter „Aus Kartenansicht“ können die passenden Koordinaten auch direkt auf dem geladenen Satellitenbild ausgewählt werden.

Anschließend können unter  die Transformationseinstellungen geöffnet werden. Hier wird ein Transformationstyp und eine Abtastmethode, sowie ein Ziel-KBS und eine Ausgabedatei festgelegt (siehe Abb. 21). Gerhardt, 2019a gibt an, dass, um Fehler zu vermeiden, erfahrungsgemäß das KBS „WGS84 / UTM zone 32“ bzw. „World Geodetic System 1984 (WGS84) / UTM zone 33“ gewählt werden sollte. Zu den unterschiedlichen Transformationstypen und Abtastmethoden kann bisher nicht mehr gesagt werden. Nachdem die Georeferenzierung gestartet wurde () , sollte das Ergebnis überprüft werden. Sollte das Ergebnis nicht mit den Hintergrundkarten des QuickMapServices Plugin übereinstimmen, kann der gleiche Prozess mit anderen Einstellungen wiederholt werden.

Wenn das Ergebnis mit den Hintergrundkarten übereinstimmt, kann das Bild jetzt in dem projizierten Projekt-KBS für die Planung abgespeichert und dann in dem eigentlichen Planungs-QGIS-Projekt geladen werden.



7.4.7 Grenzsteine und Grundstücksgrenzen

Grenzsteine und Grundstücksgrenzen spiegeln häufig nicht die tatsächlichen Bearbeitungsgrenzen auf der Fläche wieder. Das kommt daher, dass sich die Grenzen bspw. durch das Pflügen bis an den Rand der Fläche über die Jahre verschieben.

Über die Geoportale der Bundesländer (siehe Tabelle 2) lassen sich die Koordinaten der Grenzsteine teilweise als .shp-Datei ausgeben, teilweise müssen sie abgemessen und in eine .csv-Datei eingetragen werden (siehe Abb. 23). Es ist auch eine Nachfrage beim regionalen Katasteramt möglich. Falls diese Koordinaten von den Satellitenbildern abweichen, kann es Sinn machen, die Planung an die aktuellen Bewirtschaftungsgrenzen anzupassen. In dem Flächenförderantrag der Betriebe können die Grundstücksgrenzen als .shp-Datei exportiert und diese Datei anschließend in QGIS hinzugefügt werden.

Falls die Grenzsteine (oder auch andere Punkte) mit einem GPS-Gerät eingemessen wurden, werden diese bspw. mit den Attributwerten „Punkt-Nr.“ / „ID“, „Ost-“ / „x-Wert“, „Nord-“ / „y-Wert“, „Höhe“ / „z-Wert“ und „Code“ / „Name“ als .gpx-Datei abgespeichert. Die .gpx-Datei kann dann unter „Vektor“ > „GPS Werkzeuge“ > „GPX Datei laden“ hinzugefügt werden.

Die Koordinaten der Grenzsteine können aber auch im .csv-Format in Form einer .txt-Datei abgespeichert werden, dabei ist es wichtig zu wissen, in welchem Koordinatensystem diese angegeben sind (siehe Abb. 23). Die .txt-Datei kann dann unter „Layer“ > „Layer hinzufügen“ > „Getrennte Textdatei als Layer hinzufügen“ hinzugefügt werden und die Grenzsteine sollten in der Karte als Punkte angezeigt werden. Diese können dann mithilfe des Einrastwerkzeuges (📍) in einem Linien-Layer verbunden werden um Grundstücksgrenzen zu erhalten.

ID	X	Y
1	560160.2	5689950.6
2	560167.6	5689931
3	560177.6	5689919.8
4	560231.2	5689901.1
5	560233.7	5689898.1
6	560163.8	5689872.8
7	560094.5	5689847.7
8	560127.7	5689898.9
9	560144	5689933.7
10	560241.9	5689889.4
11	560214.1	5689879.3
12	560159.9	5689859.7
13	560092.3	5689835.8
14	560080.4	5689831.1
15	560092.1	5689843.9
16	560157.5	5689959
17	560138	5689941.3
18	560122.4	5689901.6
19	560087.2	5689847.5

Abbildung 23: Koordinaten der Grenzsteine als .txt-Datei im csv-Format

7.5 Rasteranalyse und -extraktion

Um einen besseren Eindruck von der Topographie der Fläche zu bekommen, können einige Rasteranalysen durchgeführt werden.

7.5.1 Schummerung, Neigung, Perspektive

Unter „Raster“ > „Analyse“ können neben anderen Analysen die „Schummerung“, „Neigung“ und „Perspektive“ ausgewählt werden.

Schummerung Bei der Schummerung wird ein Schatten zur Visualisierung der Topographie erzeugt. Die Position der Lichtquelle kann mit dem Azimuth (dabei entsprechen 0° Norden und 180° Süden) und der Höhe in Grad angegeben werden. Nierste, o.D.(b) empfiehlt außerdem „Kanten berechnen“ bei den Rasteranalysen zu aktivieren, da so geringere Anomalien an den Seiten des Rasters entstehen (siehe Abb.

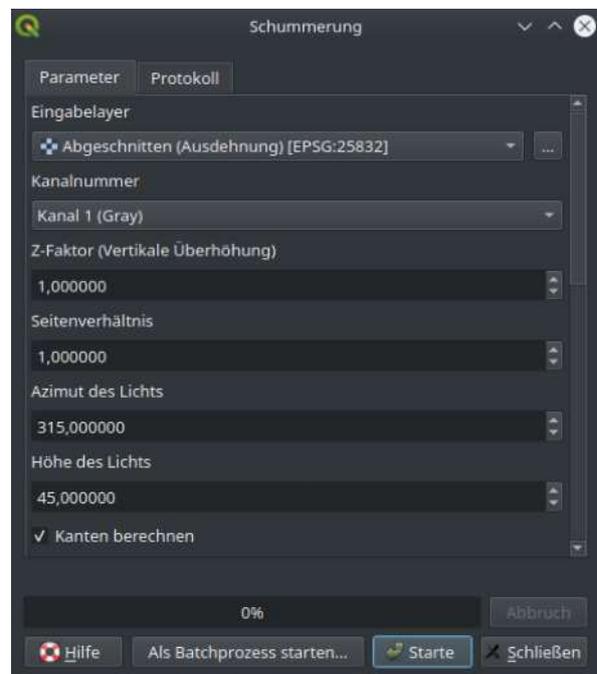


Abbildung 24: Bedienfeld der Rasteranalyse Schummerung

24). Das erzeugte Layer der Schummerung kann dann mit Rechtsklick > „Eigenschaften“> „Transparenz“ transparent gemacht werden, sodass bspw. das DGM oder DOP darunter sichtbar werden.

Neigung Bei der Einstellung der Neigungs-Analyse kann das Feld „Steigung in Prozent statt Grad ausdrücken“ angekreuzt werden. Da bei Keyline-Design bspw. häufig ein Gefälle von 1 % geplant wird, empfiehlt sich die Analyse in Prozent statt in Grad. Mithilfe des Plugin „Value Tool“ () können dann die Neigungswerte an der Mausposition abgelesen werden.

Perspektive Bei der Perspektiven-Analyse wird analysiert, zu welcher Himmelsrichtung Flächen ausgerichtet sind. Durch die Standard-Darstellung in Graustufen ist die Ausrichtung nicht gut erkennbar, daher sollte die Darstellung unter „Eigenschaften“ > „Symbolisierung“ bspw. wie folgt eingestellt werden:

Es werden „Einkanalpseudofarben“ ausgewählt und unter „Farbverlauf“> „Erzeuge neuen Farbverlauf“ ein Farbverlauf wie in Abb. 25 zu sehen ist erstellt. Der Farbverlauf läuft einmal um den Farbkreis und die Gradientenstopps sind in Prozent wie in Tabelle 3 positioniert. Der erstellte Farbverlauf kann dann unter „Farbverlauf“ > „Farbverlauf speichern“ gespeichert werden. Anschließend wird der „Modus“ auf „Fortlaufend“ eingestellt und die Werte sollten dann automatisch in Grad entsprechend der Tabelle 3 klassifiziert werden. Unter „Stil“> „Speichere Stil“ kann der Stil z.B. mit dem Namen „Perspektive-Template“ als .qml-Datei gespeichert werden. Bei anderen Projekten kann dieser Stil dann unter „Stil“ > „Lade Stil“ geladen werden und muss nicht wieder neu erstellt werden. Siehe Ergebnis in Abb. 26.

Prozent	Grad	Beginn der nächsten Himmelsrichtung
0 %	0°	N
6,25 %	22,5°	NE
18,75 %	67,5°	E
31,25 %	112,5°	SE
43,75 %	157,5°	S
56,25 %	202,5°	SW
68,75 %	247,5°	W
81,25 %	292,5°	NW
93,75 %	337,5°	N

Tabelle 3: Beginn der nächsten Himmelsausrichtungen in 8 Klassen in Prozent und Grad

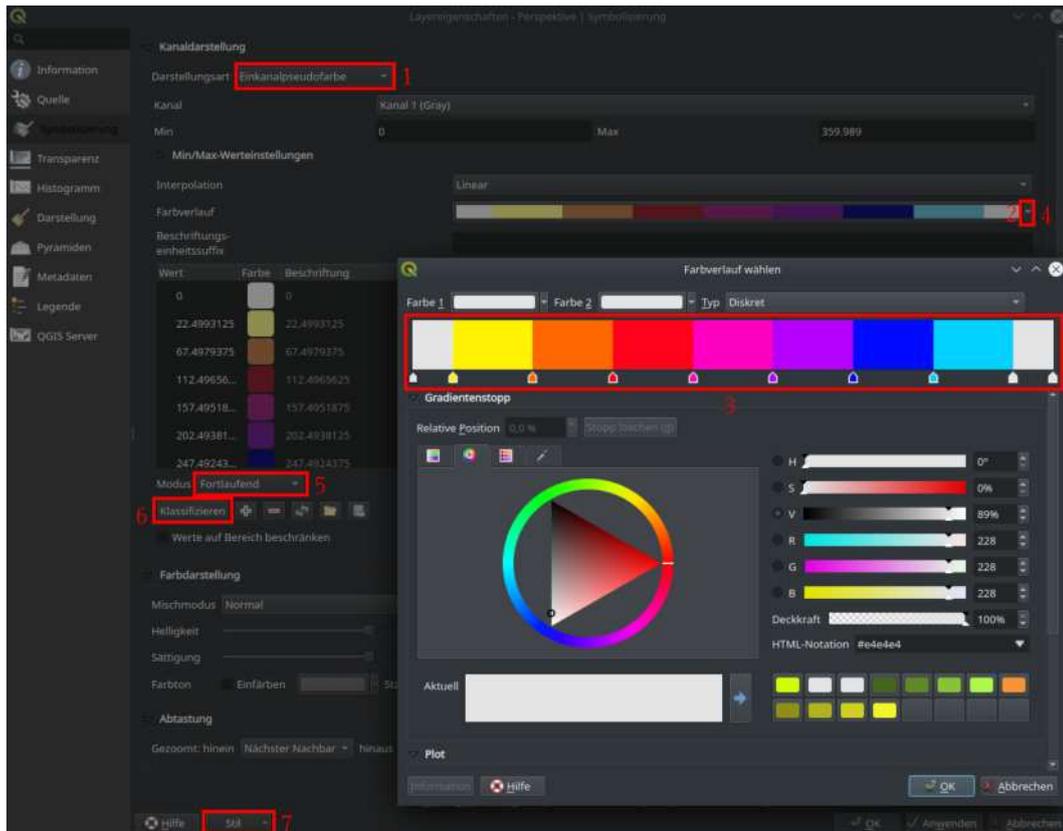


Abbildung 25: Einstellung der Symbolisierung für das Perspektive-Layer

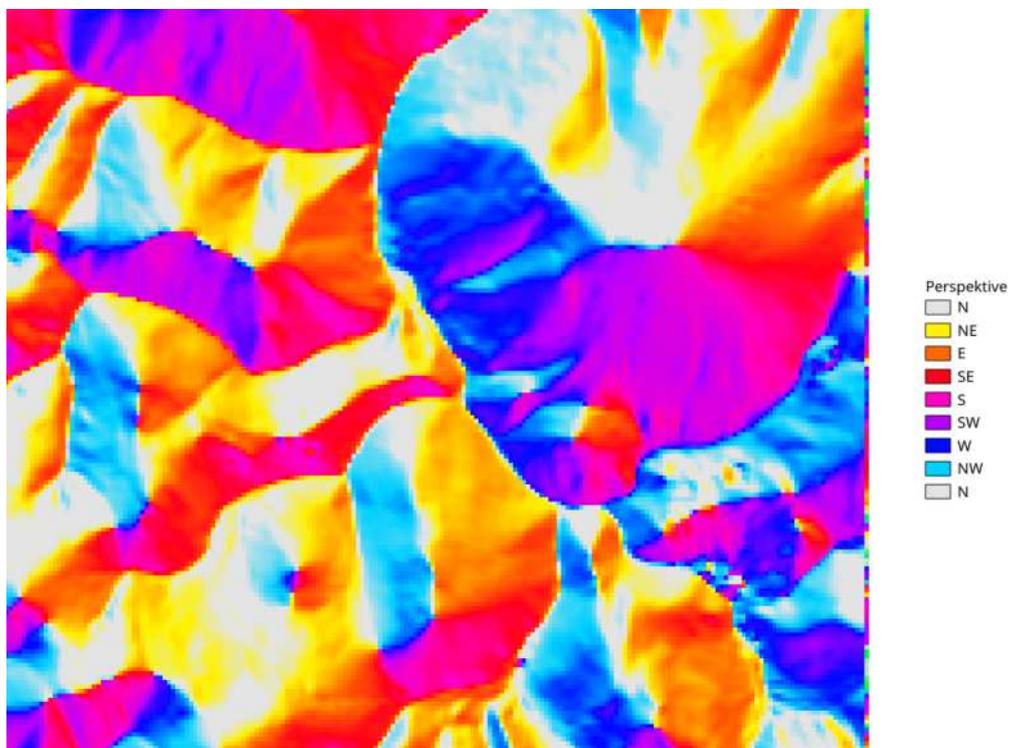


Abbildung 26: Darstellung der Perspektive über einem DGM20, Maßstab 1:16.000

7.5.2 Konturlinien erzeugen

Unter „Raster“ > „Extraktion“ > „Kontur“ () können unter Eingabe des DGM Konturlinien erzeugt werden. Die Intervalle sollten der Genauigkeit des DGM entsprechen. Bei einem DGM1 bringen 1 m Intervalle gute Ergebnisse, doch auch kleine Intervalle sind möglich und zeigen weitere Details auf. Wenn relativ kleine Intervalle gewählt werden, kann es zu eckigen und auch zu vielen kleinen Objekten bei den Konturlinien kommen.

Mit dem Plugin „Generalizer“ () können mit „Remove small objects“ mit einem Schwellenwert von 0,1 kleine Objekte entfernt werden (Gerhardt, 2019a). Anschließend können mit dem „Lang Algorithm“ mit einem Schwellenwert von 0,1 und einem „Look ahead“-Faktor von 5 – 7 weitere kleine Objekte entfernt und die Konturlinien abgerundet werden (Gerhardt, 2019a). Mit dem SAGA-Werkzeug „Line smoothing“ können die Linien ebenfalls weich gezeichnet werden.

Damit anhand der Konturlinien auch zu erkennen ist, in welche Richtung es nach oben und in welche nach unten geht, sollten Beschriftungen hinzugefügt werden. Dazu mit Rechtsklick auf das Layer der erzeugten Konturlinien > „Eigenschaften“ > „Beschriftungen“ > oben auf „Einzelne Beschriftungen“ umstellen und den „Wert“ auf „ELEV“ (Elevation) stellen. Nun unter „Text“ die Größe beispielsweise auf 7 Punkte einstellen (Siehe Abb. 28). Für die Beschriftung sind noch sehr viele weitere Einstellungen möglich, wie z.B., dass die Beschriftung nach einem gewissen Abstand wiederholt wird oder dass die Konturlinien unter der Beschriftung in einem Pufferbereich verschwinden. Auch hier kann der gewählte Stil unter „Stil“ > „Speichere Stil“ als .qml-Datei für zukünftige Projekte gespeichert werden.

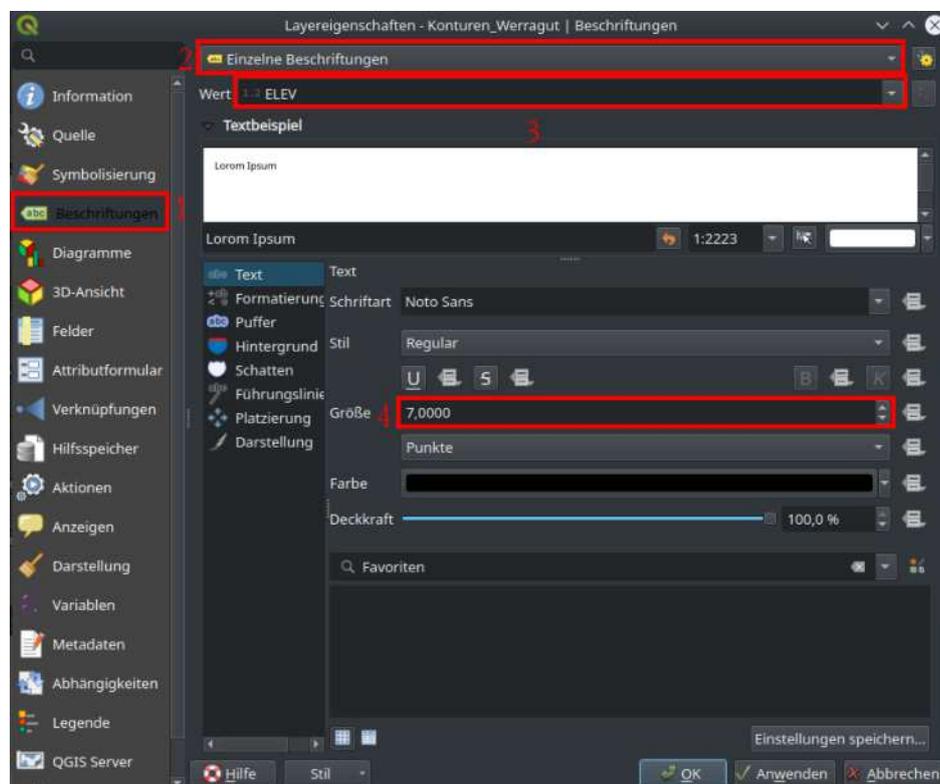


Abbildung 27: Beschriftung von Konturlinien einstellen

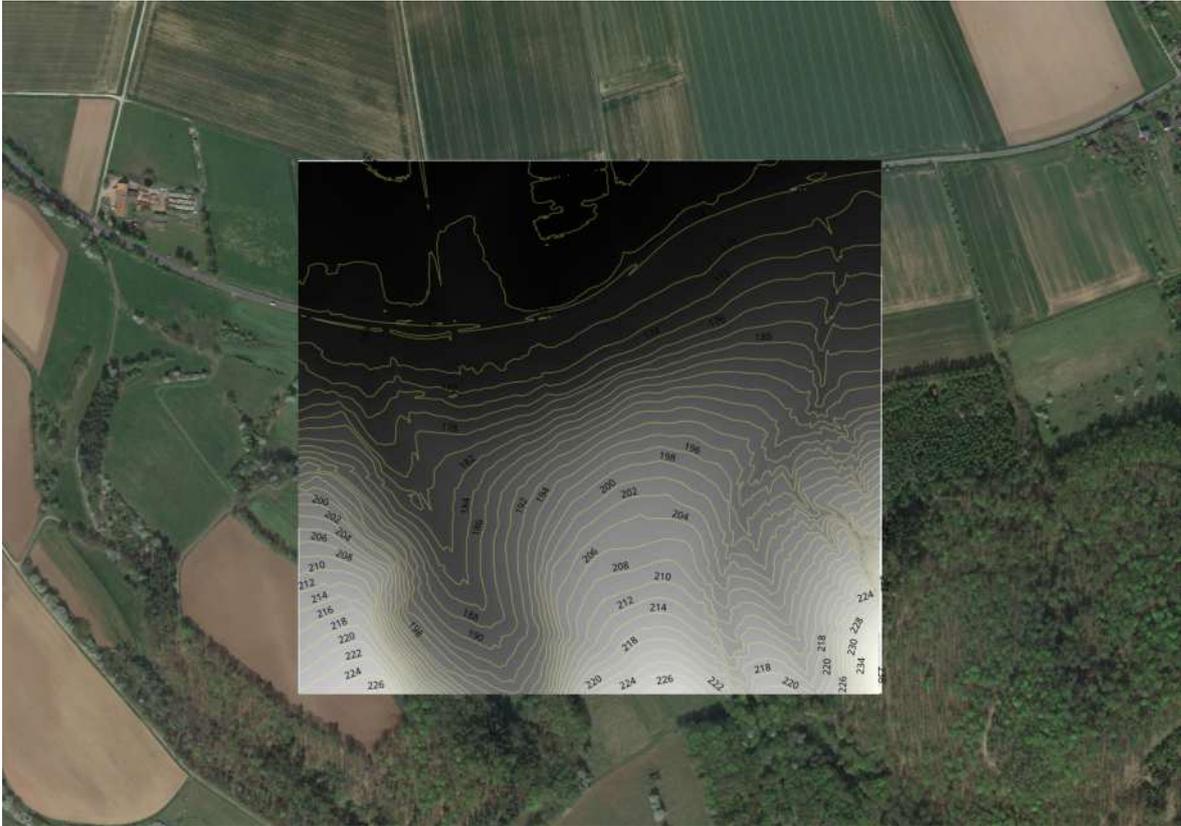


Abbildung 28: Beschriftete Konturlinien über DGM1

7.5.3 Einzugsgebiete berechnen

Mithilfe der open-source DGM-Daten können vor dem Kauf eines höher aufgelösten DGM oder DOP die Einzugsgebiete um die zu planende Fläche berechnet werden, um die Ausdehnung des gekauften Rasters möglichst auf das Einzugsgebiet der Fläche zuzuschneiden. Mithilfe des SAGA-Werkzeugs „Fill Sinks (wang & liu)“ kann das DGM bereinigt werden und anschließend kann das bereinigte DGM mit dem SAGA-Werkzeug „Channel network and drainage basins“ analysiert werden (siehe Abb. 36).

