

Untersuchung Standortseignung Edelkastanie

Schlussbericht



Projektausführung (Auftragnehmer)

Luis Muheim, Professur Waldökologie, ETH Zürich, luis.muheim@usys.ethz.ch

Andreas Rudow, Professur Waldökologie, ETH Zürich, andreas.rudow@env.ethz.ch

Projektbegleitung (Auftraggeber)

Pierre Alfter, Abteilung Wald, Bundesamts für Umwelt (BAFU), pierre.alfter@bafu.admin.ch

1 Einleitung

1.1 Hintergrund

Die Edelkastanie (*Castanea sativa* Mill.) wird heute auf der Schweizer Alpennordseite aus forstwirtschaftlicher Perspektive sowohl aufgrund ihres wertvollen Holzes als auch als wärmeliebende Baumart hinsichtlich des Klimawandels vermehrt gepflanzt. Die Pflanzung von bisher wenig verbreiteten Baumarten soll zu einer Diversifizierung des Artenspektrums und zu höherer Stabilität und Resilienz unserer Wälder führen. Darüber hinaus spielt auch das Potential hinsichtlich anderen Ökosystemleistungen eine Rolle. Mit ihrem starken Jugendwachstum und anhaltenden Wachstum bis ins hohe Alter ist die Edelkastanie bezüglich Kohlenstoffspeicherung interessant. Als typische Baumart agroforstlicher Systeme und aufgrund ihrer wertvollen Früchte ist sie zentraler Teil entsprechender extensiver Landnutzungsformen sowie ein äusserst attraktives Landschaftselement.

Um in der forstlichen Praxis mit solchen eher unbekannten Baumarten arbeiten zu können, sind genaue Kenntnisse zu den Anforderungen der Baumarten wichtig. Aktuelle Erkenntnisse für die Edelkastanie auf der Schweizer Alpennordseite geben z.B. Rudow & Borter (2009), Kanton Zürich (2019) oder Muheim (2020). Für künftige Pflanzungen von Edelkastanien müssen unter anderem die Bodenfaktoren berücksichtigt werden. Die Edelkastanie benötigt saure, frische und tiefgründige Böden. Solche Böden können über folgenden geologischen Untergründen wie zum Beispiel Rissmoräne, Deckenschotter, Obere und Untere Meeresmolasse oder Sandsteinformationen der Unteren und Oberen Süswassermolasse gefunden werden (Kanton Zürich, 2019). Als Faustregel für Edelkastanien-Pflanzungen gilt, dass in den obersten 50 -70 cm ein pH zwischen 4.5 und 6.5 geeignet und ein pH zwischen 5.0 und 6.0 optimal ist. Böden mit freiem Kalk im Wurzelbereich werden für die Edelkastanie als problematisch angesehen.

Bei den im Mittelland weitverbreiteten jungen Böden über Würmmoränen/-alluvionen ist die Tiefe der Kalkgrenze sehr variabel und kann bis in den A-Horizont reichen. Diese Schwankungen können zum Teil innerhalb von wenigen Metern vorhanden sein. Zudem schwanken die pH-Werte von solchen Böden in den obersten 50 cm relativ stark (pH: 4.5 bis 7.5). Es fragt sich also, ob die genannte pH-Regel auch auf Würmmoräneböden übertragen werden kann oder ob sich allenfalls andere Bodenfaktoren besser zur Beschreibung von Ansprüchen, bzw. Standorten eignen würden.

1.2 Zielsetzung

Das vorliegende Forschungsprojekt hatte zum Zweck, diese essenzielle Kenntnislücke zu schliessen und für die im Rahmen der Anpassung an den Klimawandel vermehrte Edelkastanien-Pflanzungen im Schweizer Mittelland auf Würm-Standorten Klarheit zu schaffen. Dazu wurden Standorte mit vitalen Edelkastanien-Vorkommen auf Böden über Würmmoräne ausgewählt und von diesen verschiedene Bodenfaktoren untersucht. Im Sinne eines Artverbreitungsmodells mit „Presence“-Daten werden die vitalen Edelkastanien Vorkommen als geeignete Edelkastanienstandorte betrachtet. Die Studie verfolgte folgende Detailziele:

- pH-Verlauf nach Bodentiefe als Kriterium für Standortseignung von Edelkastanie
- Evaluation anderer Bodenfaktoren als Kriterien für Standortseignung von Edelkastanie
- Validierung obiger Kriterien anhand von Vorkommen auf Böden über Calciumcarbonat gebundenen Muttergesteinen älterer geologischer Schichten (Riss, Deckenschotter, OSM)

2 Material und Methoden

2.1 Probebäume

Insgesamt wurden 24 Probebäume verschiedener Vorkommen ausgewählt. Die Probebäume wurden basierend auf Edelkastanien Verbreitungsdaten von Rudow & Borter (2009) und der geologischen Karte der Schweiz (swisstopo, 2005) ausgewählt. Mit den detaillierteren Karten des geologischen Atlas (swisstopo, 2019) wurde die Auswahl überprüft. Die betroffenen Förster wurden für eine mögliche Untersuchung angefragt. Die Probebäume sollten einen Brusthöhendurchmesser (BHD) grösser als 30 cm haben und vital sein. Es konnten so 18 machbare Edelkastanien-Vorkommen auf Würmmoränen festgelegt werden (siehe grüne Punkte in **Abb. 1**). Zusätzlich wurden 6 Vorkommen über Rissmoräne, Deckenschotter oder Molasse ausgewählt (siehe orange Punkte in **Abb. 1**). Die Merkmale der Probebäume sind in **Tab. 1** beschrieben.

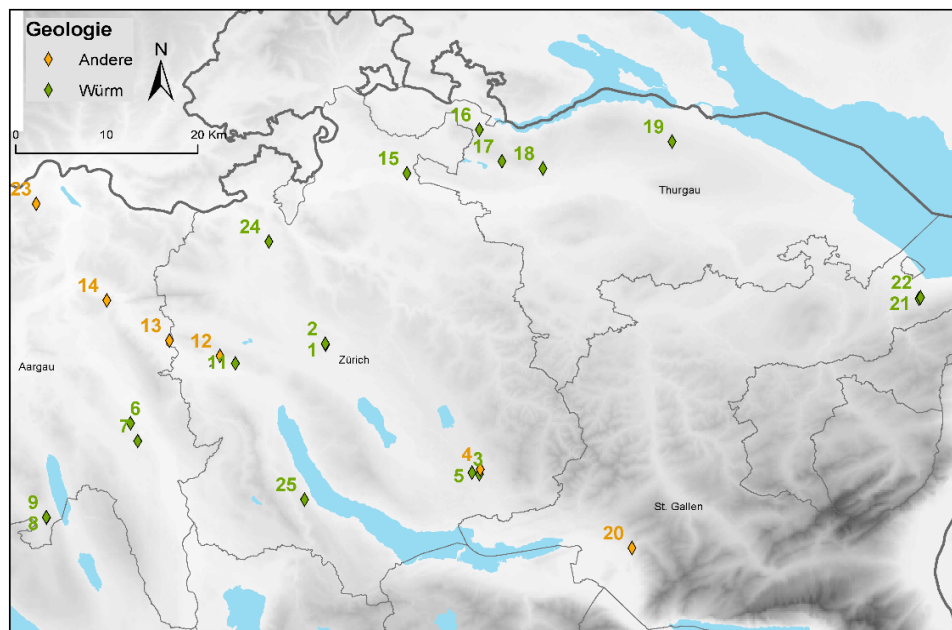


Abb. 1: Untersuchte Probebäume mit Baumnummern.

Tab. 1: Untersuchte Probebäume.

BAUM = Baumnummer, BHD = Brusthöhendurchmesser in cm, GEOL = Geologischer Untergrund (MO_W = Würmmoräne, MO_R = Rissmoräne, OSM = Obere Süsswassermolasse, USM = Untere Süsswassermolasse, OMM = Obere Meeresmolasse, DS = Deckenschotter), WALDS = Waldstandortstyp, VITAL = Vitalitätsklasse

BAUM	BHD	GEOL	WALDS	VITAL	X	Y	Gemeinde	Kanton	Förster
1	70	MO_W	7a	1	688146	253761	Dietlikon	ZH	August Erni
2	65	MO_W	7a	1	688122	253834	Dietlikon	ZH	August Erni
3	45	MO_W	7a	1	705071	238962	Hinwil	ZH	Stefan Burch
4	46	OSM	9	2	705175	239507	Hinwil	ZH	Stefan Burch
5	35	MO_W	6	2	704261	239112	Hinwil	ZH	Stefan Burch
6	121	MO_W	7aS	1	666702	244769	Bremgarten	AG	Leonz Küng
7	32	MO_W	7a	1	667480	242754	Bremgarten	AG	Leonz Küng
8	52	MO_W	7d	1	657471	233996	Reinach	AG	Ulrich Wanderon
9	63	MO_W	7d	1	657440	234027	Reinach	AG	Ulrich Wanderon
11	42	MO_W	7a	2	678249	251605	Oberengstringen	AG	Peter Rieser
12	40	OSM	10	1	676535	252425	Unterengstringen	AG	Peter Rieser
13	80	OMM	7d	1	670996	254195	Würenlos	AG	Markus Byland
14	72	MO_R	7a	2	664105	258816	Baden	AG	Pius Moser
15	69	MO_W	7a	1	697112	273330	Ossingen	ZH	Simon Eriksson
16	45	MO_W	26f	2	705075	278314	Wagenhausen	TG	Jakob Gubler
17	47	MO_W	7e	1	707553	274705	Hüttwilen	TG	Stefan Bottlang
18	56	MO_W	7aS	2	712039	273880	Pfyn	TG	Urs Bühler
19	49	MO_W	7g	1	726261	276944	Tägerwilen	TG	Pascal Epper
20	69	USM	9	1	721859	230498	Kaltbrunn	SG	Reto Bless
21	153	MO_W	7a	1	753379	259007	Goldach	SG	Sebastian Lanker
22	75	MO_W	6	1	753542	259135	Goldach	SG	Sebastian Lanker
23	58	DS	46a	1	656321	269835	Leuggern	AG	Peter Haas
24	64	MO_W	7d	1	681909	265521	Bülach	ZH	Thomas Kuhn
25	39	MO_W	7a	1	685849	236056	Oberrieden	ZH	Marco Schmuki

Der BHD der Probestämme reicht von 30 cm bis 155 cm mit einem Median-BHD von 57 cm (**Abb. 2**). Es ist zu sehen, dass sich die Probestämme hinsichtlich ihres BHDs relativ stark unterscheiden. Da dickere Bäume wahrscheinlich älter sind, kann mit grösserer Sicherheit angenommen werden, dass dieser Standort für die Edelkastanien geeignet ist. Es wurde deshalb ein Stratum «älteste Bäume» gebildet. Die Grenze für die «ältesten» Bäume wurde bei einem BHD 60 cm gelegt. Obwohl grundsätzlich nur vitale Bäume ausgewählt wurden, wurden die Probestämme in zwei Vitalitätsklassen eingeteilt und ein Stratum «vitalste Bäume» gebildet. Die Kriterien dazu waren die Platzverhältnisse der Krone im Bestand, sowie gröbere Verletzungen (zwei Bäume mit offener Borke im ganzen Stammverlauf).

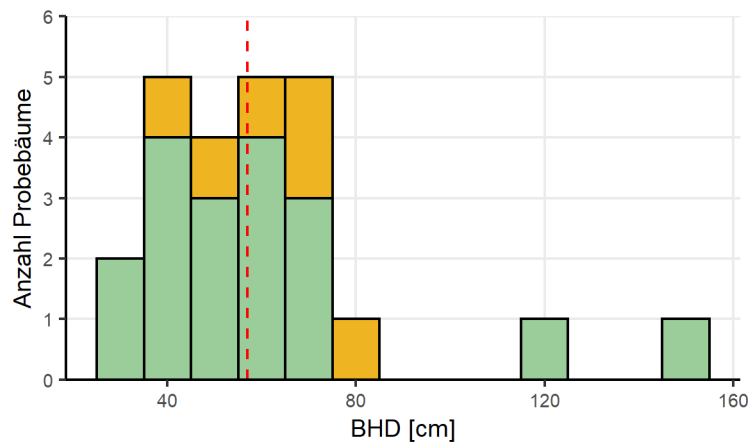


Abb. 2: Verteilung des Brusthöhendurchmessers (BHD) der Probestämme.
 Die grünen Balken zeigen Bodenproben mit Würmmoräne als geologischem Untergrund. Die orangen Balken zeigen Bodenproben mit anderem geologischen Untergrund. Rote gestrichelte Linie zeigt Median-BHD (= 57 cm). Die BHD-Werte wurden in die folgenden Klassen mit 10 cm-Schritten eingeteilt 25-34 cm, 35-44 cm, 45-54 cm, 55-64 cm etc.