7.6 Wichtige Werkzeuge

Im folgenden sollen einige hilfreiche Werkzeuge aus der QGIS-Umgebung vorgestellt werden, welche für die Planung von Agroforstsystemen relevant sein können.

7.6.1 Temporäre Layer speichern

Werden Werkzeuge ausgeführt, welche neue Layer erstellen, so werden diese Layer als Temporäre Layer gespeichert. Hinter Temporären Layern taucht dieses Symbol auf , mit Rechtsklick auf das

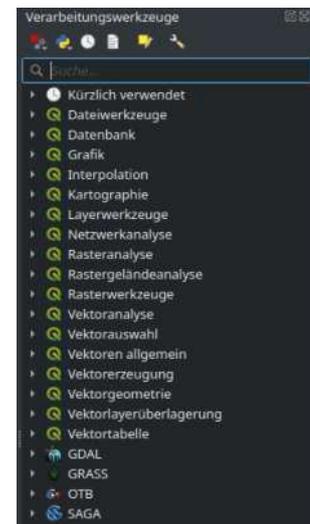


Abbildung 29: Werkzeugkiste

Layer > „Exportieren“ > „Speicher als“ kann das Layer bspw. in dem Projektordner abgespeichert werden. Eine andere Möglichkeit ist Rechtsklick auf das Layer > „Permanent machen“. Vor dem Schließen von QGIS sollten alle Temporären Layer, die noch benötigt werden zu Permanenten Layern gemacht werden.

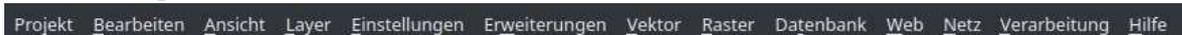
7.6.2 Werkzeugkiste

In der Werkzeugkiste lassen sich allerlei wichtige Verarbeitungswerkzeuge finden. Sie kann unter „Verarbeitung“ > „Werkzeugkiste“ geöffnet werden. Hier werden neben vielen Verarbeitungswerkzeugen von QGIS auch die Werkzeuge der Datenanbieter GDAL, GRASS, SAGA und OTB aufgeführt. Vor allem die Werkzeuge aus den Bereichen der Vektorerzeugung und -überlagerung sind bei der Planung von Agroforstsystemen relevant (siehe Abb. 29).

7.6.3 Werkzeuggestreife

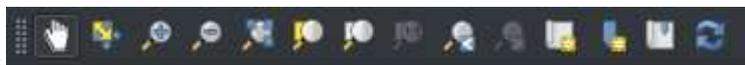
Viele der Werkzeuge in den Werkzeuggestreife können auch über Tastenkürzel oder über die Menüwerkzeuggestreife erreicht werden. Im Folgenden werden die Streifen benannt und ein paar wichtige Werkzeuge aus ihnen vorgestellt.

Menüwerkzeuggestreife



Die Menüwerkzeuggestreife stellt die oberste Einteilungsebene in QGIS dar.

Kartennavigationswerkzeuge



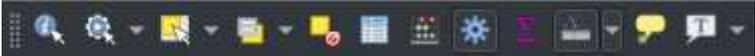
Mit (🖱️) kann die Karte verschoben werden. Die Zoom-Werkzeuge lassen sich normalerweise gut durch ein Mausrad ersetzen und durch rein- und rauszoomen der Karte mit dem Mausrad wird auch die Karte aktualisiert (🔄). Praktisch sind auch „Karte zu gewähltem Objekt verschieben“ (📍) und „Auf Layer zoomen“ (🔍).

Digitalisierungswerkzeuggestreife



Die Digitalisierungswerkzeuggestreife ist wichtig zur Bearbeitung von Layern. Der „Bearbeitungsstatus“ (🔧) muss immer eingeschaltet sein, um Bearbeitungen im Layer vorzunehmen. Auch können hier neue Shape-Objekte gezeichnet werden. In diesem Fall „Linienobjekt hinzufügen“ (📏), bei Punkt- oder Polygonlayern entsprechen Punktobjekt bzw. Polygonobjekt hinzufügen. Mit dem „Knotenwerkzeug“ (📍) können einzelne Punkte eines Objektes verschoben werden. Außerdem können hier nachdem Objekte gewählt wurden (📍), diese Objekte gelöscht (🗑️), ausgeschnitten (✂️ bzw. STRG+X), kopiert (📄 bzw. STRG+C) und bspw. in andere Layer eingefügt (📄 bzw. STRG+V) werden und letzte Änderungen am Layer rückgängig gemacht (↶ bzw. STRG+Z) oder auch wiederholt (↷) werden.

Mit (📏) können die Attribute aller gewählten Objekte gleichzeitig verändert werden, was bspw. beim Zuordnen von Sorten hilfreich ist.

Attributwerkzeuge  Hier ist besonders ganz links die „Attributabfrage“ (🔍) wichtig um Raster- oder auch Attributtabellendaten eines gewählten Objektes abzufragen. Außerdem das „Auswahl-Werkzeug“ (📏) (siehe Abb. 30, erste Grafik). Wenn STRG gedrückt gehalten wird, können anschließend gewählte Objekte wieder abgewählt werden.

Mit dem Werkzeug (📏) können Objekte nach Werten aus der Attributtabelle, wie z.B. dort eingetragene Sortennamen ausgewählt werden (Abb. 30, zweite Grafik).

Mit (📄) kann die Attributtabelle und mit (🔢) der Feldrechner geöffnet werden. Mit (⚙️) lässt sich die Werkzeugkiste öffnen.

Mit dem Messen-Werkzeug (📏) können Längen, Flächen und Winkel gemessen werden (Abb. 30, dritte Grafik).

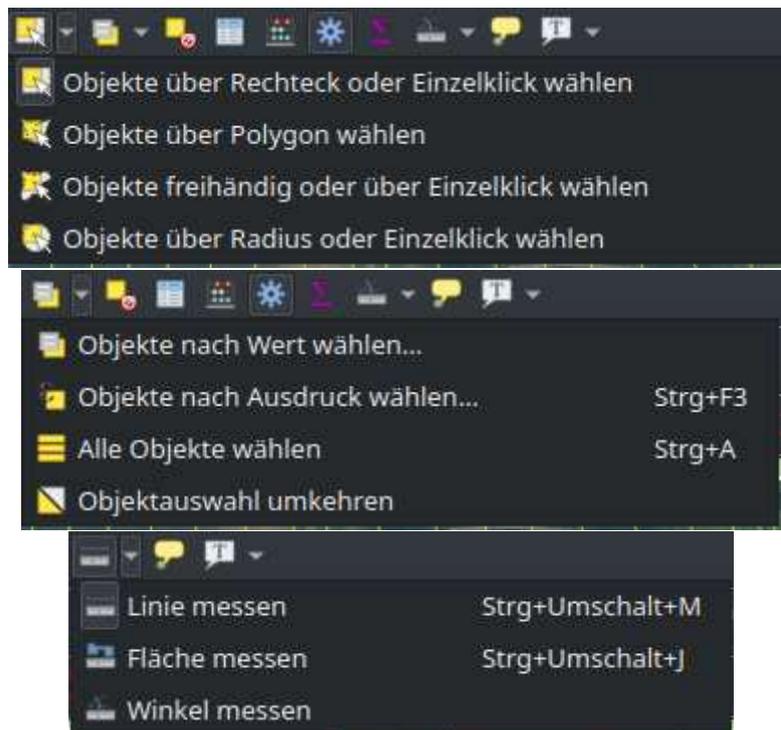
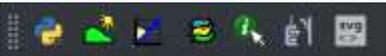


Abbildung 30: Attributwerkzeuge

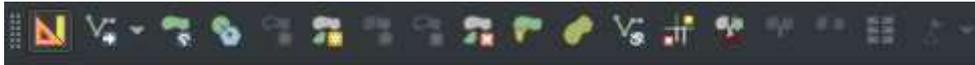
Erweiterungswerkzeuge  Hier landen einige der installierten Erweiterungen. Manche müssen woanders ausfindig gemacht werden, häufig über die Menüwerkzeuge.

Einrastwerkzeuge  Mit dem Einrastwerkzeug (📍) kann beim Zeichnen von Vektorobjekten z.B. auf einen bestehenden Punkt oder

eine Linie von anderen Layern eingerastet und so sehr genau gezeichnet werden. Der Radius ab dem der Mauszeiger auf ein Element eingerastet kann eingestellt werden, sowie, ob nur auf aktive oder alle Layer und nur auf Punkte oder auch auf Linien eingerastet werden soll.

Besonders in Kombination mit dem Erweiterte Digitalisierung-Werkzeug () lassen sich so präzise Winkel und Längen zeichnen.

Erweiterte Digitalisierungswerkzeugeleiste



In dem Erweiterte Digitalisierungs-Werkzeug () werden beim Zeichnen der Abstand (d), der Winkel (a) und die Koordinaten x und y angezeigt. Mithilfe des Schloss-Zeichens () können bestimmte Werte festgelegt werden um z.B. einen exakten Winkel mit einer exakten Länge zu zeichnen (siehe Abb. 31). Über den Konstruktionsmodus (), welcher mit der Taste C umgeschaltet wird, kann festgelegt werden, ob die nächste gezogene Linie eingezeichnet werden soll oder nur der Abmessung dient. Mit der Taste P kann außerdem zwischen dem senkrechten, parallelen und normalen Modus umgeschaltet werden.

Mit den Werkzeugen der Digitalisierungswerkzeugeleiste können außerdem untern anderem gewählte Objekte verschoben (), verschmolzen (), zerschnitten (), gedreht (), vereinfacht () und Teile gelöscht () werden.



Abbildung 31: Erweiterte Digitalisierung Bedienfeld

Werkzeugeleiste für Formen

Mit dieser Werkzeugeleiste lassen sich gut regelmäßige Polygone und Kreise zeichnen.

7.6.4 Attributtabelle und Feldrechner

In der Attributtabelle () können den einzelnen Geometrien verschiedene Attribute zugewiesen werden. So lassen sich hier bspw. die für ein Gehölz-Punkt-Layer wichtigen Parameter „Art“, „Sorte“, „Höhe“, „Brusthöhendurchmesser“ und „Kronenradius“ angeben (Gerhardt, 2019a). Die in der Attributtabelle eingetragenen Werte können dann bspw. für die Beschriftung von Objekten oder die Größendarstellung einer Symbolisierung verlinkt werden (siehe Kapitel 7.7.7).

Für die Bearbeitung der Attributtabelle und eine Verlinkung mit Desktop-Tabellen könnte sich das

Plugin „Spreadsheet Layers“ als nützlich herausstellen, welches bisher jedoch zu korrupten Dateien geführt hat.

Mit dem Feldrechner (🧮) kann mit den Werten aus der Attributtabelle gerechnet werden und Ergebnisse in neue Spalten eingetragen werden. Es lassen sich auch Funktionen, wie die Berechnung der Länge von Linien oder der Größe von Flächen, ausführen (siehe Kapitel 7.7.2).

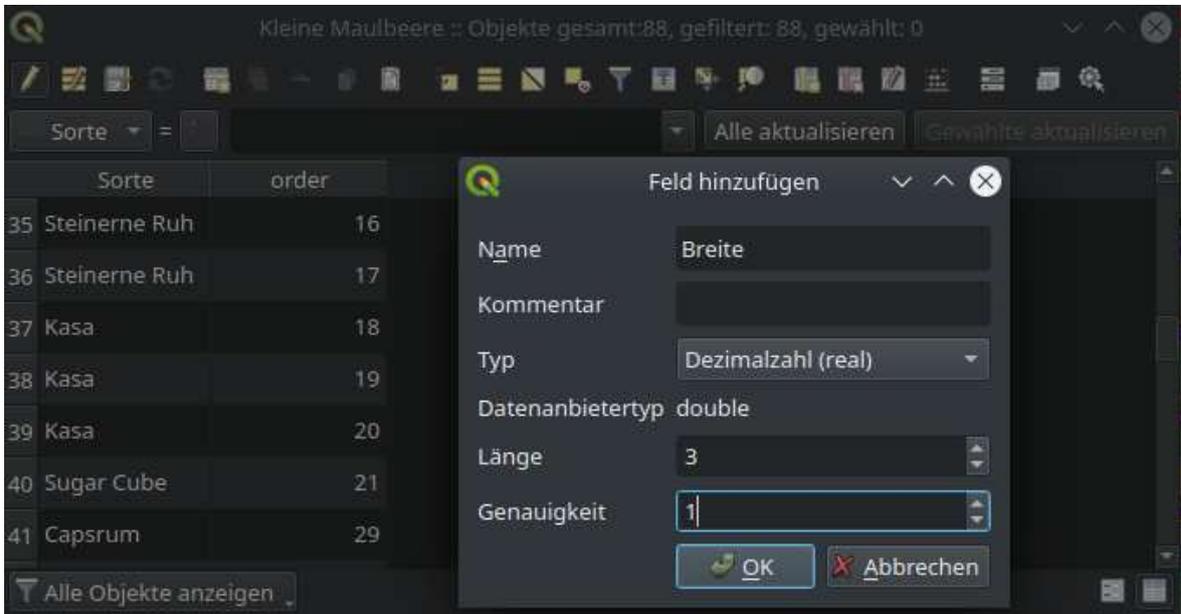


Abbildung 32: Neues Feld (Spalte) in der Attributtabelle hinzufügen

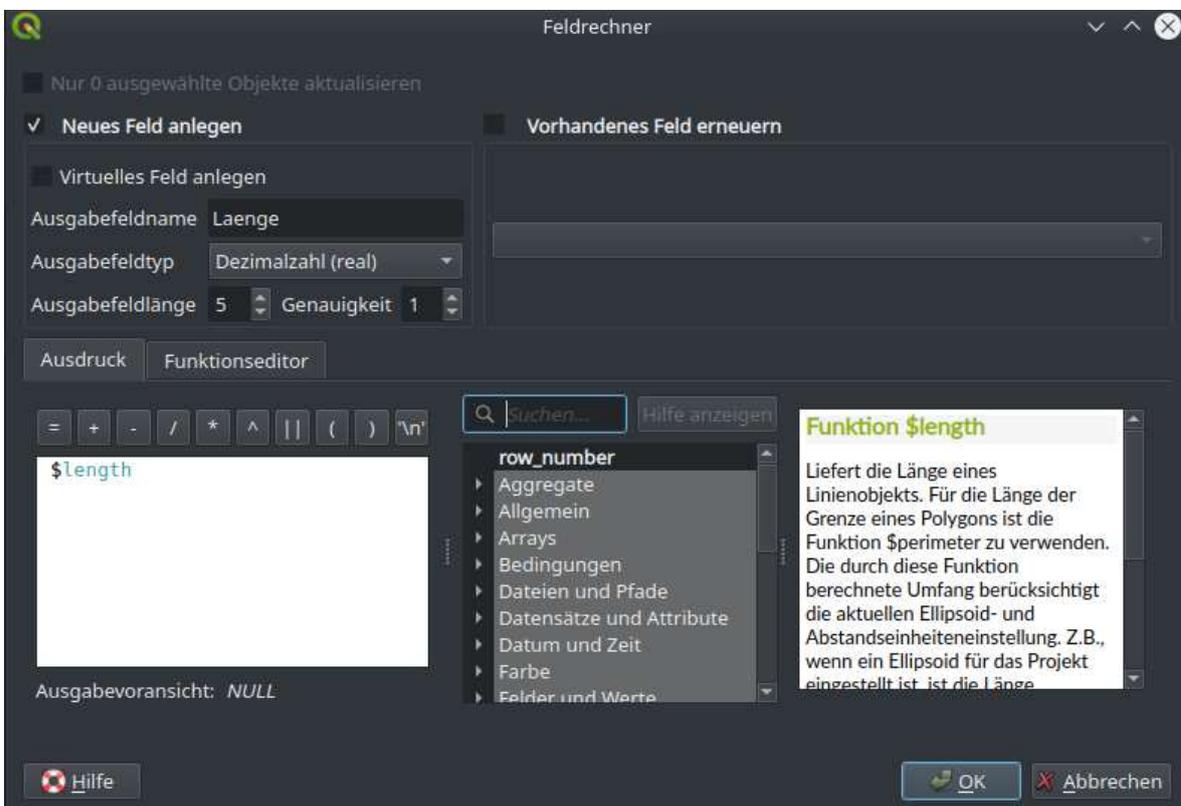


Abbildung 33: Feldrechner mit der Funktion \$length, um Längen von Linien zu ermitteln

7.7 Vektordaten einzeichnen, bearbeiten und darstellen

Im Folgenden soll erklärt werden, wie Vektordaten eingezeichnet, bearbeitet und dargestellt werden können um Gehölzstreifen und Gehölze von Agroforstsystemen zu planen.

7.7.1 Keyline- bzw. Hauptlinien-Design

Ist kein detailliertes DGM vorhanden, so sollte bedacht werden, dass selbst durch Interpolation des DGM nur eine scheinbare Verbesserung der Genauigkeit der Ausgangsdaten stattfindet. Ist ein Keyline- bzw. Hauptlinien-Design geplant, welches Wasser transportieren soll, so kann sich dann bei der Einmessung auf der Fläche herausstellen, dass Linien an vielen Stellen das Wasser genau in die andere Richtung transportieren würden, als geplant. Um jedoch eine annähernd konturparallele Bewirtschaftung zu planen, können auch ungenauere Daten oft ausreichend sein. Sobald Erdarbeiten, wie das Anlegen von Dämmen und Rückhaltebecken miteinbezogen werden, sollten hydrologische Berechnungen oder Simulationen angestellt werden und Überflusläufe eingeplant werden, die auch bei den stärksten Starkregenereignissen so funktionieren, dass mit dem Wasser so gehaushaltet werden kann, dass Dammbüche und Überflutungen vermieden werden (Gerhardt, 2022, Minute 15).

Das Plugin PisteCreator (🛖), welches ursprünglich für die Planung von Straßen in den Bergen Französisch Guyanas geschrieben wurde, eignet sich gut für die Planung von Keyline- bzw. Hauptlinien-Systemen. Dieses Plugin führt Überlegungen aus, welche im Rahmen dieser Arbeit bereits vor der Entdeckung des Plugins grob erarbeitet wurden, jedoch aufgrund mangelnder Kenntnisse in der Programmierung mit Python nicht umgesetzt werden konnten.

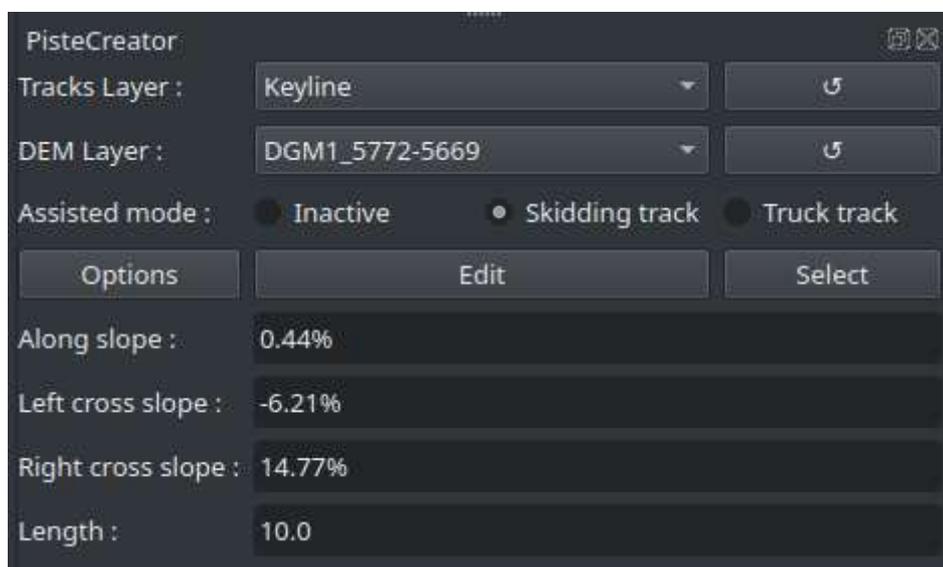


Abbildung 34: Bedienfeld des Plugins PisteCreator

Unter Eingabe eines DGM und eines Linien-Layers lässt sich mithilfe des PisteCreator eine Linie durch Aneinanderreihung von Teilstücken ziehen. Mithilfe bilinearer Interpolation des DGM kann die Linie entlang einem bestimmten Gefälle gezogen werden kann.

Wird das Plugin geöffnet, so erscheint ein Bedienfeld (siehe Abb. 34) in dem ein Linien-Layer und ein DGM-Layer angegeben werden müssen. Anschließend kann zwischen drei Modi ausgewählt werden. Bei „Inactive“ und „Skidding track“ stehen die ganzen Einstellungsoptionen zur Verfügung, wobei bei „Skidding track“ beim Ziehen der Linie zusätzlich ein Kegel angezeigt wird, welchem eine Radius in maximalem % Gefälle zugeteilt werden kann. Im Modus „Truck track“ fallen Optionen, wie die Berücksichtigung der Querneigung heraus, da eine LKW-Farhbahn sowieso begradigt werden müsste, dafür wird jedoch eine Linie mit einer exakten Steigung angezeigt. (Peillet, o.D.).

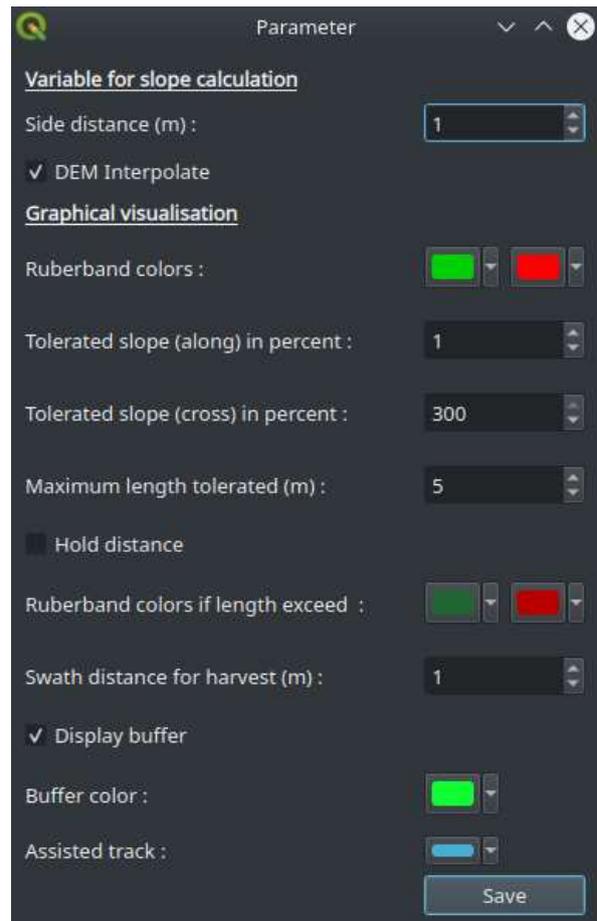


Abbildung 35: Parameter-Einstellungen des Plugins PisteCreator

Für die Planung eines Keyline-Kultivierungsmusters ist vor allem der Modus „Skidding track“ hilfreich, da der Kegel sowohl positive als auch negative Steigung anzeigt. Unter „Options“ können die dazugehörigen Parameter eingestellt werden (siehe Abb. 35):

- Side distance: In der Anleitung auf GitHub heißt es, dass der Wert bei der Kalkulation der Querneigung eine Rolle spielt, die wird aber für die Planung einer Keyline nicht berücksichtigt. Außerdem war bisher bei Eingabe unterschiedlicher Werte kein Unterschied festzustellen.
- DEM interpolate: Hier kann angekreuzt werden, dass das DGM interpoliert werden soll.
- Tolerated slope (along) in percent: Hier kann das maximale Gefälle entlang des Hanges eingestellt werden. Werte darüber werden in rot angezeigt, der Radius des Kegels richtet sich außerdem nach diesem Wert.
- Tolerated slope (cross) in percent: Irrelevant und daher auf den Maximalwert 300 eingestellt.
- Maximum length tolerated: Maximale Länge der Liniensegmente. 5 m sind ein guter Kompromiss zwischen der Genauigkeit und der Geschwindigkeit, mit das Ziehen einer langen Linie möglich ist.

- Hold distance: Hier kann die Begrenzung auf die maximale Länge der Liniensegmente aktiviert. Es empfiehlt sich die Begrenzung auszustellen, da es oft vorkommt, dass bspw. auf einer Länge von 5 m gar keine Stelle zu finden ist, auf der das Gefälle 1 % oder weniger beträgt. Dann kann eine etwas längere Linie gezogen werden, bis dorthin, wo das passende Gefälle wieder zu finden ist.
- Swath distance for harvest: Hier kann die Breite des Puffers um die Linie eingestellt werden. Hier empfiehlt sich der Wert als Breite des geplanten Gehölzstreifens zu einer Seite. Also bei 2 m breiten Streifen: 1.
- Display buffer: Hier kann eingestellt werden, dass der Puffer angezeigt wird.

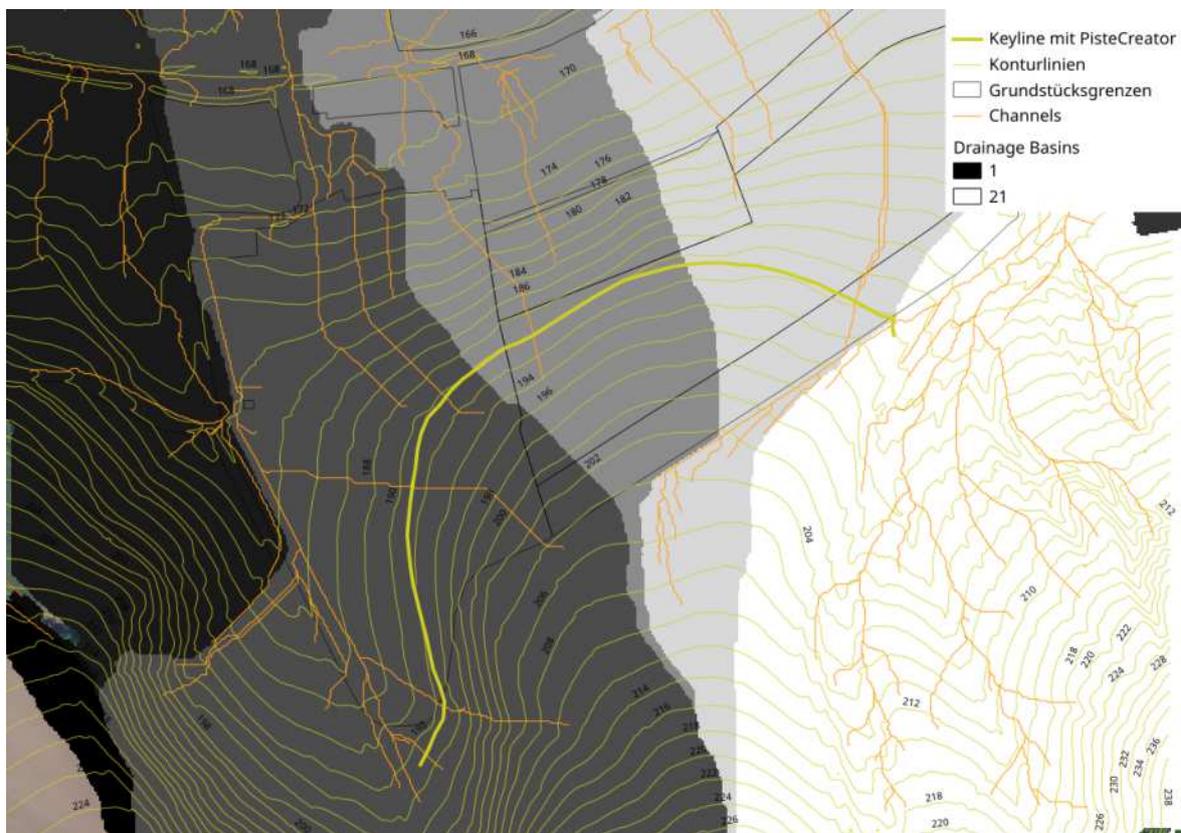


Abbildung 36: Mithilfe des Skidding track Modus des PisteCreator Plugins gezogene Linie in 10 m Segmenten mit 1 % Gefälle aus dem Tal zum Kamm hin, 0 % Gefälle auf dem Kamm und 1% Steigung zum nächsten Tal. Die Einzugsgebiete (Drainage basins) und Wasserläufe (Channels) wurden mithilfe des SAGA-Werkzeugs „channel network and drainage basins“ ermittelt.

In diesem Fall war das Ziel, Wasser aus dem Tal auf den Kamm zu lenken. Die Linie wurde unten in der Abbildung im Tal angesetzt – hier sind zur Orientierung die Linien des Channels-Layers hilfreich – und wurde in diesem Fall weiter als nur bis zum Wendepunkt von konkav zu konvex mit einem Gefälle von 1% gezogen, da der Kamm in diesem Fall viel größer ausfällt als das Tal und so Wasser tendenziell auch bis zum Kammrücken geleitet werden kann. Anschließend wurde die Linie entlang des Kamms auf einer Ebene gezogen und am Ende wieder mit 1 % Steigung zum Tal hin.

Um die Ecken der Linie etwas abzurunden kann das SAGA-Werkzeug „Line smooting“ verwendet werden.

Das Abmessen von Höhenlinien ist auch ohne DGM auf der Fläche mithilfe eines A-Rahmens (A-Frame) möglich. Das ist ein großer A-förmiger Holzrahmen, an welchem auf dem Mittelbalken eine Wasserwaage oder auch ein Pendel befestigt ist. Wenn beide Füße des A-Rahmens auf derselben Höhe stehen, sind Wasserwaage oder Pendel im Lot, so kann durch das Versetzen eines Fußes nach und nach eine Höhenlinie gezogen werden.

Eine weitere Möglichkeit ist das Nutzen eines Rotationslasers auf einem Tripod (Shepard, 2020, S. 110). Es wird eine ebene Fläche an Laserstrahlen ausgesandt, welche eine Höhenlinie markiert, die dann mit einem Laser-Detektoren gemessen werden kann. Der Laser-Detektor gibt einen Ton von sich, sobald er das Lasersignal misst.

7.7.2 Gehölzstreifen

Häufig ist die Form der Flurstücke der Geländemorphologie angepasst, besonders in Gebieten, in denen die Flurbereinigung nicht so gründlich durchgeführt wurde (Wieland, 1974). In diesem Fall können die Grundstücksgrenzen als Ausgangslinien für die Gehölzstreifen benutzt werden. Das hat auch den Vorteil, dass dadurch die Fläche sehr effizient bewirtschaftet werden kann, da nicht so oft gewendet werden muss, wie wenn die Bearbeitungsrichtung mit den Maschinen nicht der Grundstücksform folgen würde.

In einem Linien-Layer kann mit dem Werkzeug „Linienobjekt hinzufügen“ () eine Linie gezogen werden. Dabei sind die folgenden Werkzeuge hilfreich:

- das Einrastwerkzeug () , mit diesem kann beim Ziehen der Linie auf bereits vorhandene

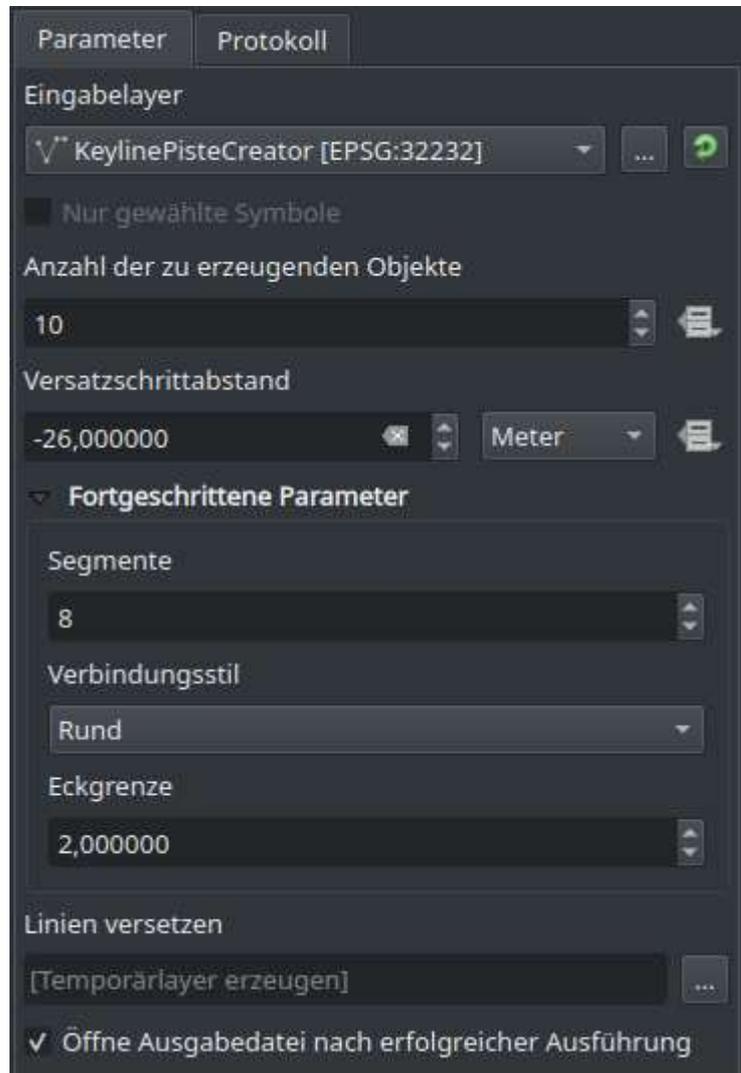


Abbildung 37: Parameter-Einstellung des Werkzeugs „Feld versetzter (paralleler) Linien“

Elemente anderer Layer eingerastet werden.

- das Erweiterte Digitalisierungs-Werkzeug () , mit diesem können exakte Winkel gezogen werden.
- das Knotenwerkzeug () , mit diesem können die einzelnen Punkte von Vektorlayern versetzt werden.

Die bspw. anhand von Grenzen oder mithilfe des Piste Creator gezogenen Hauptlinien können anschließend mit dem Werkzeug „Feld versetzter (paralleler) Linien“ versetzt werden. Dabei wird das Linien-Layer der Hauptlinie als Eingabelayer, die Anzahl der zu erzeugenden Objekte und als „Versatzschrittabstand“ die geplante Breite des Ackerstreifens plus die Breite der Gehölzstreifen – in diesem Fall 26 m für 24 m Ackerstreifen und 2 m Gehölzstreifen – angegeben (siehe Abb. 37). Je nachdem in welche Richtung die Hauptlinie gezogen wurde, muss der Versatzschrittabstand als positiver oder negativer Wert angegeben werden, um die Linie nach rechts oder links zu versetzen. Werden nun die parallel versetzten Linien beider Hauptlinien verglichen (siehe Abb. 38), so fällt auf, dass die Linien unterschiedlich gut der Geländemorphologie / den Konturlinien entsprechen. Die braunen Linien sind im unteren Bereich der Abbildung viel passender, die orangen Linien im oberen Bereich der Abbildung. Teilweise schneiden die orangen und die braunen versetzten Linien die Konturlinien orthogonal, was zu starker Erosion führen könnte. In diesem Fall empfiehlt es sich deshalb, zwei Bearbeitungsrichtungen zu kombinieren.

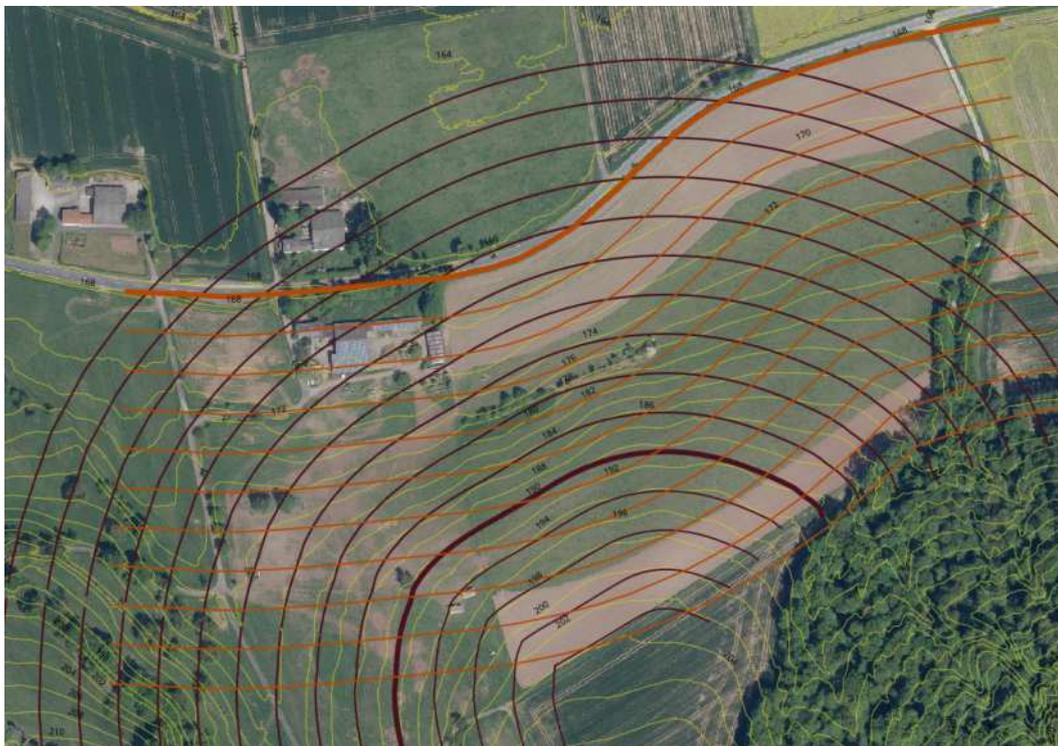


Abbildung 38: Parallel versetzte Linien unterschiedlicher Hauptlinien

Um die beiden Bearbeitungsrichtungen zu kombinieren werden zuerst je die von einer Hauptlinie

rechts und links versetzten Linien mit dem Werkzeug „Vektorlayer zusammenführen“ in ein Layer zusammengefasst. Anschließend werden die versetzten Linien einer Hauptlinie mit den versetzten Linien der anderen Hauptlinie mit dem Werkzeug „Mit Linie teilen“ geteilt. Dasselbe passiert auch andersherum. Nun sind die Linien an jedem Schnittpunkt in kleinere Teillinien zerschnitten und die unpassenden Abschnitte können nach Aktivierung des Bearbeitungsmodus (🔧) mithilfe des Auswahlwerkzeugs (📏) gelöscht werden. Das Ergebnis ist in Abb. 39 zu sehen.



Abbildung 39: Voneinander getrennte Gehölzstreifen unterschiedlicher Hauptlinien

7.7.3 Pufferbereiche (Agroforstförderung, Nachbarschaftsrecht, Leitungen, Drainagen usw.)

Für die im Folgenden aufgeführten Elemente kann in QGIS je ein Linien-Layer erstellt werden. Dort werden die Elemente als Linien eingezeichnet und mit Pufferbereichen versehen, welche dazu dienen, anschließend die Gehölzstreifen um diese Pufferbereiche zu beschneiden.

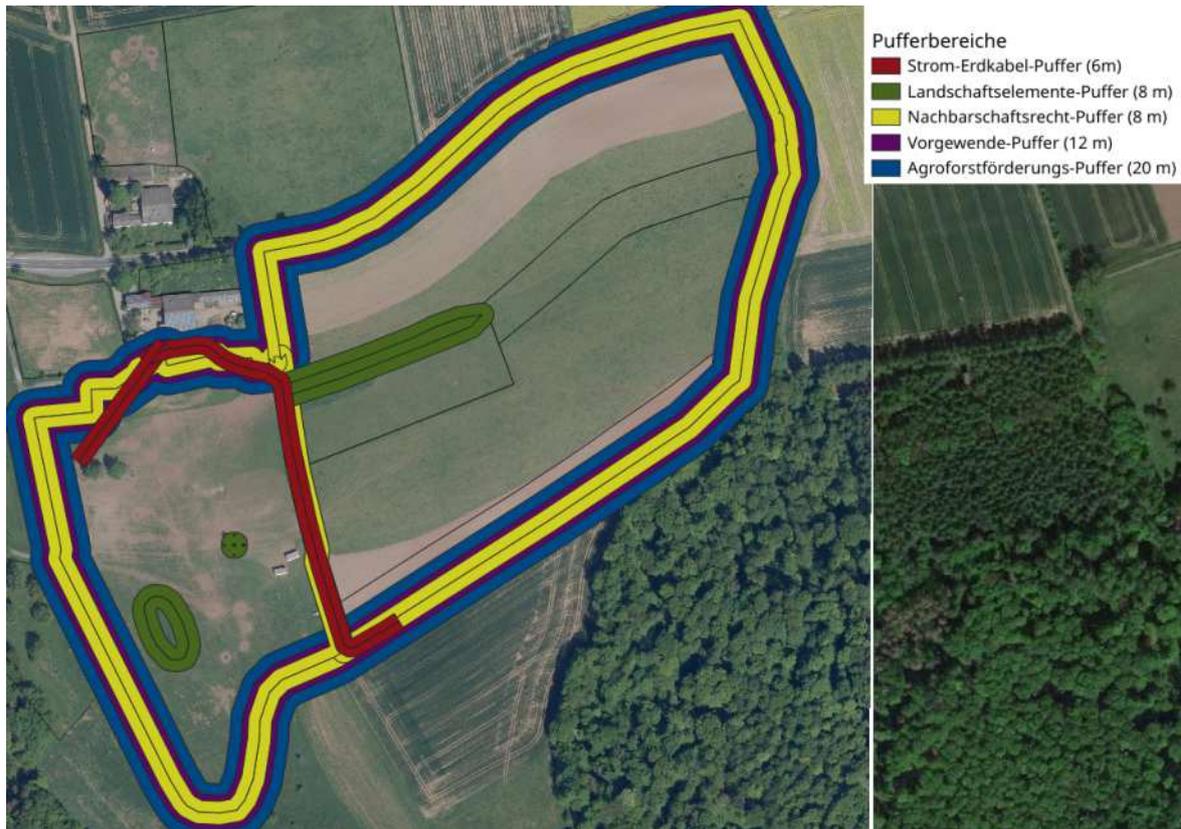


Abbildung 40: Pufferbereiche um Grenzen und Elemente, um ausreichend Abstand von Gehölzstreifen zu gewährleisten

Agroforst-Förderung Siehe Kapitel 6.2 für genaue Beschreibung. Für den Pufferbereich muss der Abstand zwischen Gehölzstreifen und dem Rand der Fläche zwischen 20 – 100 m liegen.