2.2 Bodenfaktoren

Für die vorliegende Studie wurden verschiedene Bodenfaktoren erhoben. Es wurden wichtige chemische und physikalische Bodenfaktoren gewählt, welche leicht im Feld anzusprechen sind und standardmässig auch bei Bodenkartierungen erhoben werden. Die gewählten Variablen, und die Vorgehensweise zur Erhebung dieser, sind in **Tab. 2** beschrieben. Es wurden mit einem Pürckhauer-Bohrstock (Länge 1 m) und nach Möglichkeit zum Bestimmen der Kalkgrenzen-Tiefe mit einem Edelmann-Bohrstock (Länge 1.50 m) pro Probestaum zwei Bodenproben entnommen (total 48 Bodenproben). Die Distanz zwischen des Entnahmepunkts der Bodenprobe und dem Probestaum lag zwischen 1 m und 3 m. Die Bodenproben wurden nach Möglichkeit ober- und unterhalb des Probestaums auf möglichst ungestörtem Boden entnommen.

Tab. 2: Datenstrukturtafel der erhobenen Boden-Variablen

Kürzel	Attribut	Beschreibung
Metadaten		
CODE	Code Probe	ID Bodenprobe: BAUM + PROB
BAUM	Baumnummer	ID Probebaum
X	X-Koordinate Baum	Gemäss 1903 LV03
Y	Y-Koordinate Baum	Gemäss 1903 LV03
PROB	Bodenprobe	Bohrung a oder b
DIST	Distanz	Distanz von Bodenprobe zu Baum
AZIM	Azimut	Azimut von Bodenprobe zu Baum
Bodenprofil		
M_AHO_x	Mächtigkeit A(x)-Horizont	Mächtigkeit der verschiedenen A-Horizonte
M_BHO_x	Mächtigkeit B(x)-Horizont	Mächtigkeit der verschiedenen B-Horizonte
Bodenchemie		
PH_AHO	pH im Oberboden	Abschätzen pH-Wert mit pH-Hellige in 0-20 cm Tiefe, allenfalls Einteilung in Klassen 1 sehr stark sauer: < 3.3 2 stark sauer: 3.3 - 4.2 3 sauer: 4.3 - 5.0 4 schwach sauer: 5.1 - 6.1 5 neutral: 6.2 - 6.7 6 alkalisch: > 6.7
PH_BHO	pH im Unterboden	Abschätzen pH-Wert mit pH-Hellige in 50-70 cm Tiefe, allenfalls Einteilung in Klassen 1 sehr stark sauer: < 3.3 2 stark sauer: 3.3 - 4.2 3 sauer: 4.3 - 5.0 4 schwach sauer: 5.1 - 6.1 5 neutral: 6.2 - 6.7 6 alkalisch: > 6.7
KALK	Tiefe der Kalkgrenze	Bestimmen der Kalkgrenze mit Salzsäure. Reaktion von HCl mit Feinerde.
Bodenphysik		
HUM	Humusform	Gutachterliche Bestimmung gemäss AG Forsteinrichtung (2003). 1 L-Mull 2 F-Mull 3 Mullartiger Moder 4 Typischer Moder 5 Rohhumusartiger Moder 6 Rohhumus
BODA	Bodenart	Gutachterliche Bestimmung mit Fingerprobe und Bestimmungsschlüssel gemäss AG Forsteinrichtung (2003). Probenahme im B-Horizont (zwischen 50 - 100 cm). Einteilung gemäss BGS (1993). 1 reiner Sand: Ton 0 - 5 % und Schluff 0 - 15 % 2 schluffiger Sand: Ton 0 - 5 % und Schluff 15 - 50 % 3 lehmiger Sand: Ton 5 - 10 % und Schluff 0 - 50 % 4 lehmreicher Sand: Ton 10 - 15 % und Schluff 0 - 50 % 5 sandiger Lehm: Ton 15 - 20 % und Schluff 0 - 50 % 6 Lehm: Ton 20 - 30 % und Schluff 0 - 50 % 7 toniger Lehm: Ton 30 - 40 % und Schluff 0 - 50 % 8 lehmiger Ton: Ton 40 - 50 % und Schluff 0 - 50 % 9 Ton: Ton 50 - 100 % und Schluff 0 - 50 % 10 sandiger Schluff: Ton 0 - 10 % und Schluff 50 - 70 % 11 Schluff: Ton 0 - 10 % und Schluff 70 - 100 % 12 lehmiger Schluff: Ton 10 - 30 % und Schluff 50 - 90 % 13 toniger Schluff: Ton 30 - 50 % und Schluff 50 - 70 %
HYDR	Hydromorphe Merkmale	Gutachterliche Bestimmung gemäss Anleitung Profilaufnahme Beilage 7 (2018) 0 keine Merkmale 1 Mangankoncretionen 2 Diffuse Rostflecken 3 Kontrast-Rostflecken 4 Marmorierungen 5 Reduktionsfarben 6 Nassbleichung
GRUN	Gründigkeit	Gutachterliche Bestimmung der Gründigkeit aufgrund der Einschlagsschwierigkeit 1 sehr tiefgründig: >100 cm 2 tiefgründig: 70 - 100 cm 3 mässig tiefgründig: 50 - 70 cm 4 ziemlich flachgründig: 30 - 50 cm 5 flachgründig: <30 cm

3 Ergebnisse

3.1 Charakterisierung der Standorte

Die Verteilung der Probestämme auf die Waldstandortstypen der kantonalen Waldstandorts-Kartierungen zeigt, dass es sich bei Edelkastanien auf Würmstandorten um verschiedene Standortstypen, hauptsächlich um anspruchsvolle Buchenwälder (*Eu-Fagion*) handelt. Dies gilt auch für die Teilmengen der stärksten Bäume (BHD > 60) und der vitalsten Bäume. Die meisten kommen auf Standorten des Typischen Waldmeister-Buchenwaldes (7a) vor (siehe **Abb. 3**). Erstaunlich sind die vereinzelt Vorkommen auf stark basischen Standorten wie Typischer Lungenkraut-Buchenwald (9) und Lungenkraut-Buchenwald mit Immenblatt (10). Diese Vorkommen im basischen Bereich stehen auf Böden mit Süsswassermolasse-Untergrund (Hinwil (Nr.4), Unterengstringen (Nr. 12) und Kaltbrunn (Nr. 20)). Es ist anzumerken, dass sich die genannten Standorte in einem Mosaik mit in der Nähe liegenden Würmstandorten befinden.

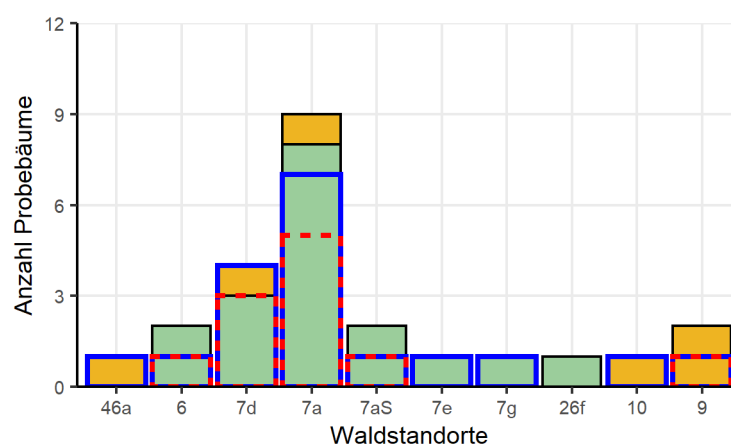


Abb. 3: Verteilung der Waldstandortstypen (Waldstandorte) der Probestämme.

Von links nach rechts: Saure bis basische Standortstypen. 46a = Peitschenmoos-Fichten-Tannenwald, 6 = Waldmeister-Buchenwald mit Hainsimse, 7d = Typischer Waldmeister-Buchenwald, Ausbildung mit Hainsimse, 7a = Typischer Waldmeister-Buchenwald, 7aS = Typischer Waldmeister-Buchenwald mit Waldziest, 7e = Waldmeister-Buchenwald mit Hornstrauch, 7g = Waldmeister-Buchenwald mit Lungenkraut, Ausbildung mit Wald-Ziest, 26f = Ahorn-Eschenwald mit Bingelkraut, 10 = Lungenkraut-Buchenwald mit Immenblatt, 9 = Typischer Lungenkraut-Buchenwald. Grüne Balken: Geologie = Würm, orange Balken: Geologie = Andere. Blaue Umrandung: vitalste Bäume, rot-gestrichelte Umrandung: Bäume mit BHD > 60 cm.

3.2 Verteilung nach Bodenfaktoren

Eine Übersicht über alle Werte der erfassten Boden-Variablen je Bodenprobe ist im **Anhang Tab. 5** zu finden. Im Folgenden werden Verteilungsgrafiken aller erfassten Variablen dargestellt, mit Ausnahme des pH des Oberbodens der sich als zu wenig variabel herausgestellt hat.

pH Unterboden

Der pH im Unterboden liegt hauptsächlich in einem Bereich von 4.0 bis 6.4 (siehe **Abb. 4**), wobei die meisten Bodenproben einen pH im Bereich von 4.5 aufweisen. Es zeigt sich zudem, dass der pH des Unterbodens bei den vitalsten und ältesten Bäumen eher im sauren Bereich liegt (siehe **Abb. 4**, blaue und rot-gestrichelte Linien). Bei den beiden Vorkommen 4 (Hinwil) und 25 (Oberrieden) liegt der pH des Unterbodens über 6.5.

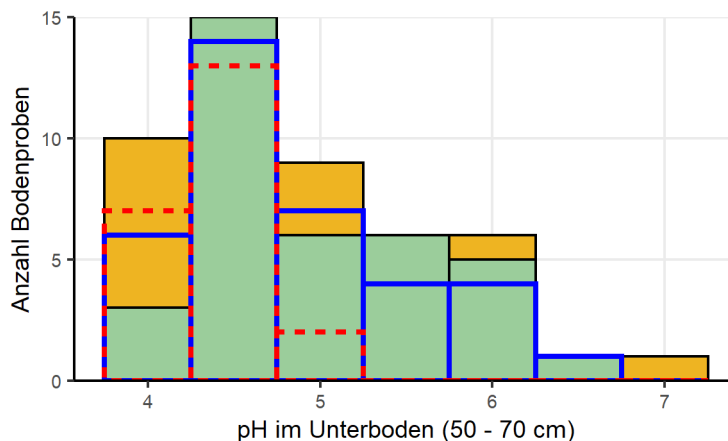


Abb. 4: Verteilung des pHs im Unterboden der Bodenproben.

Grüne Balken: Geologie = Würm, orange Balken: Geologie = Andere. Blaue Umrandung: vitalste Bäume, rot-gestrichelte Umrandung: Bäume mit BHD > 60 cm.

Tiefe Kalkgrenze

Die Tiefe der Kalkgrenze konnte durch Kombination beider Bohrstöcke bei knapp 40% der Bodenproben erfasst werden. Die Tiefe der Kalkgrenze variiert relativ stark und liegt zwischen >1 m und 45 cm (siehe **Abb. 5**). Es gibt also Edelkastanien-Vorkommen mit freiem Kalk im Wurzelbereich. Bei den stärksten Probestäumen liegt die Kalkgrenze jedoch tiefer als 70 cm. Interessanterweise liegen die Kalkgrenzen auch auf Süßwassermolasseböden in Hinwil (Nr.4), Unterengstringen (Nr. 12) oder Kaltbrunn (Nr. 20) relativ hoch. Bei zwei Probestäumen (Nr. 4 und 11) unterscheiden sich die beiden Bodenproben a und b desselben Probestaums hinsichtlich ihrer Tiefe der Kalkgrenze stark (siehe **Anhang Abb. 15**), was auf kleinräumige Standortvariation hinweist.

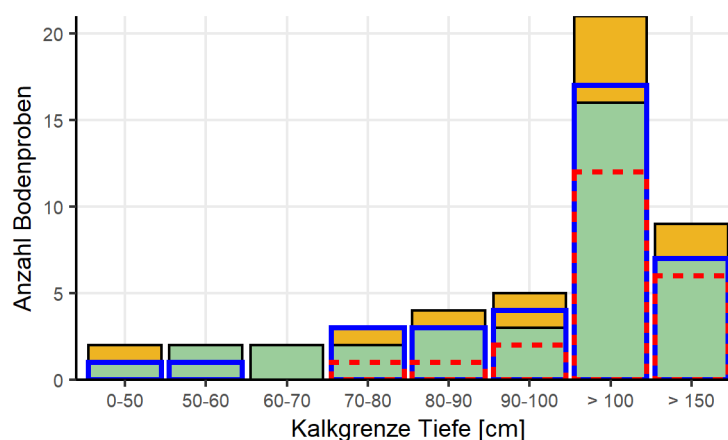


Abb. 5: Verteilung der Kalkgrenztiefe der Bodenproben.

Bei den Klassen > 100 und > 150 wurde die Kalkgrenze in den meisten Fällen nicht erreicht.
 Grüne Balken: Geologie = Würm, orange Balken: Geologie = Andere. Blaue Umrandung: vitalste Bäume, rot-gestrichelte Umrandung: Bäume mit BHD > 60 cm.