Vorgewende Das Vorgewende ist der Bereich am Rand einer Fläche, der zum Wenden der Maschinen verwendet wird. Dieser sollte mindestens so breit sein, wie die Arbeitsbreite der breitesten Maschine (bspw. einer Spritze). Auf diesem Bereich sollten keine Gehölzstreifen liegen.

Soll nach den oben dargestellten Vorschriften der Agroforst-Förderung geplant werden, so muss entlang dem Rand der Fläche sowieso ein Streifen von mindestens 20 m Breite von Gehölzstreifen freigelassen werden, was jedoch auch gelegentlich von der Arbeitsbreite einer Spritze übertroffen wird.

Nachbarschaftsrecht In allen Bundesländern, bis auf Mecklenburg-Vorpommern, Hamburg und Bremen gibt es Nachbarschaftsgesetze, in welchen geregelt ist, wie groß der Abstand von Pflanzen zu Nachbargrundstücken sein muss. In der Regel liegt der maximale Abstand für großwüchsige Bäume bei 8 m. In der folgenden Tabelle sind die entsprechenden Gesetzestexte der Bundesländer verlinkt.

Bundesland	Gesetz
Schleswig Holstein	Nachbarrechtsgesetz für das Land Schleswig-Holstein (NachbG Schl.-H.) , Abschnitt XII
Mecklenburg-Vorpommern	-
Hamburg	-
Niedersachsen	Niedersächsisches Nachbarrechtsgesetz (NNachbG) , elfter Abschnitt
Bremen	- es soll sich an Niedersachsen orientiert werden
Brandenburg	Brandenburgisches Nachbarrechtsgesetz (BbgNRG) , Abschnitt 9
Berlin	Berliner Nachbarrechtsgesetz (NachbG Bln) , achter Abschnitt
Sachsen-Anhalt	Nachbarschaftsgesetz (NbG) , Abschnitt 10
Nordrhein-Westfalen	Nachbarrechtsgesetz (NachbG NRW) , Artikel 40 – 47
Hessen	Hessisches Nachbarrechtsgesetz (NachbG HE) , elfter Abschnitt
Thüringen	Thüringer Nachbarrechtsgesetz (ThürNRG) , elfter Abschnitt
Sachsen	Sächsisches Nachbarrechtsgesetz (SächsNRG) , dritter Abschnitt
Rheinland-Pfalz	Landesnachbarrechtsgesetz (LNRG) , elfter Abschnitt
Saarland	Nachbarrechtsgesetz (NachbG) , zwölfter Abschnitt
Baden-Württemberg	Nachbarrechtsgesetz (NRG) , vierter Abschnitt
Bayern	Gesetz zur Ausführung des Bürgerlichen Gesetzbuchs (AGBGB) , siebter Abschnitt

Tabelle 4: Gesetzestexte der Bundesländer zum Nachbarschaftsrecht, in welchen der Abstand von Pflanzen zu angrenzenden Grundstücken geregelt ist

Hochspannungsleitungen Abstände zu Hochspannungsleitungen werden in der DIN VDE 0210 geregelt. Die aktuelle Richtlinie ist vom Dezember 1985 und bezieht sich auf die Europäische Norm [EN 50341-1 Overhead electrical lines exceeding AC 1 kV](#), in welcher die Abstände geregelt sind. Für eine 50 kV-Hochspannungsleitung ist ein Abstand zu Bäumen, welche beklettert werden können, unter und neben der Leitung von mindestens 2,1 Meter einzuhalten. Es sollten besser größere Abstände eingeplant werden, da nicht abzusehen ist, wie groß ein Baum genau wird.

Unterirdische Leitungen und Stromkabel Falls ein Verdacht auf unterirdische Leitungen, wie z.B. Gasleitungen besteht, kann eine Abfrage bei der [BIL Leitungsauskunft](#) gestellt werden.

Drainagen Drainagen stellen eine besondere Hürde bei der Planung von Agroforstsystemen dar. Normalerweise gelten sie sogar als Ausschlusskriterium, es sei denn die Drainagen können entfernt oder lokalisiert werden (z.B. anhand von Lagekarten), sodass die Bäume mit genügend Abstand gepflanzt werden können. Wenn die Bäume in die Drainagen wurzeln und diese verstopfen, kann es zu lokalen Nassstellen kommen und die Bäume können absterben. Falls eine Lagekarte der Drainagen vorhanden ist, kann diese in QGIS georeferenziert werden (siehe Kapitel 7.4.6).

Landschaftselemente Um Landschaftselemente wie Hecken, Einzelbäume und Baumgruppen kann auch ein Pufferbereich gelegt werden. Manchmal befinden sich diese Elemente an der Position eines geplanten Gehölzstreifens und können so in diesen integriert werden. Teilweise liegen sie jedoch auch

außerhalb und sollten dann umfahrbar sein.

7.7.4 Gehölzstreifen um Pufferbereiche beschneiden

Um die Gehölzstreifen um die Pufferbereiche zu beschneiden, werden mit dem Werkzeug „Doppelseitiger Puffer“ Polygone erzeugt, welche die Bereiche markieren, die von Gehölzpflanzungen freigelassen werden müssen.

Mit dem Werkzeug „Vektorlayer zusammenführen“ können die Puffer in einem Layer zusammengeführt werden. Die in einem späteren Schritt erzeugten Gehölzstreifen können dann um diesen Pufferbereich mithilfe des Werkzeugs „Differenz“ () beschnitten werden. Die Objekte sind jetzt zwar in Teilstücke zerlegt, jedoch gehören die Stücke, die vorher eine Linie waren, immer noch zu einer gemeinsamen Geometrie. Mit dem Werkzeug „Mit Linien teilen“ können die um die Pufferbereiche beschnittenen Objekte z.B. mit dem Linienlayer, in dem die Grundstücksgrenzen liegen, geteilt werden. Dadurch sind die Objekte in verschiedenen Geometrien voneinander getrennt und die Teile außerhalb der Fläche können nachdem sie ausgewählt () wurden entfernt werden (siehe Abb. 41).



Abbildung 41: Um einige Pufferbereiche bereinigte Gehölzstreifen

7.7.5 Längen und Flächen ermitteln

Soll die gesamte Fläche der Gehölzstreifen ermittelt werden, um bspw. eine Aussage darüber zu treffen, wie viel Prozent der Fläche Acker- bzw. Grünlandfläche bleibt, so können die verschiedenen Vektorlayer mit dem Werkzeug „Vektorlayer zusammenführen“ () vereint werden und die einzelnen Geometrien anschließend mit dem Werkzeug „Geometrien sammeln“ () in einer einzigen Geometrie zusammengefasst werden. Dann kann im Feldrechner () die Funktion „\$length“ ausge-

führt werden, welche die Länge von Linien ermittelt. Dazu wird ein neues Feld mit einem Feldnamen angelegt. Der Feldtyp kann als Ganzzahl oder Dezimalzahl angegeben werden. Wenn Dezimalzahl angegeben wird, muss zusätzlich zur Ausgabefeldlänge eine Genauigkeit angegeben werden. Wenn die Ausgabefeldlänge 5 ist und die Genauigkeit 1, dann entspricht das einer fünfstelligen Zahl inklusive einer Nachkommastelle also größtmöglich 9.999,9, was in diesem Fall ausreichen sollte (siehe Abb. 33). Der ermittelte Wert kann dann mit der Gehölzstreifenbreite multipliziert werden um die Gesamtfläche der Gehölzstreifen zu erhalten.

Der gleiche Prozess kann bei der Berechnung von Flächen bei Polygonlayern mit der Funktion „\$area“ durchgeführt werden.

7.7.6 Gehölze einzeichnen

Wenn in dem geplanten System alle Streifen mit der gleichen Kombination an Gehölzen bepflanzt werden sollen, reicht es, alle Linien in einem Layer oder sogar in einer Geometrie zu haben. Falls unterschiedliche Kombinationen geplant sind, können die Streifen in unterschiedliche Layer oder Geometrien aufgeteilt werden, dazu können die Geometrien mit dem Werkzeug „Objekte zerteilen“ () in kleine Geometrien geteilt werden. Mit dem Auswahlwerkzeug () können einzelne Geometrien ausgewählt werden und mit STRG+C aus einem Layer kopiert und mit STRG+V in ein anderes eingefügt werden; oder es werden nur die gewünschten Linien des Layers mit dem Auswahlwerkzeug () ausgewählt und in dem Bedienfeld des Werkzeugs „Punkte entlang einer Geometrie“ () das Feld „Nur gewählte Symbole“ ausgewählt. Mit dem Werkzeug können dann wie in Abb. 43 zu sehen ist, bspw. zuerst alle 12 m Punkte für Esskastanien gesetzt werden und dann mit einem Startversatz von einmal 3,5 m und einmal 8,5 m Punkte für kleine Maulbeeren, welche unter den Esskastanien stehen können, jeweils alle 12 m. Da die Punkte für die Maulbeeren nun in zwei unterschiedlichen Layern sind, können diese mit dem Werkzeug „Vektorlayer zusammenführen“ () zusammengefügt werden.

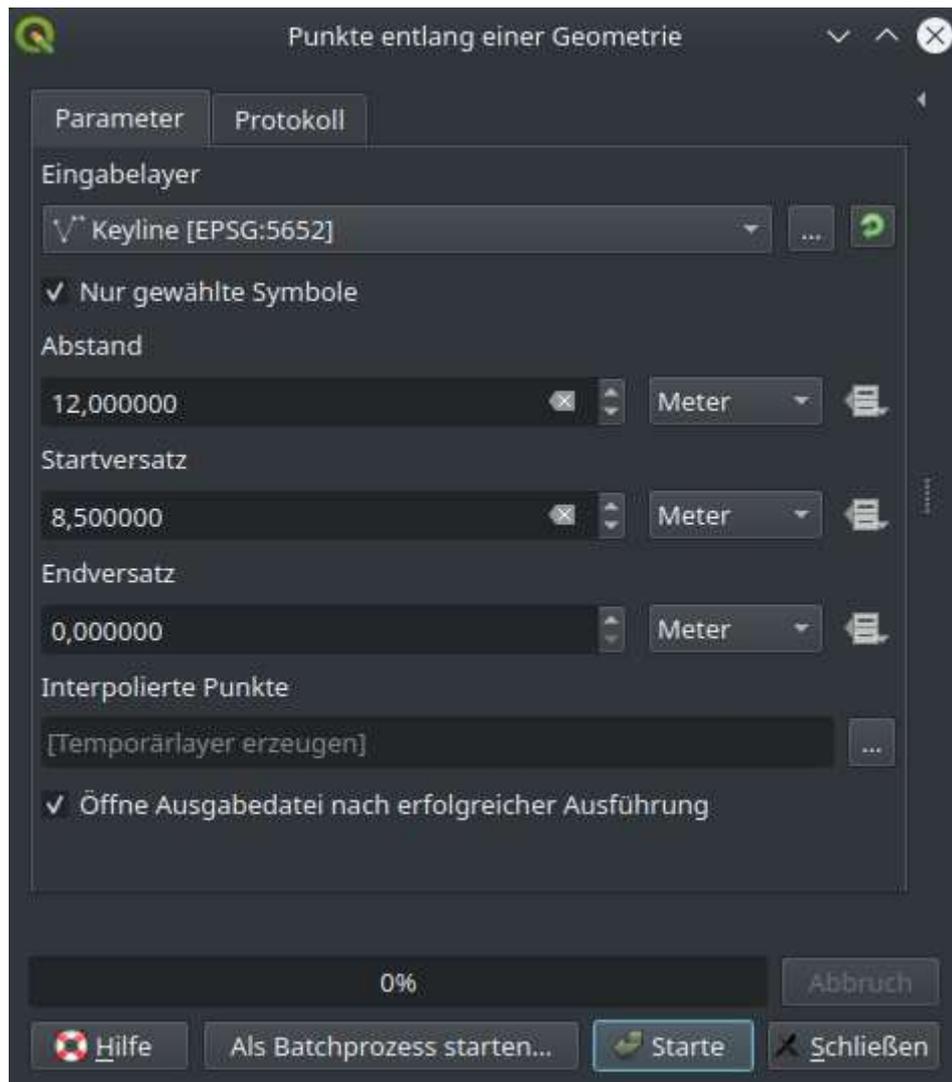


Abbildung 42: Bedienfeld des Werkzeugs „Punkte entlang Geometrie“

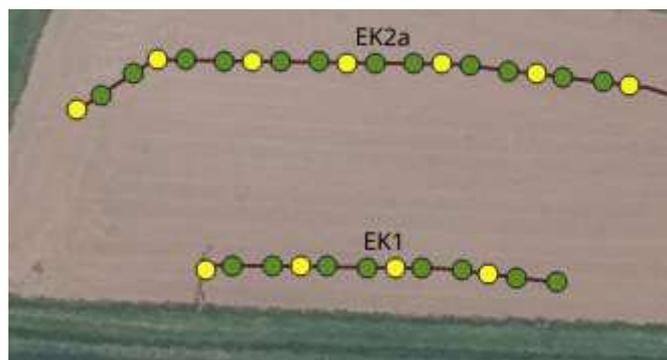


Abbildung 43: Entlang von Gehölzstreifen mit dem Werkzeug „Punkte entlang einer Geometrie“ eingezeichnete Punkte

7.7.7 Symbolisierung und Beschriftung

Nachdem die Positionen der Gehölze nun eingezeichnet sind, können passende Symbolisierungen gewählt werden. Mit Rechtsklick auf das Layer kann unter „Eigenschaften“ > „Symbolisierung“ > „Einzelsymbol“ gewählt werden. Dann sollte die Einheit auf „Karteneinheiten“ gestellt werden (das ist besser als „Meter im Maßstab“, auch wenn auf den ersten Blick dasselbe dabei herauskommt. Der Unterschied liegt darin, dass bei „Karteneinheiten“ die Symbole auch in der Layerbezeichnung und bei der Erstellung von Layouts in der Legende mit der passenden Größe angezeigt werden.

Dann kann eine der Kultur entsprechende Größe, häufig als Durchmesser der Krone im ausgewachsenen Stadium, und eine passende Farbe ausgewählt werden. Die Größe kann auch einer Spalte der Attributtabelle entnommen werden (Schritte 1b – 3b in Abb. 44)

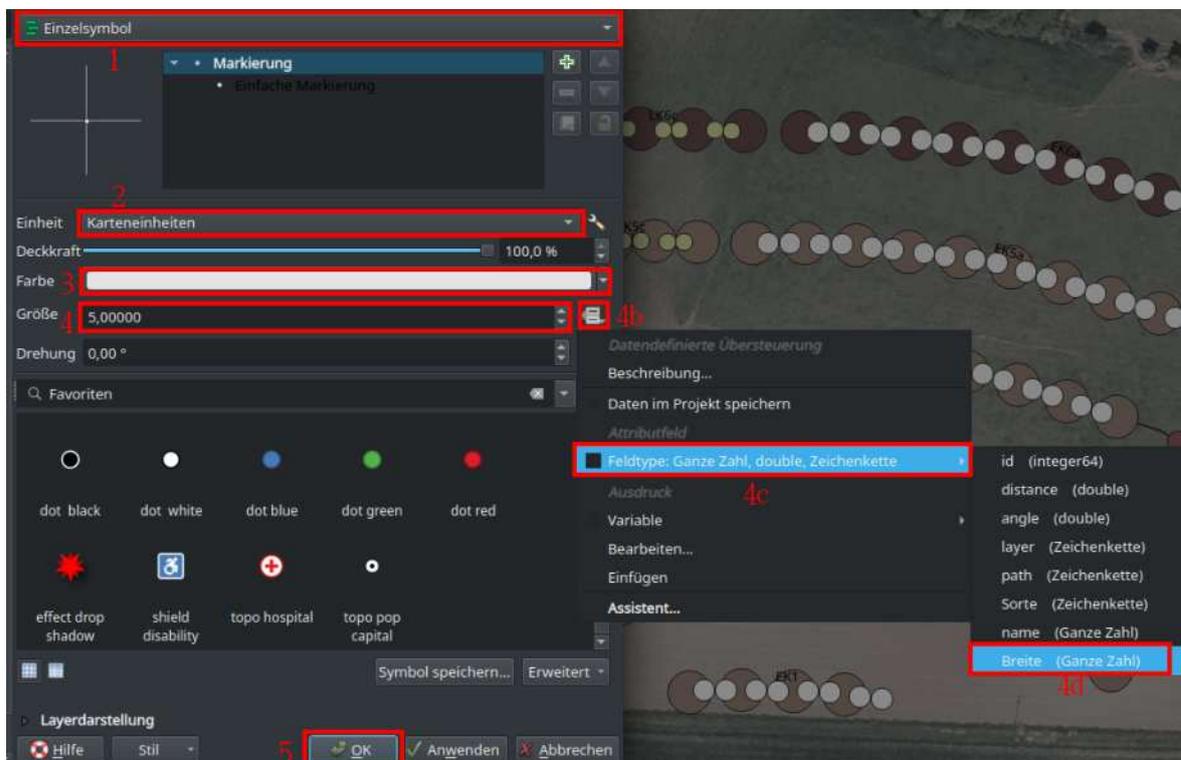


Abbildung 44: Symbolisierung von eingezeichneten Gehölzen

Wenn in der Attributtabelle die Sortennamen eingetragen sind, können diese durch die Beschriftung dargestellt werden (siehe Abb. 45).

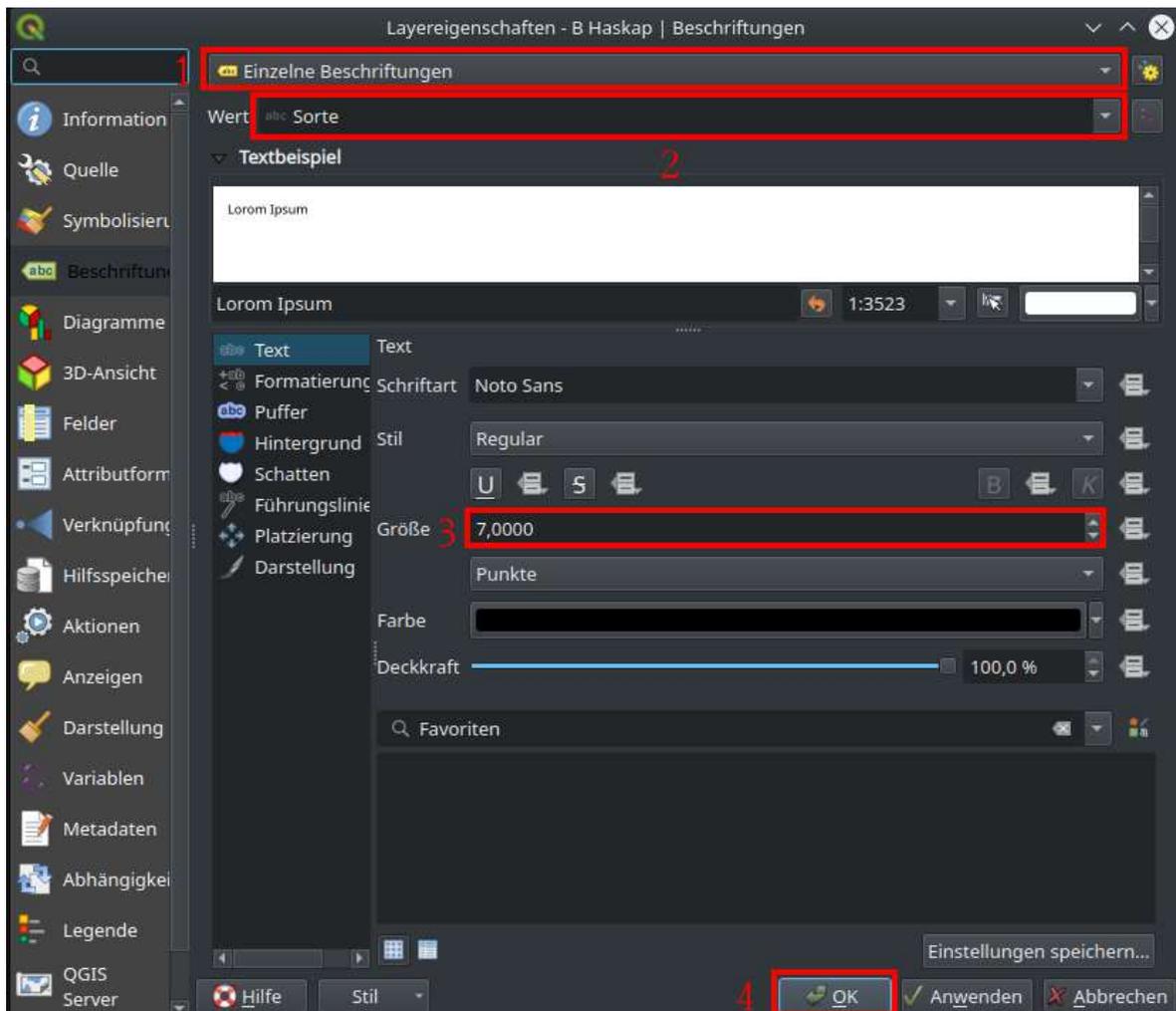


Abbildung 45: Beschriftung der eingezeichneten Gehölzsorten aus der Attributtabelle

Die eingezeichneten Gehölze können dann nach der Einstellung der Symbolisierung und Beschriftung bspw. wie in Abb. 46 aussehen.