Weitere Bodenfaktoren: Feinerdekörnung, Humusform, Hydromorphe Merkmale und Gründigkeit

Wie die Verteilung nach Feinerdekörnung zeigt, sind die Böden der untersuchten Edelkastanienvorkommen häufig lehmreich (20-30 % Ton, 0-50 % Schluff), wobei die Böden der dicksten und vitalsten Probestämme tendenziell einen tieferen Tonanteil (sandiger Lehm bis lehmreicher Sand) aufweisen (siehe **Abb. 6 links**). Bei einigen Probestämmen wurde auch ein erhöhter Tonanteil festgestellt. Die Humusform bewegt sich zwischen einem L-Mull und einem Moder, wobei es bei den älteren Bäumen verhältnismässig oft Moder oder moderartige Humusformen gibt (siehe **Abb. 6 rechts**).

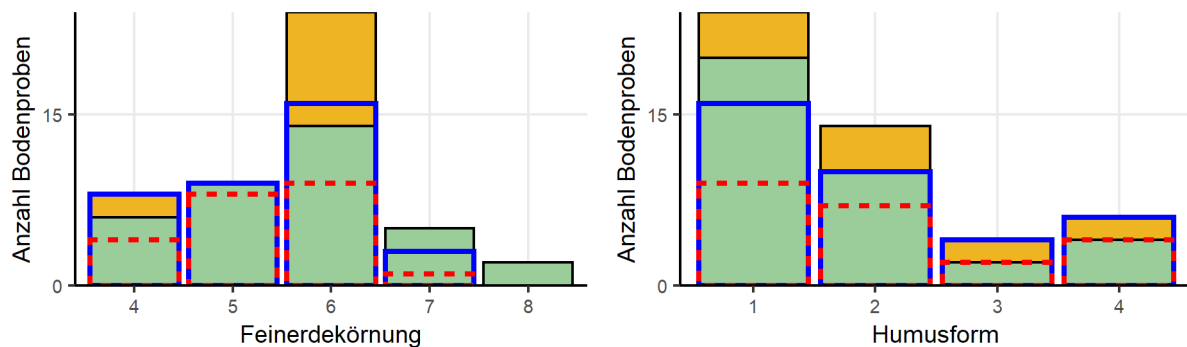


Abb. 6 links: Verteilung Feinerdekörnungsklassen (Tiefe 50 – 70 cm).

Feinerdekörnungsklassen 1 - 12 (BGS, 1993): 4 = lehmreicher Sand (Ton 10-15 %, Schluff 0-50 %), 5 = sandiger Lehm (Ton 15-20 %, Schluff 0-50 %), 6 = Lehm (Ton 20-30 %, Schluff 0-50 %), 7 = toniger Lehm (Ton 30-40 %, Schluff 0-50 %), 8 = lehmiger Ton (Ton 40-50 %, Schluff 0-50 %). **rechts: Verteilung Humusform.** Humusformklassen (AG Forsteinrichtung, 2003) 1 - 6: 1 = L-Mull, 2 = F-Mull, 3 = Mullartiger Moder, 4 = Typischer Moder, 5 = Rohhumusartiger Moder, 6 = Rohhumus. Grüne Balken: Geologie = Würm, orange Balken: Geologie = Andere. Blaue Umrandung: vitalste Bäume, rot-gestrichelte Umrandung: Bäume mit BHD > 60 cm.

Weiter sind die Böden der untersuchten Edelkastanienvorkommen nicht oder nur leicht vernässt und weisen daher wenig hydromorphe Merkmale auf. Eine starke Vernässung des Bodens tritt bei einem Vorkommen auf einem Fahlgley (Nassbleichung) auf, jedoch mit verminderter Vitalität (siehe **Abb. 7 links**). Die meisten untersuchten Vorkommen stocken auf sehr tiefgründigen und tiefgründigen Böden (siehe **Abb. 7 rechts**). Werden nur die dicksten und vitalsten Probestämme betrachtet, verdeutlicht sich diese Tendenz.

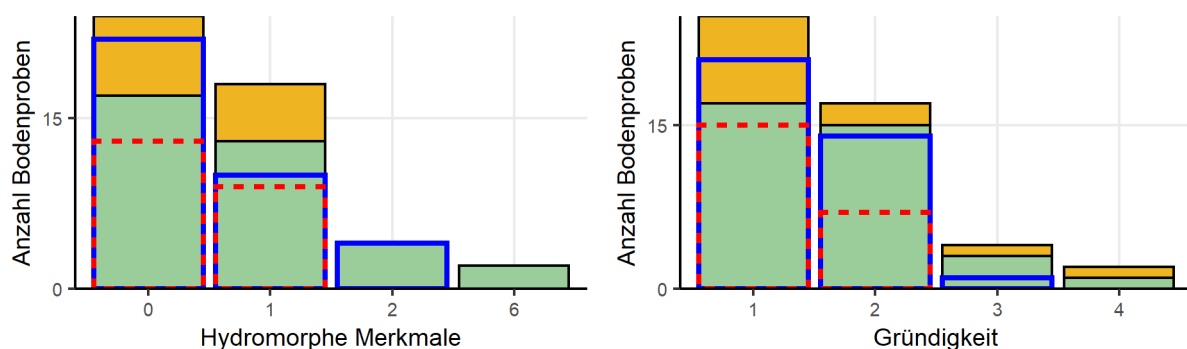


Abb. 7 links: Verteilung Hydromorphe Merkmale.

0 = keine, 1 = Mangankonkretionen, 2 = Diffuse Rostflecken, 3 = Kontrast-Rostflecken, 4 = Marmorierungen, 5 = Reduktionsfarben, 6 = Nassbleichung. **rechts: Verteilung Gründigkeit.** Gründigkeitsklassen 1 - 5: 1 = sehr tiefgründig (> 100 cm), 2 = tiefgründig (70-100 cm), 3 = mässig tiefgründig (50-70 cm), 4 = ziemlich flachgründig (30-50 cm). Grüne Balken: Geologie = Würm, orange Balken: Geologie = Andere. Blaue Umrandung: vitalste Bäume, rot-gestrichelte Umrandung: Bäume mit BHD > 60 cm.

3.3 Korrelationen zwischen Bodenfaktoren

Die Bodenfaktoren haben nicht alle einzeln einen Einfluss auf das Vorkommen von Edelkastanien, da sie teilweise voneinander abhängen. Um solche Beziehungen zwischen den Bodenfaktoren zu erkennen, wurden diese einander gegenübergestellt. Eine starke Korrelation zweier Faktoren bedeutet, dass bei gleichzeitiger Verwendung als Kriterium für die Interpretation der Standortseignung Vorsicht geboten ist. Es werden zuerst die Bodenfaktoren pH Unterboden und Tiefe Kalkgrenze einander gegenübergestellt und im Folgenden alle weiteren Bodenfaktoren mit dem pH Unterboden respektive der Tiefe Kalkgrenze. Es wurden nur schwache Korrelationen gefunden.

pH Unterboden X Tiefe Kalkgrenze

Die Tiefe der Kalkgrenze korreliert leicht mit dem pH des Unterbodens (siehe **Abb. 8**). Tendenziell wurde bei Böden mit einem $\text{pH} < 5$ die Kalkgrenze weniger oft erreicht als bei Böden mit $\text{pH} > 5$. Der pH kann aber tief sein und gleichzeitig die Kalkgrenze relativ hoch zwischen 50 und 100 cm liegen. In diesen Fällen wurde ein abrupter, nicht kontinuierlicher Wechsel des pH-Werts festgestellt. Die Versauerung kann im oberen Teil des Bodens also trotz einer erreichten Kalkgrenze relativ stark fortgeschritten sein. Innerhalb eines Bodens können in unterschiedlichen Tiefen gleichzeitig verschiedene Puffersysteme aktiv sein.

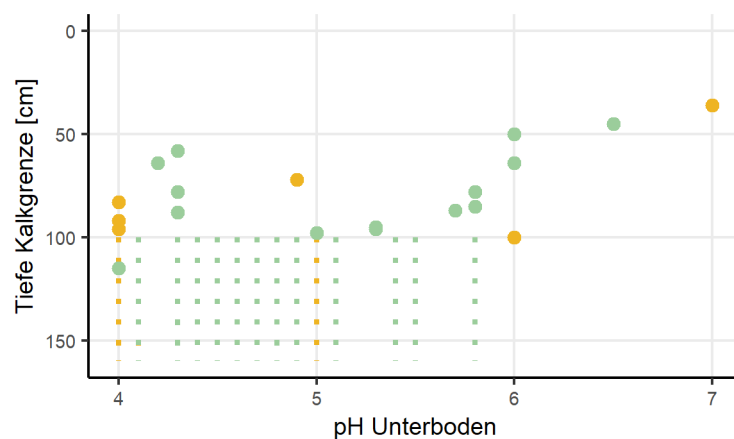


Abb. 8: Beziehung vom pH Unterboden und Kalkgrenzen-Tiefe.

Die gestrichelte Linie stellt eine Bodenprobe dar, bei welcher die Kalkgrenze nicht erreicht wurde und nicht genau bestimmt werden kann. Grüne Punkte und grün-gestrichelte Linie stellen Bodenproben über Würmmoräne dar, orange Punkte und orange-gestrichelte Linie stellen Bodenproben über anderem geologischen Untergrund dar.

Feinerdekörnung X pH Unterboden und Tiefe Kalkgrenze

Bei der Gegenüberstellung von pH Unterboden und Feinerdekörnung ist zu sehen, dass bei sandigen Böden (4, 5) der pH-Wert grundsätzlich tiefer, bei Böden mit höherem Tongehalt (7, 8) der pH-Wert höher ist (siehe **Abb. 9 links**). Bei lehmigen Böden (6) gibt es eine starke Streuung des pH-Werts. Die Feinerdekörnungsklassen unterscheiden sich im Allgemeinen nur leicht bezüglich der Kalkgrenzentiefe (siehe **Abb. 9 rechts**). Auf lehmigen Böden (6) variiert die Kalkgrenze stark. Bei eher sandigen Böden (4, 5) liegt die Kalkgrenze tendenziell tiefer als 100 cm, während bei eher tonigen Böden (7, 8) die Kalkgrenze eher oberhalb von 100 cm liegt.

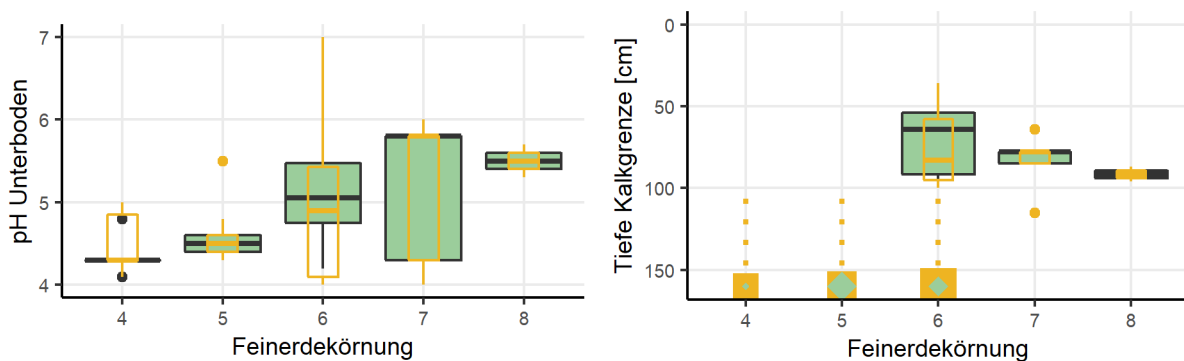


Abb. 9: Beziehung zwischen Feinerdekörnung und pH Unterboden (links) sowie Tiefe Kalkgrenze (rechts).
Orange: Alle Bodenproben (n = 48), grün: nur Bodenproben auf Wümm (n = 36). Da nicht alle Kalkgrenzen-Tiefen bestimmt werden konnten, sind in der rechten Grafik die Proben als gepunktete Linien und Vierecke dargestellt. Die Grösse des Vierecks stellt die Anzahl Bodenproben im Verhältnis zueinander dar.

Humusform X pH Unterboden und Tiefe Kalkgrenze

Ein leichter Unterschied des pH Unterboden sowie der Kalkgrenzentiefe kann zwischen den Klassen 1 und 2 (L- und F-Mull) mit 3 und 4 (mullartiger und typischer Moder) ausgemacht werden (siehe **Abb. 10**). Die weniger zersetzten moderartigen Humusformen kommen hauptsächlich auf saureren Böden mit tiefer Kalkgrenze vor. Dies zeigt, dass durch die fortgeschrittene Versauerung des Bodens, die Bodenaktivität und somit die Umsetzung der organischen Substanz verringert ist. Hingegen können sich auch Mullaufgaben auf Böden mit tiefer Kalkgrenze ausbilden. Anzumerken ist, dass nur zehn Bodenproben einen Moder (Klasse 3 oder 4) aufweisen und die Stichprobe in dieser Teilmenge damit sehr klein ist.