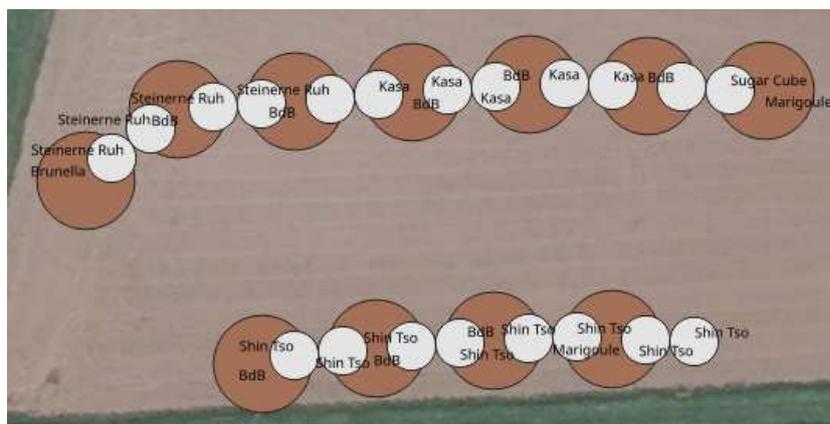


Abbildung 46: Eingezeichnete Gehölze mit passender Symbolisierung und Sortenbeschriftung

7.7.8 Layouts/Karten erstellen

Mithilfe von Layouts können Kartenansichten erstellt werden um eine Planung darzustellen. Dazu wird unter „Projekt“ > „Layout-Verwaltung“ ein neues Layout erstellt. Unter Element hinzufügen gibt es nun die Möglichkeit eine Karte hinzufügen. Die Karte ist dabei auf die aktuelle Ansicht bei QGIS zugeschnitten. In den Elementeigenschaften kann der Maßstab zu einer runderen Zahl geändert werden und mit dem Werkzeug „Elementinhalt verschieben“ () kann die Karte verschoben werden. In den Elementeigenschaften gibt es auch noch weitere Einstellungsmöglichkeiten, von denen auch die Drehung der Karte praktisch sein kann, falls die Elemente so in einem kleineren Maßstab dargestellt werden können.

Desweiteren kann eine Legende hinzugefügt werden. Diese Legende beinhaltet dann alle Layer, auch die nicht sichtbaren, von denen häufig vieles nicht in der Legende aufgelistet sein muss. Indem in den Elementeigenschaften unter „Legendenelemente“ das Feld „Automatisch aktualisieren“ abgewählt wird, können die einzelnen Einträge aus der Legende entfernt, hinzugefügt und umbenannt werden, sodass nur die nötigen Elemente mit passenden Bezeichnungen in der Legende auftauchen.

Eine Karte sollte außerdem folgende Elemente beinhalten:

- eine Überschrift und eine Entwurfsnummer,
- einen Nordpfeil,
- einen Maßstab, am besten eine Maßstabsleiste – in den Elementeigenschaften unter „Stil“ sind unterschiedliche Stile wählbar – und zusätzlich einen numerischen Maßstab (Stil > „Numerisch“),
- Informationen zum KBS (die Informationen können unter „Projekt“ > „Eigenschaften“ > „KBS“ entnommen werden),
- und ein Datum, sowie der Name und ggf. Kontakt der Person, die die Karte erstellt hat.

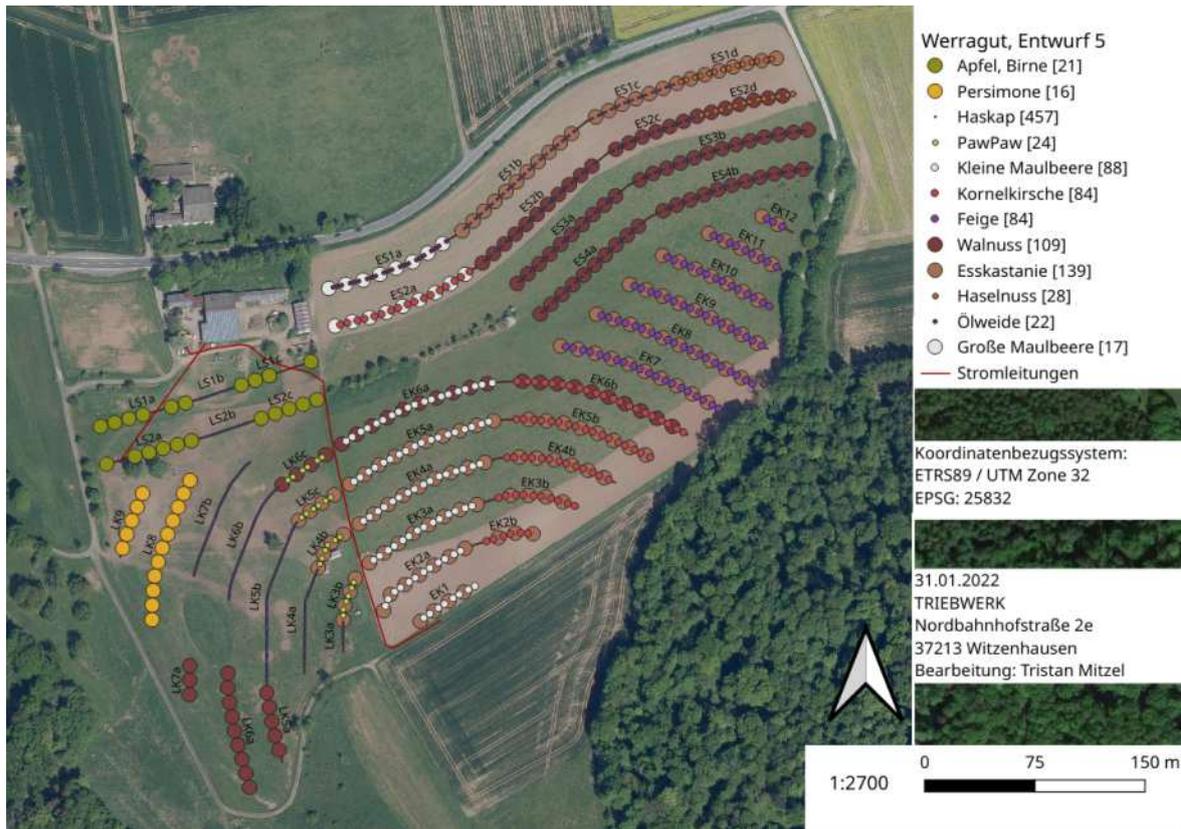


Abbildung 47: Layout der finalen Agroforstplanung auf dem Werragut bei Eschwege für den Verein Regenerative und soziale Landwirtschaft e.V. und in Zusammenarbeit mit dem Planungsbüro Triebwerk

7.8 Übertrag der Planung in die Fläche

Um die Pflanzpositionen oder die Gehölzstreifen auf der Fläche einmessen zu können, können diese in einer .gpx- oder .csv-Datei exportiert werden. Dazu können die Elemente des entsprechenden Layers mit dem Plugin „Sort and Number“ (14), welches unter „Einstellungen“ > „Werkzeugkästen“ als eigener Werkzeugkasten hinzugefügt werden muss, durchnummeriert werden. Anschließend kann das Layer unter „Layer“ > „Speicher als“ in unterschiedlichen Formaten abgespeichert werden. Beim Speichern in eine .gpx-Datei kann dabei nur eine Spalte mit dem Titel „name“ exportiert werden. Beim speichern von Linien-Geometrien empfiehlt sich eine .gpx-Datei, da dort auch Linien in einem gängigen Format für GPS-Geräte abgespeichert werden können.

Sollen nur Punktkoordinaten von Pflanzpositionen exportiert werden, dann empfiehlt sich das Abspeichern in eine .csv-Datei (siehe Abb. 48). Dazu kann in dem Bedienfeld unter „Layeroptionen“ > „Geometry“ > „AS_XYZ“ gewählt werden. Die X-, Y- und Z- Koordinaten werden dann mit in die .csv-Datei geschrieben. Zur Einmessung auf der Fläche bieten sich vor allem RTK-GPS-Geräte an.

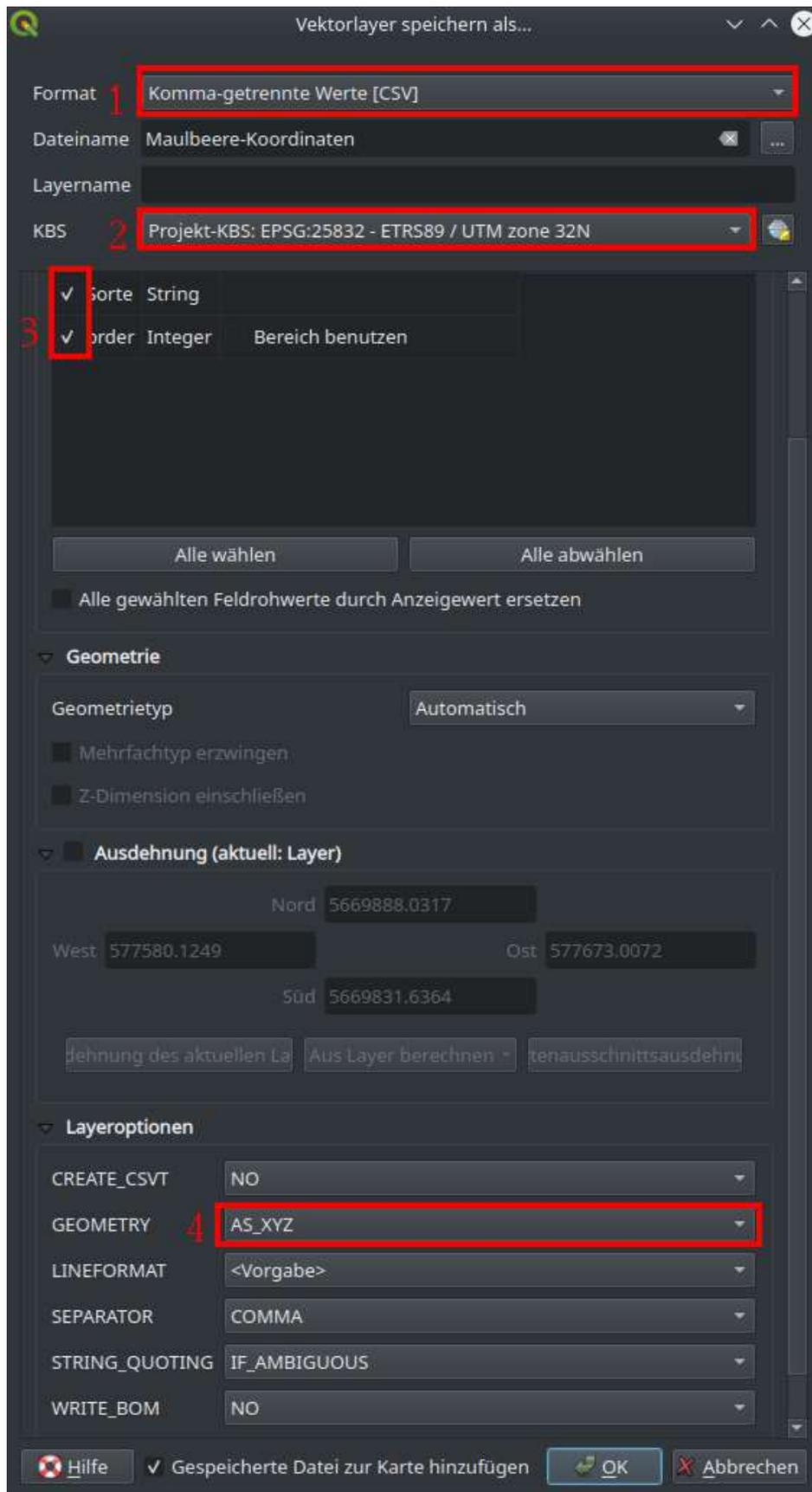


Abbildung 48: Koordinaten von Geometrien eines Layers in .csv-Datei abspeichern

8 Potenzial durch QGIS-Erweiterungen

Während bereits einige Möglichkeiten bei der Planung von Agroforstsystemen mit dem Programm QGIS bestehen, sind der Planung immer noch Grenzen gesetzt und es gibt Bedarf an weiteren Funktionen und Werkzeugen, um die Planung zu erleichtern, in Teilen zu automatisieren oder zu präzisieren. Dies ist durch die Programmierung von Plugins oder Makros (Folgen von Anweisungen, die von dem Programm ausgeführt werden) möglich. Im Folgenden sind ein paar Beispiele aufgeführt, die zeigen, was für die Planung von Agroforstsystemen hilfreich wäre:

- **Historische Satellitenbilder von Google Earth Pro einbinden:** Die historischen Satellitenbilder, welche über das Programm Google Earth Pro aufgerufen werden können, haben keine Schnittstelle, um in QGIS eingefügt werden zu können. Die Plugins QuickMapServices oder OpenLayers bieten sich für diese Schnittstelle an. Dadurch könnten auf den unterschiedlichen Satellitenbildern sichtbare Details georeferenziert bei der Planung miteinbezogen werden.
- **Automatisierung des Prozesses beim Erstellen des Kultivierungsmusters:** Um Gehölzstreifen zu zeichnen, müssen viele Werkzeuge immer in der selben Reihenfolge (zeichnen, parallelversetzen, zusammenführen, um Puffer beschneiden, mit Grundstücksgrenze teilen, Teile außerhalb des Grundstücks löschen) ausgeführt werden. Dieser Prozess wird dadurch, dass die Planung in einem iterativen Prozess angepasst werden muss, häufig wiederholt. Ein Plugin, in welchem ein Linienlayer der Keyline(s) bzw. Hauptlinie(n), ein Polygonlayer der Puffer, ein Linienlayer der Grundstücksgrenzen, die Ackerstreifenbreite und die Gehölzstreifenbreite angegeben werden können und aufgrund dieser Werte die aufgeführten Werkzeuge ausgeführt werden, würde den Prozess des Erstellens eines Kultivierungsmusters extrem beschleunigen.
- **Das Auffinden passender Hauptlinien durch einen Algorithmus:** Die Auswahl der passenden Hauptlinien und die Entscheidung, ab wo eine neue Hauptlinie sinnvoll beginnt, gestaltet sich dabei komplizierter als die bloße Automatisierung des Einzeichnens der parallelversetzten Gehölzstreifen. Beim Auffinden passender Hauptlinien ist Gerhardt, 2022, Minute 23 – 24 der Meinung, dass Algorithmen die Kompromisse bei einer Keyline-Planung nicht darstellen können bzw. die Praxistauglichkeit nicht einschätzen können, wohingegen Fahrendorf, 2022, Minute 25, die Einschätzung vertritt, dass ein Algorithmus zur Erstellung von Hauptlinien womöglich besser und schneller arbeiten könnte als ein iterativer, händischer Prozess.
- **Schnittstelle zu Pflanzendatenbanken:** Das Erstellen einer umfassenden Datenbank zu Pflanzenparametern wäre sehr hilfreich. In dieser könnten zu den Gehölzarten und -sorten, Parameter wie z.B. der Kronendurchmesser dynamisch in QGIS angezeigt werden. Wenn z.B. ein Punkt in der Attributtabelle unter Art den Wert „Walnuss“ besitzt, erhält er automatisch eine Ausdehnung von 10 m, da in der Datenbank bei der Walnuss ein Kronenradius von 10 m eingetragen ist. Oder, dass ein Punkt mit Art „Maulbeere“ und Sorte „Shin-Tso“ erhält eine Höhe von 5 m, wohingegen die Sorte „Milanowek“ eine Höhe von 7 m erhält.
Auch Parameter, die ausgeben, ob die Gehölze einen Wurzelschutz benötigen oder nicht, könn-

ten direkt in einer Karte angezeigt werden, welche dann bei der Pflanzung herangezogen werden kann. So brauchen Walnüsse bspw. keinen Wühlmausschutz, Apfelbäume hingegen häufig schon. Auch potenzielle Mykorrhiza-Symbiose-Partner der Gehölzarten könnten angegeben werden und bei der Pflanzung direkt ein passendes Mykorrhiza-Substrat beigelegt werden. Die Möglichkeiten einer Schnittstelle zu einer solchen Datenbank erscheinen sehr vielfältig.

9 Diskussion

Wie herausgestellt werden konnte, ist die Planung von Agroforstsystemen eine sehr komplexe Angelegenheit, bei der Kompromisse zwischen vielen möglichen Parametern zu finden sind. Sowohl rechtliche Rahmenbedingungen als auch soziale Normen und Standards beeinflussen die Umsetzbarkeit in Deutschland. Agroforstsysteme sind außerdem noch nicht im allgemeinen Gedankengut der Gesellschaft angekommen und stellen ein Randthema dar. Die kommende Agroforstförderung birgt Hoffnungen aber auch Enttäuschungen für die weitere Praxis moderner Agroforstsysteme in Deutschland. Neben dem Einbezug diverser Umweltfaktoren und ökonomischen Überlegungen, müssen gewisse Grundkenntnisse aus den Bereichen der Land- und Forstwirtschaft vorhanden sein und auch der Arbeitsablauf landwirtschaftlicher Betriebe bekannt sein.

Während das Thema Keyline-Design derzeit viel an Aufmerksamkeit erfährt, sind es vor allem Enthusiasten und Quereinsteiger (Gerhardt, 2022, Minute 11 – 12), die Interesse daran haben und versuchen, es in der Praxis umzusetzen. Das Keyline-Konzept lässt sich jedoch wie beschrieben nicht ohne Weiteres auf die landschaftlichen Verhältnisse außerhalb Australiens anwenden. Die Anpassung des Keyline-Konzeptes auf die lokalen Verhältnisse und die Erarbeitung eines gemeinsamen Standards wären hilfreich um eine gute Planung und Umsetzung zu gewährleisten. Gerhardt gibt zu bedenken, dass falsch angelegte Keyline-Planungen mit Rückhaltebecken bspw. durch die Ignorierung von Überflussläufen bei Starkregenereignissen zu Dammbürchen und dementsprechend Überflutungen und starker Erosion führen können (Gerhardt, 2022, Minute 15). Außerdem sind weitere Untersuchungen notwendig, um potenzielle Vor- und Nachteile von Keyline-Systemen wissenschaftlich zu untermauern. Zu beantworten sind unter anderem folgende Fragen: Auf welchen Böden und bei welchen Gefällen machen welche Elemente und Eingriffe Sinn und haben einen positiven Einfluss bei der Erosionsminderung, auf den Wasserhaushalt oder die Ertragsstabilität und Resilienz? Derzeit angelegte Keyline-Agroforstsysteme sollten als Versuchsflächen dienen, um eine verbesserte Kenntnis der Auswirkung verschiedenster Parameter zu erlangen.

Ein Teil dieser Arbeit ist die Einführung in die Thematik der Planung von Agroforstsystemen in dem Programm QGIS. QGIS hat sich in den letzten Jahren sehr stark entwickelt und kann mittlerweile mit den kommerziellen GIS Programmen auf eine Ebene gestellt werden (Fahrendorf, 2022, Minute 24). Dennoch gibt es weiteren Entwicklungsbedarf, um das Programm auch auf die Planung von Agroforstsystemen anzupassen. Dabei ist es vorteilhaft, dass QGIS eine free/libre and open-source software ist und somit an der Entwicklung des Programmes aktiv teilgenommen werden kann und Plugins geschrieben werden können.

Alle interviewten Planer von Agroforstsystemen halten QGIS für ein wichtiges bis zu unersetzba-

res Programm bei der Planung von Agroforstsystemen. Wack, 2022, Minute 24 – 25, gibt an, dass QGIS jedoch fehlerbehaftet und nicht in erster Linie auf die Planung von Agroforstsystemen zugeschnitten ist. Kayser, 2022, Minute 18 – 19, betont außerdem, dass QGIS bei einer Erstberatung zu Agroforstsystemen unpraktisch ist, da es sich nicht für schnelle Skizzen eignet. Dafür eignen sich CAD-Programme, ScribbleMaps, die Zeichenmöglichkeit in BigBlueButton-Online-Meetings oder auch händisch angefertigte Skizzen besser.

In dieser Arbeit konnte die Fragestellung, welche Überlegungen bei der Planung von Agroforstsystemen wichtig sind, welche Daten und Werkzeuge benötigt werden und wo diese zu finden sind, in Teilen beantwortet werden. Verschiedene Planer und Planerinnen von Agroforstsystemen haben unterschiedliche Ansätze und benutzen unterschiedliche Werkzeuge in QGIS. Das Teilen von Herangehensweisen und Techniken wird in Zukunft ein noch breiteres und vielleicht auch einfacheres Spektrum an Möglichkeiten aufzeigen.

Diese Arbeit dient der Heranführung an die Thematik und schafft einen ersten Überblick, welcher in einem weiteren Prozess vertieft werden muss. Es könnte an vielen Punkten angesetzt werden und weitere Ausarbeitungen in Form von Projekt-, Bachelor-, Master- und vielleicht sogar Doktorarbeiten stattfinden. Es werden außerdem Schnittpunkte mit anderen Fachbereichen, wie bspw. der Hydrologie oder auch der Angewandten Informatik deutlich. Die Schnittstelle der QGIS-Plugins bietet Programmierern und Programmierern eine vielseitige Plattform zur Unterstützung in der Planung von Agroforstsystemen. Das Programmieren unterstützender Plugins und Algorithmen könnte die Planung von Agroforstsystemen deutlich vereinfachen und verbessern.

Um den free/libre and open-source software-Gedanken zu stärken und so finanzielle Hürden bei Planung und Umsetzung von Agroforstsystemen abzubauen, wäre auch die Etablierung eines Leihgeräte-Wesens hilfreich. Drohnen, GPS-Geräte und Rotationslaser könnten bspw. von einer zentralen Stelle wie dem DeFAF verliehen werden.

10 Schlussfolgerung

Die moderne Agroforstwirtschaft bietet viele Vorteile bei der Landbewirtschaftung, wird jedoch erst seit wenigen Jahren auf landwirtschaftlichen Flächen in Deutschland umgesetzt. Es besteht eine große Nachfrage nach Agroforstplanungen und dem Wissen, wie Agroforstsysteme geplant werden können. Mit dem Programm QGIS lassen sich Agroforstsysteme sehr präzise und relativ effizient planen. Vor allem, wenn die Planungen komplexer ausfallen, ist eine georeferenzierte Planung in einem Geoinformationssystem nötig. Es sind viele open-source Daten verfügbar, welche bei der Planung von Agroforstsystemen herangezogen werden können, genaue DGM-Daten sind jedoch häufig nicht kostenfrei. Auch die rechtlichen Hemmnisse bei der Umsetzung von Agroforstsystemen sind durch die kommende Agroforstförderung nicht abgebaut.

Während die Planung von Agroforstsystemen in QGIS möglich ist, könnte der Prozess deutlich effizienter gestaltet werden. Die Erstellung angepasster Plugins und Datenbanken, sowie weiterer Leitfäden und das Teilen von Erfahrungen, stellen eine gute Möglichkeit dar, QGIS für die Planung von Agroforstsystemen zu etablieren. Mithilfe der Keyline Scale of Permanence kann der Planungsvor-

gang systematisiert angegangen werden.

Bei der Planung von Keyline-Agroforstsystemen in Deutschland sollte der angepasste, moderne Ansatz von der Keyline-Geometrie herangezogen werden. Außerdem sollten Keyline-Agroforstsysteme derzeit noch Versuchsflächen darstellen, welche eine Datengrundlage schaffen könnten, um die Möglichkeiten und Grenzen von Keyline-Systemen wissenschaftlich zu untermauern. Außerdem sollten Erdarbeiten mit Bedacht durchgeführt werden, da Keyline-Systeme falsch implementiert auch zu großen Erosionschäden führen können.

Das Nutzen von free/libre and open-source software, das Leihen von Kartierungs- und Messtechnik, sowie das Teilen von Wissen und Erfahrung, baut Wissensmonopole ab, ermöglicht eine gegenseitige Vernetzung und könnte so die die Etablierung der Agroforstwirtschaft beschleunigen.

11 Zusammenfassung

Das Ziel dieser Arbeit ist das Verfassen einer Einführung in die Planung von Agroforstsystemen, die Vorstellung der Grundlagen und die Vermittlung praktischer Techniken beim Umgang mit dem Programm QGIS. Um diese Inhalte zu vermitteln wurden eigene Erfahrungen in der Planung von Agroforstsystemen und dem Umgang mit QGIS einbezogen und durch Recherche ergänzt. Außerdem wurden Interviews mit Agroforstplanern geführt, wodurch weitere Anregungen, sowie deren Erfahrungen und Wissen miteinbezogen werden konnten. Theoretische Inhalte wurden anhand der Fachliteratur erarbeitet und free/libre and open-source software zur Ausarbeitung und Gestaltung der Arbeit benutzt.

Es wurden Vor- und Nachteile von Agroforstsystemen, sowie deren förderrechtliche Situation dargestellt und die wichtigsten Aspekte bei der Planung von Agroforstsystemen einbezogen. Die Theorie hinter der Planung mit dem Konzept Keyline-Design wurde in einem modernen Ansatz, welcher auch auf komplexere Landschaften anwendbar ist, vermittelt. Auf fortgeschrittenere Techniken, wie das Planen von Wasserrückhaltebecken und Teichen konnte dabei nicht eingegangen werden. Auch das Auftreten von Verschnittflächen bei der Planung von Keyline-Systemen mit mehreren Hauptlinien wurde hier nicht näher aufgegriffen, wird aber in der Masterarbeit von Max Fahrendorf behandelt werden.

Es wurde erläutert, was projizierte Koordinatensysteme ausmacht und welche sich für Planungen in Deutschland eignen. Außerdem wurde darauf eingegangen, welche Möglichkeiten der Kartierung und Einmessung es gibt. Die einzelnen Schritte bei der Planung von Agroforstsystemen in QGIS wurden veranschaulicht und die Funktionen und Abfolgen der passenden Werkzeuge erläutert. Quellen für Kartenmaterial und Potenziale möglicher Erweiterungen des Programms QGIS wurden vorgestellt.

Die weitere Zusammenarbeit bei der Planung von Agroforstsystemen und die Etablierung von free/libre and open-source Daten und der Austausch von Wissen könnten sich als wichtige Punkte bei der Etablierung von Agroforstsystemen in Deutschland herausstellen.

Erst seit wenigen Jahren wird eine professionelle Planung von Agroforstsystemen in Deutschland angeboten. Dementsprechend gering sind die Erfahrungen und Angebote bei der Vermittlung der nötigen Inhalte. Entsprechend groß sind aber auch die Möglichkeiten, die sich auf diesem Gebiet

eröffnen.

12 Anhang



Abbildung 49: Keyline-Design auf der Nevallan-Farm von P.A. Yeomans und seinen Söhnen Neville und Allan in North Richmond, NSW, Australien (Google Earth Pro, historisches Satellitenbild 12/2012)



Abbildung 50: Keyline-Design auf der Nevallan-Farm von P.A. Yeomans und seinen Söhnen Neville und Allan in North Richmond, NSW, Australien (Google Earth Pro, historisches Satellitenbild 01/2014)



Abbildung 51: Keyline-Design auf der Nevallan-Farm von P.A. Yeomans und seinen Söhnen Neville und Allan in North Richmond, NSW, Australien (Google Earth Pro, historisches Satellitenbild 02/2017)

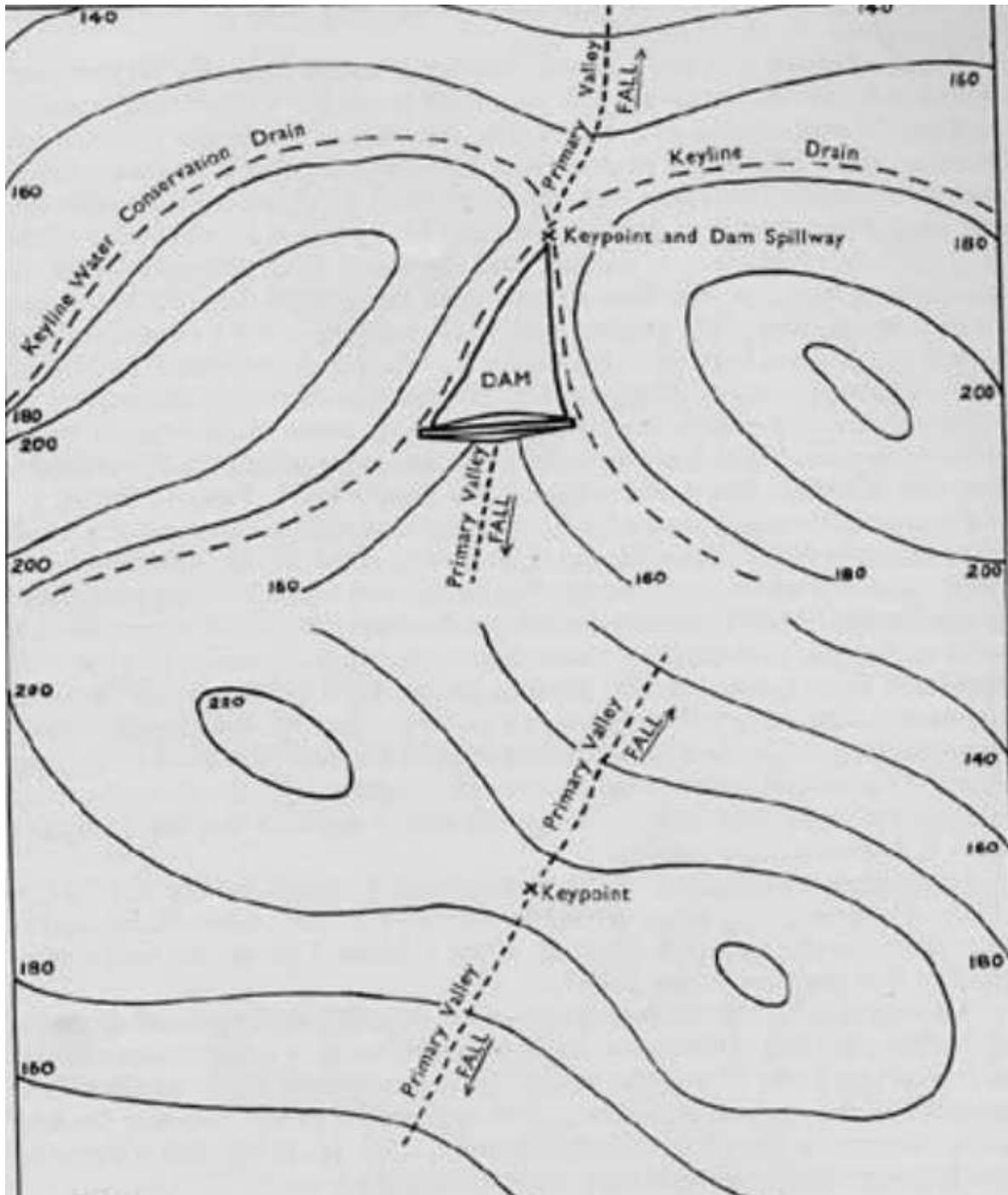


Abbildung 52: Keypoints an Sattelpunkten zwischen zwei Hügeln und einem Tiefpunkt eines Bergrückens (Yeomans, 1958, S. 59)

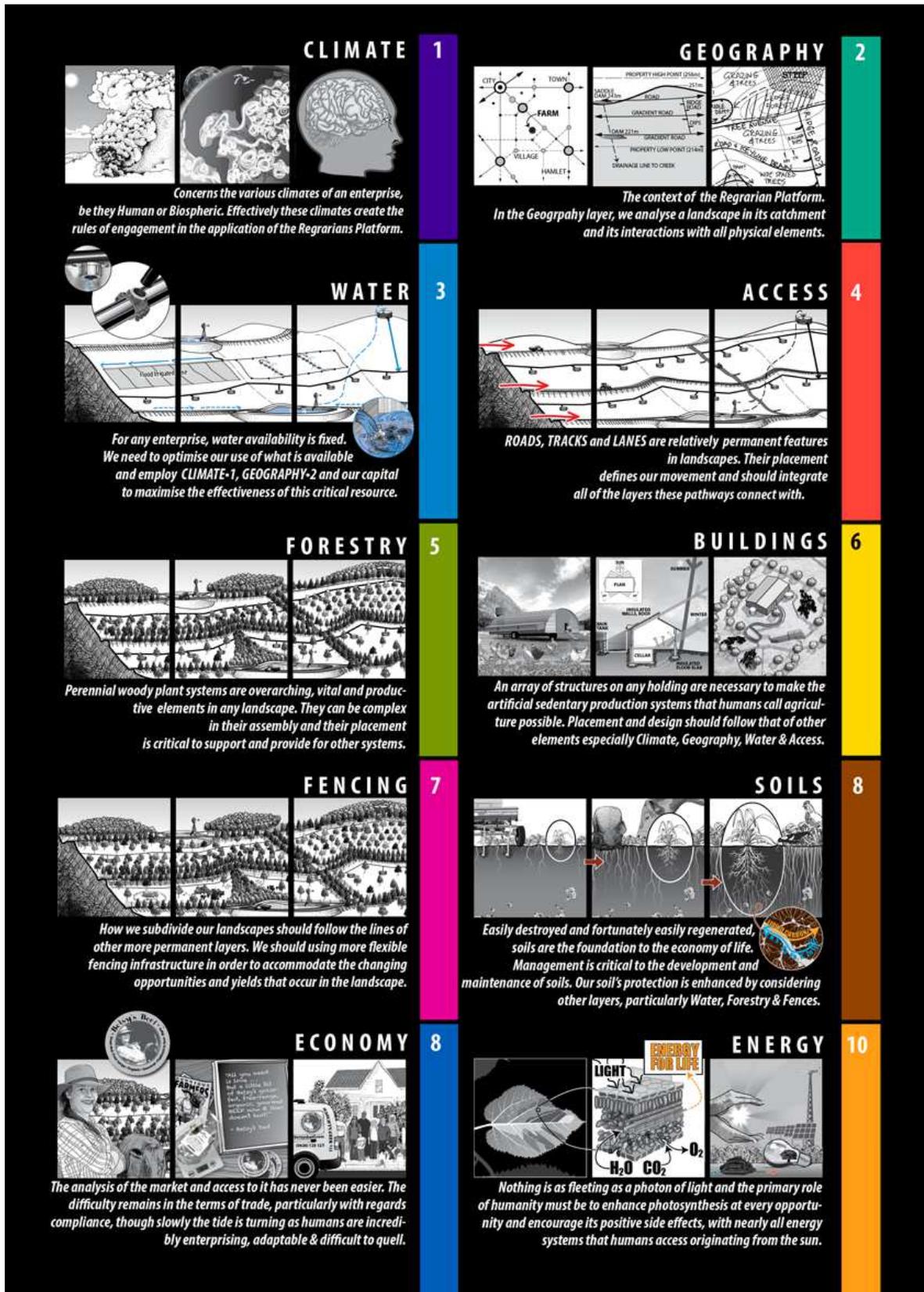


Abbildung 53: Keyline Scale of Permanence erweitert (Doherty und Jeeves, o.D.)

Baumart	Standorts-Eigenschaften			Art-Eigenschaften					Gefährdungen			
	Kältetoleranz	Trockenheitstoleranz	Nährstoffmangeltoleranz	Schattentoleranz	Höhenwuchs	Stabilität	Lebensdauer	Verjüngungspotenz.	Spätfrostresistenz	Windwurf/Schneebruchresistenz	Waldbrandresistenz	Widerstand geg. biot. Schädereger
Buche	4	3	3	5	5	4	4	4	2	4	5	3
Winterlinde	2	3	3	5	4	4	5	3	4	4	5	3
Weißtanne	4	2	4	5	5	5	4	4	1	5	2	2
Traubeneiche	2	4	4	1	4	5	5	3	2	5	5	5
Stieleiche	2	3	3	1	4	5	5	3	2	5	5	5
Bergahorn	4	2	2	3	4	4	4	5	4	4	5	3
Spitzahorn	3	2	2	3	4	4	4	5	4	4	5	3
Europ. Lärche	5	4	4	1	5	4	4	4	2	4	4	2
Sommerlinde	3	3	2	5	4	4	5	3	3	4	5	3
Waldkiefer	5	5	5	2	4	4	4	4	5	2	1	2
Zirbelkiefer	5	4	4	3	3	5	5	2	5	5	2	5
Bergkiefer	5	4	5	2	3	5	3	2	5	5	1	5
Vogelbeere	5	4	5	3	1	5	3	5	5	5	5	3
Fichte	5	3	4	5	5	1	4	4	2	1	2	1
Bergulme	2	1	1	3	4	5	4	2	4	5	5	1
Esche	2	3	1	2	5	3	4	5	1	4	5	2
Hainbuche	2	2	2	4	3	4	4	4	3	4	5	4
Aspe	5	2	5	2	3	4	2	5	5	2	4	2
Sandbirke	5	4	5	1	2	2	1	5	5	2	2	4
Elsbeere	1	4	1	3	3	4	4	1	5	5	5	3
Speierling	1	4	1	4	2	5	4	1	5	5	5	1
Mehlbeere	1	4	1	3	2	5	4	1	5	5	5	3
Feldahorn	2	2	2	3	1	5	4	3	3	4	5	4
Grauerle	4	4	4	1	1	4	1	4	5	3	5	3
Roterle	3	2	2	1	3	5	2	2	4	3	5	3
Moorbirke	5	2	5	1	2	2	1	5	5	2	2	4
Wildkirsche	1	4	2	1	3	3	1	2	4	4	5	1
Flatterulme	1	1	1	2	1	5	3	2	4	5	5	1
Eibe	2	2	1	4	1	4	5	3	4	4	2	2
Wildapfel	3	3	2	1	2	4	3	3	3	4	5	3
Wildbirne	2	3	2	1	2	5	3	3	2	4	5	3
Walnuss	1	4	2	1	3	5	4	3	1	4	5	3
Silberweide	2	2	2	1	3	4	2	4	3	3	4	2

Ökologische Potenz mitteleuropäischer Baumarten (Otto 1994, verändert)

Toleranzniveau:
1 = sehr niedrig
2 = niedrig
3 = mittel
4 = hoch
5 = sehr hoch

Kältetoleranz:
Toleranz niedriger Temperaturen während der Vegetationszeit, bestimmt u. a. höhenzonale Verbreitung

Trockenheitstoleranz:
Anspruchlosigkeit an die Wasserversorgung und Dürre-resistenz erweitern Verbreitungsmöglichkeiten

Nährstoffmangeltoleranz:
niedrige Nährstoffausstattung und Boden-säure behindern Wachstum nicht oder kaum

Schattentoleranz:
wesentlicher Schlüsselfaktor zur Durchsetzung der Art, da Licht im dichten Waldgefüge rasch ein Mangel-faktor wird

Höhenwuchs:
hochwachsende Arten vermögen zu dominieren, mattwüchsige geraten u. U. in eine Stress- verursachende Beschattungssituation

Stabilität:
Tendenz zur tiefen und festen Durchwurzelung auf schwierigem Standort erhöht die Überlebenschancen

Lebensdauer:
Arten mit langer Lebensdauer können Standorte länger besetzt halten als kurzlebige

Verjüngungspotenz:
Strategien reichlichen Fruchtwassers, vegetativer Vermehrung und vorteilhafter Ausbreitungsmechanismen der Samen sind eine Grundvoraussetzung für Standortseroberung

Spätfrostresistenz:
wesentlicher Faktor für die Widerstandsfähigkeit von Jungwüchsen gegen Ausmerzung

Windwurf/Schneebruchresistenz:
nach Verankerung (Durchwurzelung) im Boden, Kronenform, winterlichem Zustand (belaubt oder unbelaubt) unterschiedlich artgebundene Anfälligkeit

Waldbrandresistenz:
Entzündungstemperaturen und Kalorienentwicklung bei Brand in lebenden und toten Pflanzenteilen sind bei den Baumarten unterschiedlich und bestimmen ihren Gefährdungsgrad

Widerstand gegen biotische Schädereger:
entweder sind wenig pilzliche und tierische – Konsumenten, Destruenten – Schäden für eine Art vorhanden (z. B. Buche) oder es gibt viele, aber die Schädigung wird selten letal (z. B. Eiche)

Abbildung 54: Ökologische Potenz mitteleuropäischer Baumarten (Otto, 1994 verändert nach Forster, Falk und Reger, 2019, S. 13)