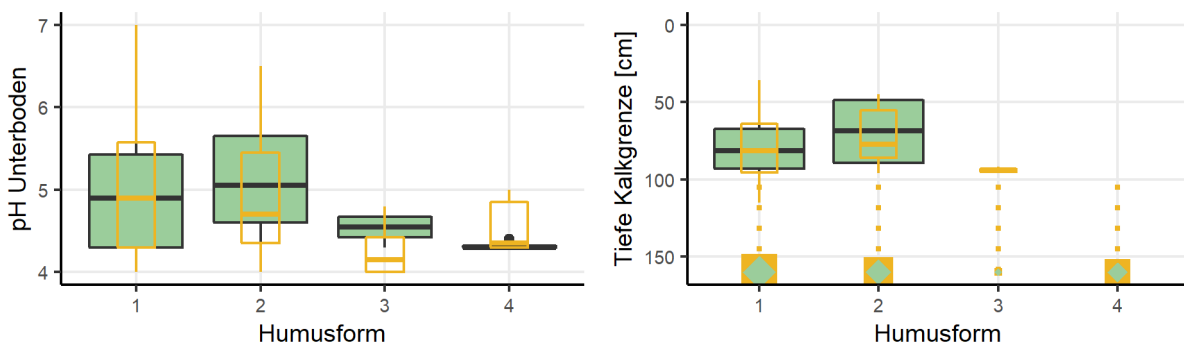


Abb. 10: Beziehung zwischen Humusform und pH Unterboden (links) sowie Tiefe Kalkgrenze (rechts).
Orange: Alle Bodenproben (n = 48), grün: nur Bodenproben auf Wümm (n = 36). Da nicht alle Kalkgrenzen-Tiefen bestimmt werden konnten, sind in der rechten Grafik die Proben als Strichpunkte und Vierecke dargestellt. Die Grösse des Vierecks stellt die Anzahl Bodenproben im Verhältnis zueinander dar.

Hydromorphe Merkmale X pH Unterboden und Tiefe Kalkgrenze

Wenn hydromorphe Merkmale vorhanden sind, ist der pH Unterboden sowie die Kalkgrenze relativ hoch (siehe **Abb. 11**). Hydromorphe Merkmale entstehen durch periodische Vernässung durch eine erhöhte Wasserzufuhr, was eine hohe Basenversorgung mit sich bringt, z.B. bei einem Gley. Weiter können sie durch eine periodische Vernässung aufgrund einer tonigen Stauschicht verursacht werden. Hierbei könnte der hohe Tongehalt in der Stauschicht zu einer erhöhten Basizität führen. Auch hier ist anzumerken, dass nur zwei Bodenproben in die Klasse 6 und vier Bodenproben in die Klasse 2 eingeteilt wurden.

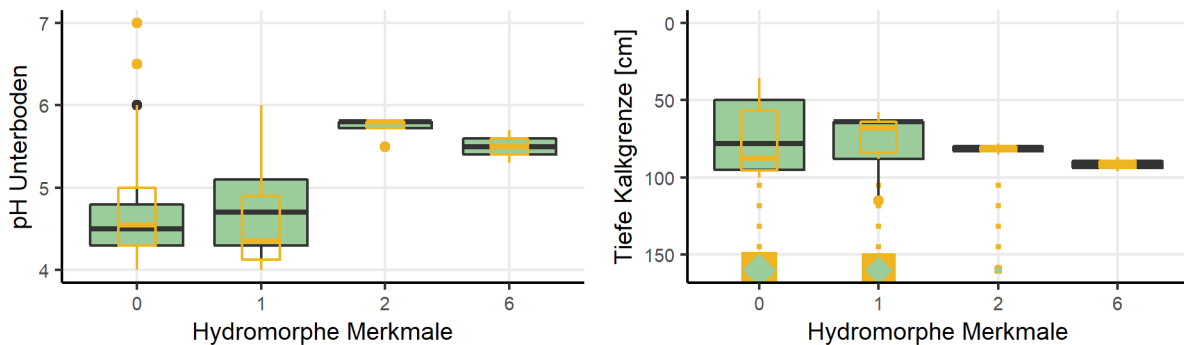


Abb. 11: Beziehung zwischen Humusform und pH Unterboden sowie Tiefe Kalkgrenze.

Orange: Alle Bodenproben ($n = 48$), grün: nur Bodenproben auf Wümm ($n = 36$). Da nicht alle Kalkgrenzen-Tiefen bestimmt werden konnten, sind in der rechten Grafik die Proben als Strichpunkte und Vierecke dargestellt. Die Grösse des Vierecks stellt die Anzahl Bodenproben im Verhältnis zueinander dar.

Gründigkeit X pH Unterboden und Tiefe Kalkgrenze

Bei den flachgründigsten Böden (4) liegt der pH relativ hoch, jedoch handelt es sich hier nur um zwei Bodenproben, die beide ein sandiges, kalkhaltiges Ausgangsgestein aufwiesen. Ansonsten gibt es keinen Zusammenhang zwischen dem pH Unterboden und der Gründigkeit. Auch die Gegenüberstellung mit der Kalkgrenztiefe zeigt keinen Zusammenhang.

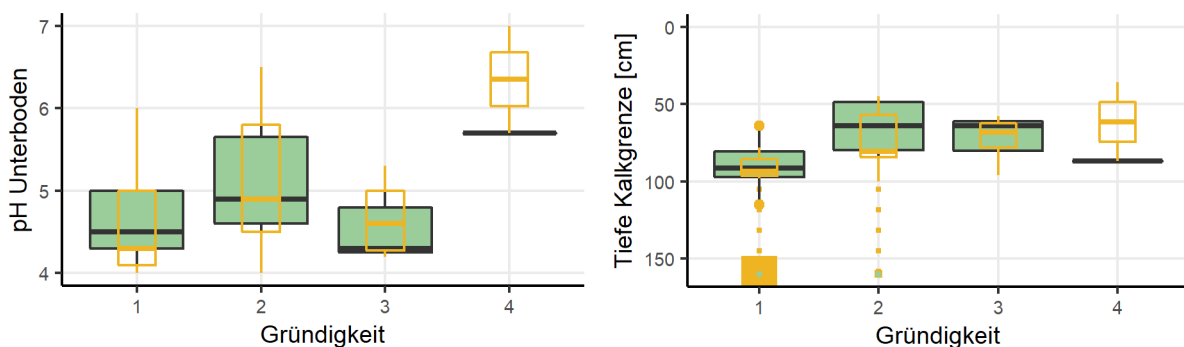


Abb. 12: Beziehung zwischen Humusform und pH Unterboden sowie Tiefe Kalkgrenze.

Orange: Alle Bodenproben ($n = 48$), grün: nur Bodenproben auf Wümm ($n = 36$). Da nicht alle Kalkgrenzen-Tiefen bestimmt werden konnten, sind in der rechten Grafik die Proben als Strichpunkte und Vierecke dargestellt. Die Grösse des Vierecks stellt die Anzahl Bodenproben im Verhältnis zueinander dar.