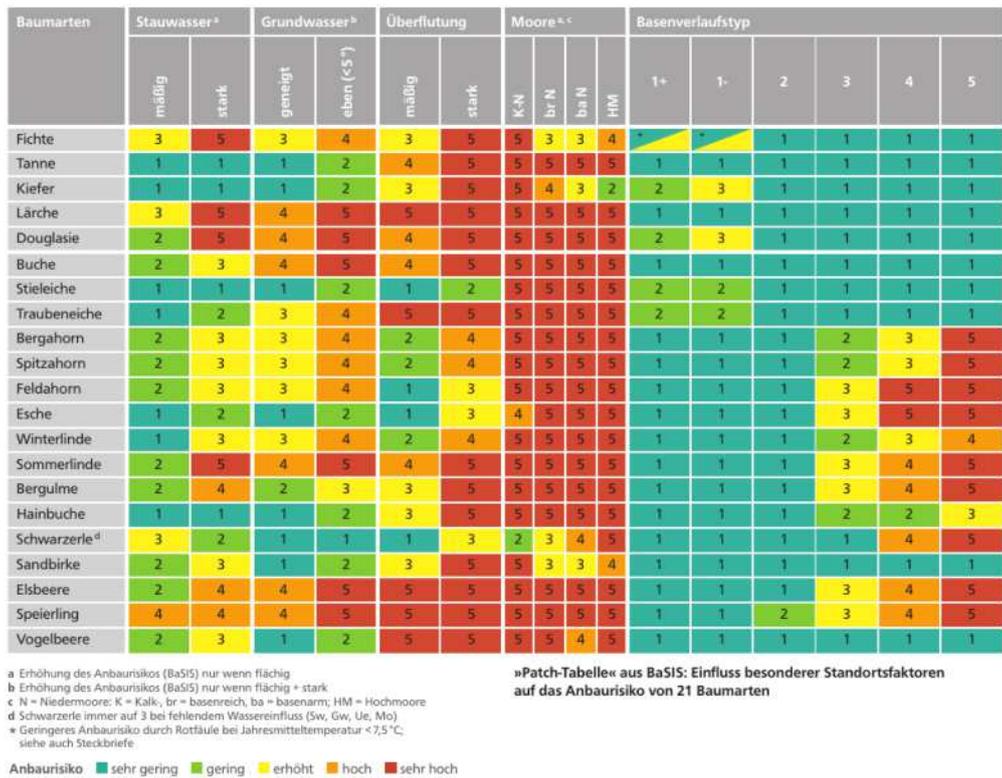


Abbildung 55: Einfluss besonderer Standortfaktoren auf das Anbaurisiko von 21 Baumarten. Der Basenverlaufstyp teilt sich auf in folgende Typen auf: Typ 1+: sehr basenreich, Typ 1-: sehr basenreich, geringes Kaliumangebot, Typ 2: basenreich, 3: mittelbasisch, Typ 4: basenarm, Typ 5: sehr basenarm (Forster, Falk und Reger, 2019, S. 19)

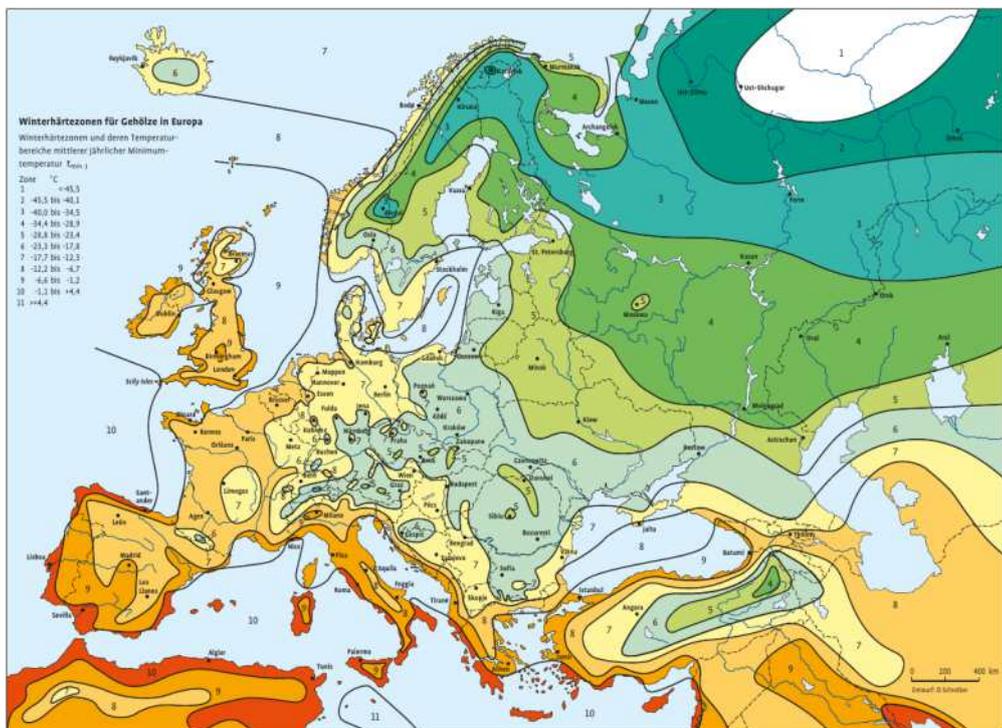


Abbildung 56: Winterhärtezonen für Gehölze in Europa (Heinze und Schreiber, 1984 in Bärtels und Schmidt, 2014, S.19)

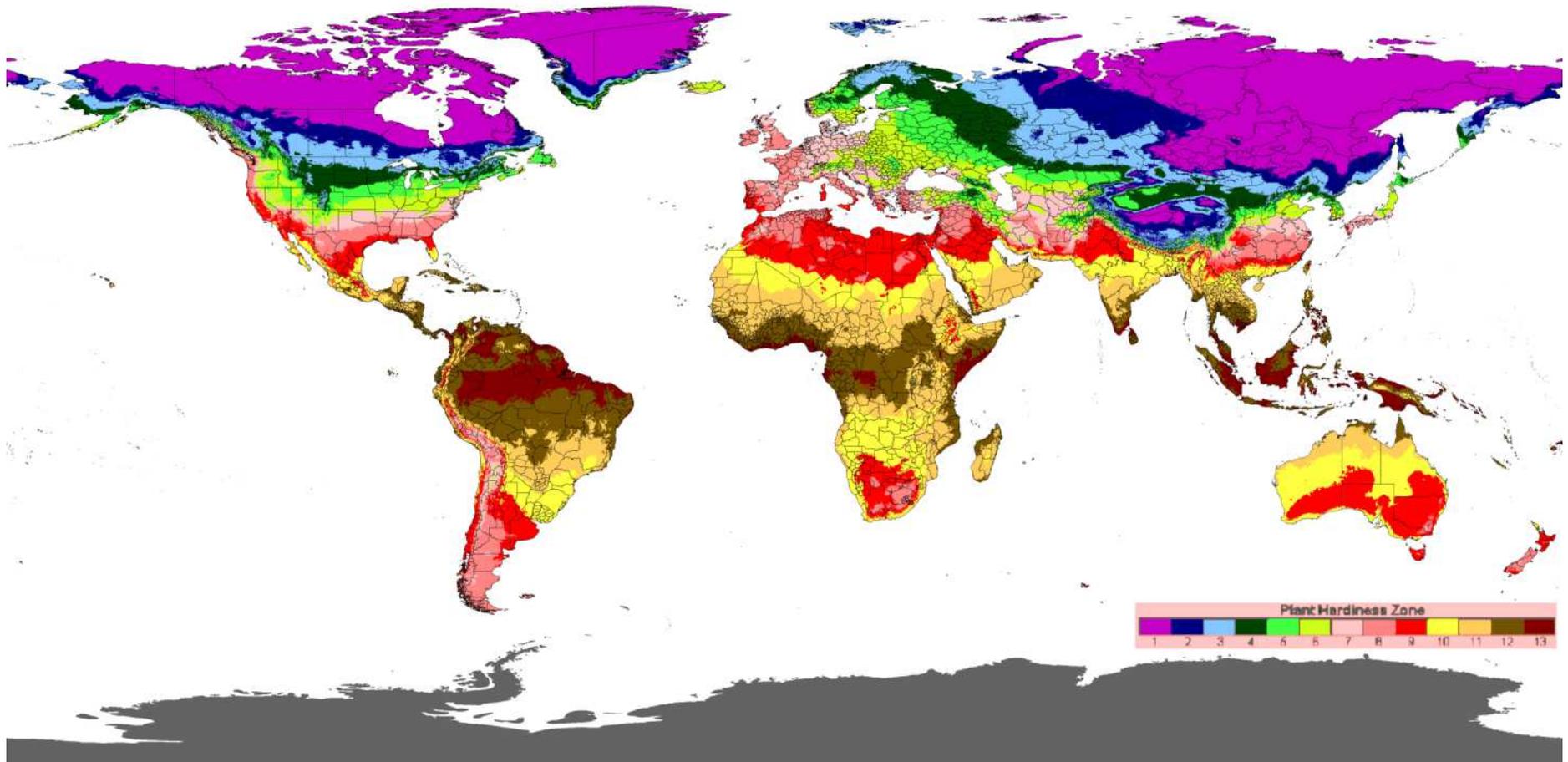


Abbildung 57: Dreißigjährige globale Karte der USDA-Winterhärtezonen für den Zeitraum 1978-2007 (Magarey, Borchert und Schlegel, 2009)

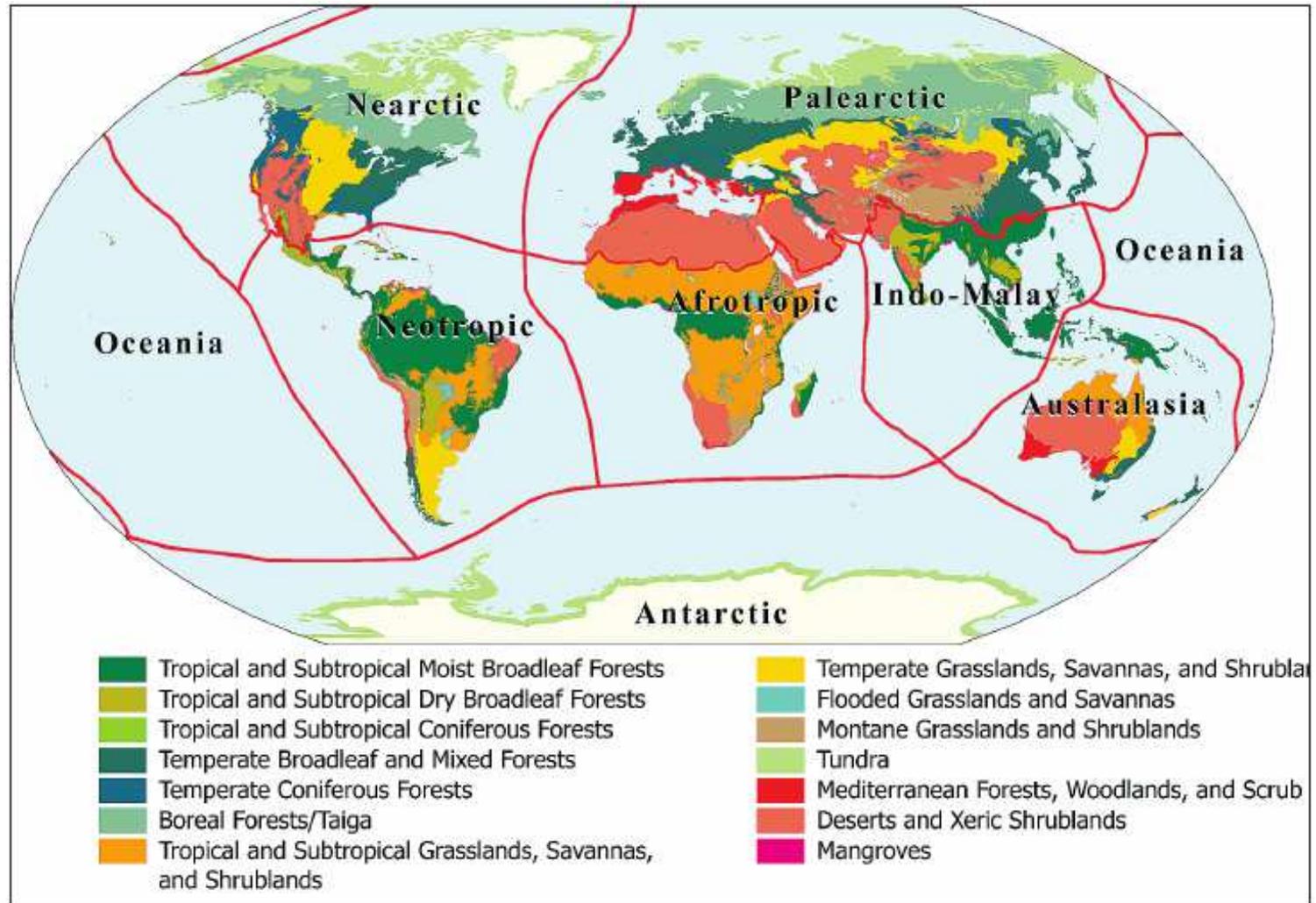


Abbildung 58: Die Ökoregionen (siehe Abb. 59) sind in 14 Biome und acht biogeografische Bereiche eingeteilt (Olson u. a., 2001)



Abbildung 59: Karte der terrestrischen Ökoregionen der Welt mit 867 verschiedenen Einheiten (Olson u. a., 2001)

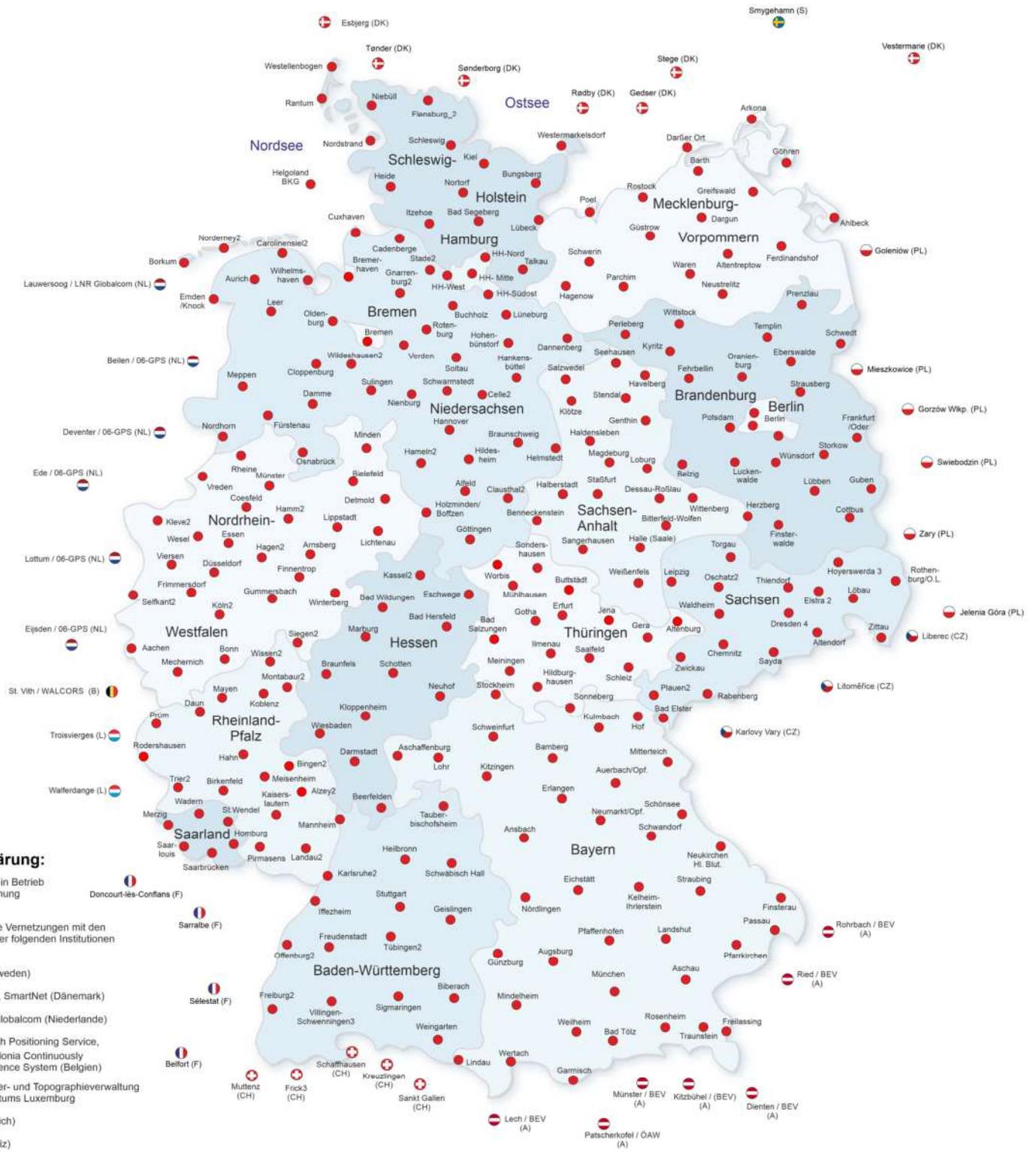


Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen
der Länder der Bundesrepublik Deutschland

Abbildung 60: SAPOS GNSS-Referenzstationen



GNSS-Referenzstationen

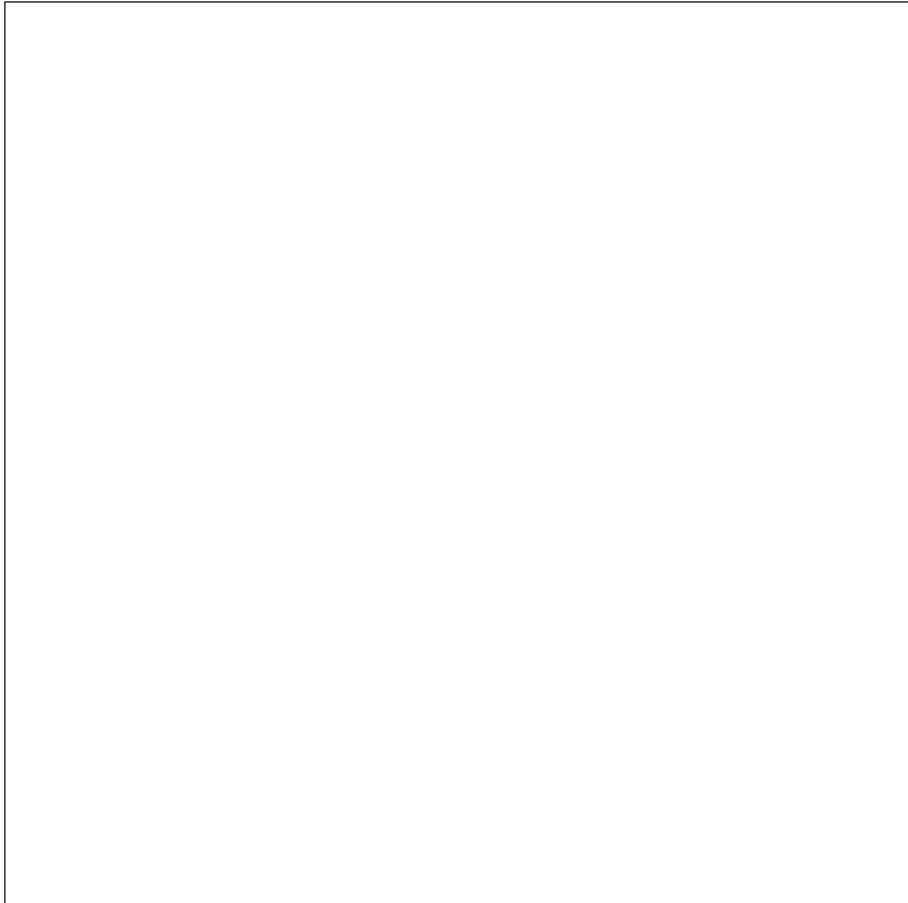


Stand: August 2021

AMTLICHES DEUTSCHES VERMESSUNGSWESEN

Interviews

Im Rahmen dieser Bachelorarbeit wurden fünf Interviews mit den folgenden Personen geführt: Janos Wack, Burkhard Kayser, Max Fahrendorf, Philipp Gerhardt und Hendrik Gaede. Es wurden dabei im Vorhinein der Expertise der Personen entsprechend Fragen ausgewählt und diese während der Interviews angepasst, verworfen oder ergänzt. Die Audio-Aufnahmen sind auf CD-ROM der Arbeit beigelegt.



Janos Wack, Witzenhausen Interview geführt am 28. Januar 2022

Mit den folgenden Fragen:

00:18 Wie sind sie dazu gekommen professionell Agroforstsysteme zu planen?

02:09 Wie lange planen Sie schon Agroforstsysteme?

02:54 Seit 2006 sind in der GAP Agroforstsysteme förderfähig und in manchen EU-Ländern umgesetzt aber warum hat die Umsetzung in der Förderpolitik in Deutschland so lange auf sich warten lassen?

04:49 Was sind die Argumente des Naturschutzes gegen Agroforst?

07:01 Jetzt soll die Agroforstförderung in Deutschland kommen. Was denken Sie, welchen Einfluss wird die kommende Agroforstförderung auf die Agroforstwirtschaft in Deutschland haben?

11:19 Warum wurde so wenig auf die Forderungen und Vorschläge vom DeFAF eingegangen?

14:37 Unter welchen rechtlichen Abmachungen oder Bestimmungen war die Umsetzung von Agroforstsystemen bisher möglich?

18:47 Wie hat sich die Nachfrage nach Agroforstplanungen in den letzten Jahren entwickelt?

21:00 Welche Techniken oder Programme halten Sie bei der Planung von Agroforstsystemen für wichtig?

23:48 Für wie relevant würden sie das Programm QGIS bei der Planung einschätzen?

26:53 Warum wird die Planung von Agroforstsystemen im Keyline-Design verhältnismäßig wenig von Planern und Planerinnen angeboten und von Software unterstützt?

30:05 Was können Ihrer Meinung nach die Vorteile von Keyline-Agroforstsystemen sein?

34:04 Wie könnte die Planung von Keyline-Agroforstsystemen erleichtert angewendet werden?

37:00 Ende des Interviews und kurzer Abschluss.

Burkhard Kayser, Minden Interview geführt am 31 Januar 2022

Mit den folgenden Fragen:

- 00:03 Wie bist du dazu gekommen, professionell Agroforstsysteme zu planen?
- 02:41 Wie lange planst du schon Agroforst- oder Waldgartensysteme?
- 03:25 Seit 2006 sind die Agroforstsysteme in der GAP förderfähig auf Europarecht. Warum hat die Umsetzung in der Förderpolitik in Deutschland so lange auf sich warten lassen?
- 09:57 Welchen Einfluss wird die kommende Agroforstförderung ab 2023 auf die Agroforstwirtschaft in Deutschland haben?
- 12:19 Warum denkst du wurde so wenig auf die Forderungen und Vorschläge des DeFAF eingegangen bei der Gestaltung der Förderung?
- 15:53 Unter welchen rechtlichen Abmachungen oder Bestimmungen war die Umsetzung von Agroforstsystemen bisher möglich?
- 16:44 Wie hat sich die Nachfrage von Agroforstplanungen in den letzten Jahren entwickelt?
- 17:19 Welche Techniken oder Programme hältst du bei der Planung von Agroforstsystemen für wichtig und welche verwendest du?
- 20:20 Wie relevant ist das Programm QGIS in deiner Einschätzung?
- 21:35 Warum wird die Planung von Agroforstsystemen im Keyline-Design verhältnismäßig selten von Planern und Planerinnen angeboten bzw. von Software unterstützt?
- 21:51 Was sind für Sie die wichtigsten Vorteile und Nachteile eines Keyline-Agroforstsystems?
- 30:08 Wie könnte die Planung von Keyline-Agroforstsystemen erleichtert werden?
- 31:00 Ende des eigentlichen Interviews und Weiterführung mit Gespräch.

Max Fahrendorf, Niederkaufungen Interview geführt am 7. Februar 2022

Mit den folgenden Fragen:

- 00:13 Kannst du mir ein paar Eckdaten dazu geben, wie dein Lebensablauf war und was du für eine Expertise hast für dieses Interview?
- 05:21 Welche Schnittpunkte siehst du denn bei der Umwelt- und Agroforstplanung?
- 07:32 Welche Techniken oder Programme würdest du bei der Planung von Agroforstsystemen für wichtig erachten? Für professionelle Agroforstplanungen.
- 09:48 Hast du schonmal mit CAD-Programmen gearbeitet?
- 11:04 Inwieweit lässt sich das Konzept Keyline-Design problemlos in Deutschland anwenden oder projizieren?
- 17:35 Für wie wichtig hältst du die Orientierung an den Keypoints und an den daran abgeleiteten Keylines?
- 20:42 Warum wird die Planung von Agroforstsystemen im Keyline-Design oder höhenlinienparallel oder Masterline-Design bisher verhältnismäßig selten von Planern und Planerinnen angeboten oder von Software unterstützt?
- 26:29 Hast du schon versucht, Keyline-Designs in QGIS zu erstellen? Hast du dazu schon Tools gefunden?
- 30:41 Ende des eigentlichen Interviews und Weiterführung mit Gespräch.

Philipp Gerhardt, Wiesenburg Interview geführt am 8. Februar 2022

Mit den folgenden Fragen:

- 00:08 Wie bist du dazu gekommen, professionell Agroforstsysteme zu planen?
- 01:50 Seit 2006 sind in der GAP förderfähig. Warum hat die Umsetzung in der Förderpolitik in Deutschland so lange auf sich warten lassen?
- 04:49 Welchen Einfluss wird die kommende Agroforstförderung auf die Agroforstwirtschaft in Deutschland haben?
- 07:23 Unter welchen Abmachungen oder Bestimmungen war es bisher möglich, die Agroforstsysteme anzumelden?
- 09:16 Wie hat sich die Nachfrage nach Agroforstplanungen entwickelt in den letzten Jahren?
- 12:35 Was denkst du, inwieweit lässt sich das Konzept Keyline-Design aus Australien problemlos in Deutschland anwenden und projizieren?
- 19:20 Denkst du, es gibt eine unterschwelligere Möglichkeit, Keyline-Design anzuwenden z.B. ohne große Dämme zu ziehen?
- 21:01 Welche Techniken oder Programme hältst du bei der Planung von Agroforstsystemen für wichtig?
- 23:16 Warum wird die Planung von Agroforstsystemen im Keyline-Design verhältnismäßig selten von Planern und Planerinnen angeboten bzw. von Software unterstützt?
- 29:10 Ende des eigentlichen Interviews und Weiterführung mit Gespräch.

Hendrik Gaede, Wendershausen Interview geführt am 9. Februar 2022

Mit den folgenden Fragen:

- 00:01 Wie bist du dazu gekommen Agroforst- oder Waldgartensysteme zu planen?
- 01:18 Wie lange planst du schon Agroforst- und Waldgartensysteme?
- 02:40 Was denkst du welchen Einfluss wird die Agroforstförderung auf die Agroforstwirtschaft in Deutschland haben?
- 03:35 Wie hat sich die Nachfrage nach Agroforstsystemen entwickelt in den letzten Jahren?
- 04:18 Welche Hürden stehen der Umsetzung von Agroforst- und Waldgartensystemen entgegen und wie könnten diese überwunden werden?
- 07:04 Welche Techniken oder Programme hältst du bei der Planung von Agroforstsystemen für wichtig und welche benutzt du?
- 09:45 Orientierst du die Planungsebenen an der Keyline Scale of Permanence?
- 10:58 Für wie relevant hältst du es, QGIS bei der Planung einzusetzen?
- 11:44 Wie gut lässt sich Keyline-Design aus Australien auf Deutschland projizieren?
- 13:20 Warum wird die Planung von Agroforstsystemen im Keyline-Design so selten von Planern und Planerinnen angeboten?
- 15:16 Was denkst du, wie könnte die Planung von Keyline-Agroforstsystemen erleichtert werden?
- 16:30 Unter welchen rechtlichen Abmachungen oder Bestimmungen war die Umsetzung von Agroforstsystemen bisher möglich?

Literatur

- Bärtels, Andreas und Peter A. Schmidt (2014). *Enzyklopädie der Gartengehölze*. Bd. 2., aktualisierte und erweiterte Auflage. Eugen Ulmer KG: Stuttgart.
- Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau (LWG) (2019). *Bienenbäume*.
- Bender, Bela u. a. (2009). *Moderne Agroforstsysteme mit Werthölzern - Leitfaden für die Praxis*. agroforst - neue Optionen für eine nachhaltige Landnutzung.
- Böllersen, Vivian (2019). *Revival der Walnuss - Neues und altes Wissen zum Walnussanbau in Deutschland*. Bd. 2. durchgesehene Auflage. Organischer Landbau Verlag: Kevelaer.
- Britannica, Encyclopedia (o.D.). *Mercator projection*. Online [Stand 31.12.21]. URL: <https://www.britannica.com/science/Mercator-projection>.
- Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (2021). *Entwurf: Verordnung zur Durchführung der GAP-Direktzahlungen (GAP-Direktzahlungen-Verordnung - GAPDZV)*. Online. URL: https://www.bundesrat.de/SharedDocs/drucksachen/2021/0801-0900/816-21.pdf?__blob=publicationFile&v=1.
- Bundesrat (2021). *Beschluss des Bundesrat zur Verordnung zur Durchführung der GAP-Direktzahlungen (GAP-Direktzahlungen-Verordnung - GAPDZV)*. Online. URL: [https://www.bundesrat.de/SharedDocs/drucksachen/2021/0801-0900/816-21\(B\).pdf?__blob=publicationFile&v=2](https://www.bundesrat.de/SharedDocs/drucksachen/2021/0801-0900/816-21(B).pdf?__blob=publicationFile&v=2).
- Bußler, Heinz (2014). „Käfer und Großschmetterlinge an der Traubeneiche“. In: *LWF Wissen 75: Beiträge zur Traubeneiche*, S. 89–93. URL: https://www.lwf.bayern.de/mam/cms04/biodiversitaet/dateien/w75_kaefer_und_grossschmetterlinge_an_der_traubeneiche_bf_gesch.pdf.
- Castro, Paula u. a. (2019). *Climate Change-Resilient Agriculture and Agroforestry - Ecosystem Services and Sustainability*. Springer: Cham.
- DeFAF (o.D.[a]). *Historie in Mitteleuropa - Der Rückgang von traditionellen Agroforstsystemen*. Online [Stand 21.01.2022]. URL: <https://agroforst-info.de/agroforstwirtschaft/traditionelle-formen-der-agroforstwirtschaft/>.
- (o.D.[b]). *Pro und Contra Agroforst - was spricht für und gegen Agroforst*. Online [Stand 01.02.2022]. URL: <https://agroforst-info.de/chancen/>.
- Doherty, Darren J. und Andrew Jeeves (2017). *Regrarians eHandbook*. Bd. Chapter 2: Geography. Regrarians.
- (o.D.). *Regrarians Handbook*. Online [Stand 12.01.21]. URL: <http://www.regrarians.org/regrarians-handbook/>.
- Duncan, Sara und Tayler Krawczyk (2018). *Keyline Water Management: Field Research & Education in the Capital Region Soil Indicators Monitoring Program*. Report. URL: <https://www.climateagriculturebc.ca/app/uploads/FI09-Keyline-Water-Management-CRD-2018-report.pdf>.
- Fahrendorf, Max (2022). *Online-Interview am 07.02.2022*.

- FAO (2019). „Soil erosion: the greatest challenge to sustainable soil management. Rome.“ In: URL: <https://www.fao.org/3/ca4395en/ca4395en.pdf>.
- Forster, Manuela, Wolfgang Falk und Dr. Birgit Reger (2019). *Praxishilfe: Klima - Boden - Baumar-
tenwahl*. Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF).
- Gaede, Hendrik (2022). *Online-Interview am 09.02.2022*.
- Gatti, Giacomo (2020). „Die Haselnuss – aktueller Stand, Anbau und Aussichten“. In: *Obstbau Wein-
bau 2*, S. 5–9.
- GDAL (o.D.). *GDAL*. Online [Stand 29.12.21]. URL: <https://gdal.org/>.
- Gerhardt, Philipp (2019a). *Planung von Agroforstsystemen und Waldgärten mit QGIS*. Skriptum zum
Kurs.
- (2019b). *Rationelle Waldgartengestaltung auf ökologischer Grundlage*. Skriptum zum Kurs.
- (2022). *Online-Interview am 08.02.2022*.
- Gimond, Manuel (2021). *Intro to GIS and Spatial Analysis*. Online [Stand 31.12.21]. URL: <https://mgimond.github.io/Spatial/index.html>.
- GISGeography (2021a). *How Universal Transverse Mercator (UTM) Works*. Online [Stand 31.12.21].
URL: <https://gisgeography.com/utm-universal-transverse-mercator-projection/>.
- (2021b). *Map Distortion with Tissot's Indicatrix*. Online [Stand 31.12.21]. URL: <https://gisgeography.com/map-distortion-tissots-indicatrix/>.
- GNU (o.D.). *Philosophy*. Online [Stand 07.01.22]. URL: <https://www.gnu.org/philosophy/>.
- GRASS (o.D.). *What is GRASS GIS?* Online [Stand 29.12.21]. URL: <https://grass.osgeo.org/learn/overview/>.
- Grosser, Dietger (2013). „Das Holz des Apfelbaums – Eigenschaften und Verwendung“. In: *LWF
Wissen 73: Beiträge zum Wildapfel*, S. 55–58.
- Heinze, Woldermar und D. Schreiber (1984). „Eine neue Kartierung der Winterhärtezonen für Gehöl-
ze in Europa“. In: *Mitteilung Deutsche Dendrologische Gesellschaft 75*, S. 11–56.
- Hofmann, Paul (2019). *Entwicklung multifunktionaler Agroforstsysteme für die gemäßigten Breiten-
grade - Integration von agrarökologischen Prinzipien, Sukzessionsdynamiken und Keyline-Design
am Beispiel "Hof Sonnenwald"*. Masterarbeit. Hochschule für Nachhaltige Entwicklung Ebers-
walde. URL: [https://www.hof.sonnenwald.org/wp-content/uploads/2021/03/
Multifunktionales_Agroforstdesign_Masterarbeit_Paul_Hofmann.pdf](https://www.hof.sonnenwald.org/wp-content/uploads/2021/03/Multifunktionales_Agroforstdesign_Masterarbeit_Paul_Hofmann.pdf).
- Institut für Digital Humanities, Universität zu Köln (o.D.). *Basissysteme der Informationsverarbei-
tung 2: Karten*. Online [Stand 01.01.22]. URL: [https://lehre.idh.uni-koeln.de/
lehrveranstaltungen/sosem21/basissysteme-der-informationsverarbeitung-2-
bsi-4/gis/georeferenzierung/karten/](https://lehre.idh.uni-koeln.de/lehrveranstaltungen/sosem21/basissysteme-der-informationsverarbeitung-2-bsi-4/gis/georeferenzierung/karten/).
- IPCC (2014). „Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU)“. In: *Climate Change 2014:
Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report
of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona,
E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J.
Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University*

- Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. URL: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_wg3_ar5_chapter11.pdf.
- Jäger, Mareike (2016). *Agroforstsysteme - Hochstamm-, Wildobst- und Laubbäume mit Kulturpflanzen kombinieren*. Agridea: Lindau.
- Kayser, Burkhard (2022). *Online-Interview am 31.01.2022*.
- Kellner, Tobias (2021). *Drohnenkartierung mit QGIS*. Online-Kurs.
- Kobold, Werner und Tatjana Reeg (2009). „Historische Agroforstsysteme in Deutschland“. In: *Alemannisches Jahrbuch 2007/2008*, S. 173–203.
- Kort, J., M. Collins und D. Ditsch (1998). „A review of soil erosion potential associated with biomass crops“. In: *Biomass and Bioenergy* 14, S. 351–359.
- Krawczyk, Tayler und Solara Goldwynn (o.D.). *What Is Keyline Design?* Online [Stand 13.01.22]. URL: <http://crkeyline.ca/what-is-keyline-design/>.
- Kullik, Niklas (2016). *Entwicklungsszenario der landwirtschaftlichen Flächennutzung durch ein Keyline Kultivierungsmuster: Die Gemeinschaft Schloss Tempelhof in Deutschland*. Bachelorarbeit. Leuphana Universität Lüneburg. URL: https://pub-data.leuphana.de/files/786/Niklas_Kullik_Keyline_Design_Bachelorarbeit_public.pdf.
- MacDonald-Holmes, J. (1960). *The Geographical Basis of Keyline*. Angus und Robertson: Sydney.
- Machatschek, Michael (2002). *Laubgeschichten - Gebrauchswissen einer alten Baumwirtschaft, Speise- und Futterlaubkultur*. Böhlau Verlag: Wien.
- Magarey, R.D., D.M. Borchert und J. Schlegel (2009). „Global plant hardiness zones for phytosanitary risk analysis“. In: *Scientia Agricola* 64, S. 54–59.
- Mendel, Hermann G. (2000). *Elemente des Wasserkreislaufs: Eine kommentierte Bibliographie zur Abflussbildung*. Analytica Verlagsgesellschaft: Lüdenscheid.
- Mitzel, Tristan (2020). *Planung zur Aufwertung eines Ackers mit Streuobst- und Wertholzbäumen und baumgestützter Bienenweide*. Praktikumsarbeit.
- Mollison, Bill (1988). *Permaculture - A Designer's Manual*. Tagari Publications: Sisters Creek, Tasmania.
- Montgomery, David R. (2007). *Dirt - The Erosion of Civilisations*. University of California Press: Berkeley und Los Angeles.
- (2017). *Growing a Revolution - Bringing our Soil Back to Life*. W W NORTON & CO: New York.
- Nair, P.K. Ramachandran und Dennis Garrity (2012). *Agroforestry - The Future of Global Land Use*. Springer: Dordrecht.
- Nierste, Jan-Fritz (o.D.[a]). *AG GIS und Agroforst*. Online-Treffen [18.01.22].
- (o.D.[b]). *AG GIS und Agroforst*. Online-Treffen [07.02.22].
- Olson, David u. a. (2001). „Terrestrial Ecoregions of the World: A New Map of Life on Earth“. In: *BioScience* Vol. 51 No.11, S. 933–938.
- Otto, H.-J. (1994). *Waldökologie*. Ulmer Verlag: Stuttgart.
- Pavlov, Georgi (2015). *Understanding the Application of Keyline Geometry*. URL: permatronc.ressources-permaculture.fr/Ajoute-des-fichiers-ici/EB00K_Understanding_the_Application_of_Keyline_Geometry_%5BENGLISH%5D.pdf.

- Peillet, Sebastien (o.D.). *PisteCreator GitHub README*. Online [Stand 18.01.22]. URL: <https://github.com/SebastienPeillet/PisteCreator>.
- Pirc, Helmut (2015). *Enzyklopädie der Wildobst- und seltenen Obstarten*. Leopold Stocker Verlag: Graz.
- Plants for a Future (o.D.). *PFAF-Datenbank*. Online [Stand 13.02.2022].
- REconomy Project und Transition Network (2015). *How to do a local economic blueprint*. Online. URL: <http://reconomy.org/wp-content/uploads/2017/06/How-to-Do-a-Local-Economic-Blueprint-Final.pdf>.
- Reeg, Tatjana u. a. (2009). *Anbau und Nutzung von Bäumen auf landwirtschaftlichen Flächen*. WILEY-VCH Verlag: Weinheim.
- SAGA (o.D.). *SAGA Introduction*. Online [Stand 29.12.21]. URL: <http://www.saga-gis.org/en/index.html>.
- Schulz, Vanessa u. a. (2020). *Agroforst-Systeme zur Wertholzerzeugung - Tipps für die Anlage und Bewirtschaftung von Agroforst-Systemen, sowie Betrachtung ökologischer, ökonomischer, landschaftsgestalterischer und rechtlicher Aspekte*. Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg (LTZ).
- Sci-Hub (o.D.). *Sci-Hub: removing barriers in the way of science*. Online [Stand 07.01.22]. URL: <https://www.sci-hub.se/>.
- Seidl, F. (2014). „Agroforstsysteme – Ergebnisse der Versuche in Karlsruhe-Stupferich“. In: *Informationen für die Pflanzenproduktion. Karlsruhe*.
- Sennekamp, Monika (2006). „GIS-gestützte Auswertung von Luftbildern aus dem Einzugsgebiet des Mladotického jezera (Mladotičer See) in West-Tschechien zur Rekonstruktion des prä- bis postkommunistischen Landschaftswandels (1938 – 2005)“. Diss. Geographisches Institut der Freien Universität Berlin.
- Shepard, Mark (2013). *Restoration Agriculture - Real-World Permaculture for Farmers*. Acres U.S.A.: Austin, Texas.
- (2020). *Water for Any Farm - Applying Restoration Agriculture Warer Management Methods on Your Farm*. Acres USA: Greeley, Colorado.
- Smith, H.J.C., G.J Levy und I. Shainberg (1990). „Waterdroplet energy and soil amendments: Effect on infiltration and erosion“. In: *Soil Science Society of America Journal* 54, S. 1084–1087.
- Tatschl, Siegfried (2015). *555 Obstsorten für den Permakulturgarten und -balkon*. Löwenzahn: Innsbruck.
- Unsel, Rüdiger u. a. (2011). *Leitfaden Agroforstsysteme - Möglichkeiten zur naturschutzgerechten Etablierung von Agroforstsystemen*.
- Wack, Janos (2022). *Online-Interview am 28.01.2022*.
- Wieland, Dieter (1974). *Flurbereinigung - die maschinengerechte Landschaft*. Dokumentarfilmreihe: Topographie. Bayerischer Rundfunk.
- Wikipedia (o.D.[a]). *Blank map of the world (Robinson projection)*. Online [Stand 01.01.21]. URL: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Blank_map_of_the_world_\(Robinson_projection\)_\(162E\).svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Blank_map_of_the_world_(Robinson_projection)_(162E).svg).

- Wikipedia (o.D.[b]). *DTM DSM*. Online [Stand 12.01.21]. URL: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:DTM_DSM.svg.
- (o.D.[c]). *European Petroleum Survey Group Geodesy*. Online [Stand 01.01.21]. URL: https://de.wikipedia.org/wiki/European_Petroleum_Survey_Group_Geodesy.
- (o.D.[d]). *System für Automatisierte Geowissenschaftliche Analysen*. Online [Stand 29.12.21]. URL: https://de.wikipedia.org/wiki/System_f%C3%BCr_Automatisierte_Geowissenschaftliche_Analysen.
- (o.D.[e]). *UTM-Koordinatensystem*. Online [Stand 01.01.21]. URL: <https://de.wikipedia.org/wiki/UTM-Koordinatensystem>.
- Yeomans, Percival A. (1958). *The Challenge of Landscape - The Development and Practice of Keyline*. Keyline Publishing: Sydney.
- (1966). *Water for every Farm - A practical irrigation plan for every Australian property*. Selbstveröffentlichung: Murray, Sydney.

Eidesstattliche Erklärung

Ich versichere hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig verfasst, ganz oder in Teilen noch nicht als Prüfungsleistung vorgelegt und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe. Sämtliche Stellen der Arbeit, die benutzten Quellen im Wortlaut oder dem Sinn nach entnommen sind, habe ich durch Quellenangaben kenntlich gemacht. Ich erkläre mein Einverständnis zur Überprüfung der von mir eingereichten Arbeit auf Plagiate durch eine Anti-Plagiatsoftware. Zu diesem Zweck stelle ich eine anonymisierte elektronische Form des Dokuments in gängigem Format zur Verfügung.

Witzenhausen, den 14.02.2020, Tristan Mitzel