4 Folgerungen

4.1 Allgemein

Folgende allgemeine Hypothesen lassen sich zu den Bodenfaktoren auf Würmstandorten formulieren:

- Würmmoräneböden mit Edelkastanien-Vorkommen unterscheiden sich hinsichtlich der untersuchten Bodenfaktoren relativ stark.
- Es gibt Würmmoräneböden, bei denen die Bedingungen für Edelkastanien optimal und ähnlich wie auf Böden über anderen geologischen Untergründen sind. Bei solchen Böden liegt die Kalkgrenze sehr tief, der pH ist im gewünschten Bereich und die Feinerdekörnung ist sandig-lehmig.
- Es gibt vitale Edelkastanienvorkommen auf Würmmoräneböden mit relativ hoher Kalkgrenze. Auch auf Böden mit anderen geologischen Unterlagen wie Süswassermolassen kommen Edelkastanien trotz hoch liegender Kalkgrenze vor.

4.2 Bodenfaktoren als Kriterium für Standortseignung

Folgende spezifische Hypothesen lassen sich aufgrund der Ergebnisse zur Wirkung von Bodenfaktoren auf das Vorkommen von Edelkastanie auf Würmstandorten formulieren:

- Ein pH-Wert zwischen 4.5 und 6.5 als Kriterium für Edelkastanien-Pflanzungen dürfte auch auf Würmmoräneböden geeignet sein, jedoch sollten zusätzliche Bodenfaktoren (Kalkgrenztiefe, Feinerdekörnung) miteinbezogen werden.
- Es besteht nur eine schwache Korrelation zwischen pH und Kalkgrenztiefe, da der Umbruch des pH-Werts von oberhalb zu unterhalb der Kalkgrenze nicht graduell, sondern sprunghaft abnimmt. Deshalb kann mit dem Stichel (erreichbare Tiefe meist um 50 cm) und dem pH nicht grundsätzlich auf die Tiefe der Kalkgrenze geschlossen werden.
- Eine Kalkgrenze oberhalb von 100 cm und somit das Vorhandensein von freiem Kalk im Boden ist kein Ausschlusskriterium für Edelkastanien. Auch vitale, dicke Bäume haben teilweise eine Kalkgrenze über 100 cm. Dabei sollten die Böden lehmig, nicht vernässt und eine mullartige Humusform aufweisen.
- Die Kalkgrenze sollte bei mindestens 70 cm aber besser tiefer liegen. Bei vereinzelt Bäumen liegt die Kalkgrenze sogar im Bereich von 50 cm. Diese Probestämme sind aber noch relativ jung. Hier ist wahrscheinlich relevant, dass der Bodenbereich oberhalb der Kalkgrenze mit ausreichend Wasser und Nährstoffen versorgt ist, weshalb eine geringe Durchwurzelungstiefe ausreichend ist.
- Problematisch sind sandige Böden mit hoher Kalkgrenze, da die Nährstoff- und Wassererschliessung für die Edelkastanie im Bereich oberhalb der Kalkgrenze zu gering ist. Bei sandigen Böden sollte die Kalkgrenze also wesentlich tiefer als 70 cm liegen.
- Lehmige Böden sind für Edelkastanien wahrscheinlich am geeignetsten. Die Kalkgrenzen-Tiefe und der pH-Wert können auf lehmigen Böden mit Edelkastanien-Vorkommen stark variieren.
- Tonige Böden sind dagegen weniger geeignet, sei dies aufgrund von (zu) vielen Basen, einer eher hoch liegenden Kalkgrenze oder evtl. einem erhöhten Risiko von Vernässung.

4.3 Bezug zur Standortskunde

Gemäss bisherigen Erkenntnissen wird die ökologische Nische der Edelkastanie im schwach sauren bis stark sauren und im frischen bis trockenen Bereich angegeben (siehe **Abb. 13**). Der Produktionsstandortsbereich der Edelkastanie ist auf wüchsigen basenarmen Buchenwäldern: Waldmeister-Buchenwald (7a, 7b, 7c, 7d) und Waldmeister-Buchenwald mit Hainsimse (6). Diese bisherigen Erkenntnisse können mit vorliegendem Forschungsprojekt gefestigt werden. Die Vorkommen auf basischen Standorten erstaunen und es fragt sich, ob die Grenze der ökologischen Nische oder der Produktionsstandort tiefer in den basischen Bereich des Ökogramms gezogen

werden könnte. Da es sich bei den drei Vorkommen im stark basischen Bereich um Böden über Süsswassermolasse handelt, könnte der geologische Untergrund für eine mögliche Verschiebung der Grenze ein zusätzliches Kriterium sein. Die Stichprobe ist jedoch relativ klein, weshalb weitere Exemplare auf solchen basischen Molasse-Standorten untersucht werden müssten. Vorerst sollte also der Standortsbereich nicht erweitert werden.

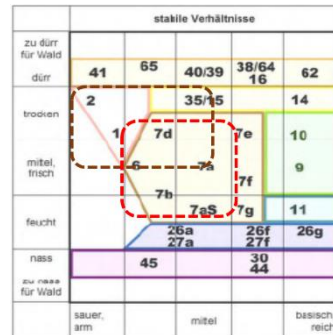


Abb. 13: Ökogramm mit ökologischer Nische (blau) und Produktionsstandort (rot) der Edelkastanie

4.4 Fazit

Es kann aufgrund der Ergebnisse und Hypothesen die bisherige grobe Faustregel für eine Pflanzung von Edelkastanie auf Würm-Standorten wie folgt präzisiert werden, dass anhand mindestens 5 Bodenproben von mindestens 70 cm Tiefe a) der pH des Unterbodens unter 6.5, besser unter 6.0 liegen, b) die Kalkgrenze unter 70 cm liegen und c) der Boden lehmig und nicht sandig oder tonig sein sollte.

4.5 Ausblick

Ein schon mehrfach erwähnter, aber nicht weiter untersuchter, möglicherweise wichtiger Bodenfaktor für das Vorkommen der Edelkastanie ist die Kalium- und Phosphorverfügbarkeit. Edelkastanien benötigen für das Wachstum ausreichende Mengen beider Nährstoffe. Durch die Verwitterung von kalkhaltigem Gestein werden vor allem Calciumionen freigesetzt, jedoch kaum Kaliumionen. Die Calciumionen können aufgrund ihrer Wertigkeit zudem besser an die Kationenaustauschplätze gelangen und sind somit eher für die Pflanzen verfügbar. Phosphor hingegen ist bei einem pH zwischen 6 und 7 am besten verfügbar. Um Klarheit über einen möglichen Zusammenhang zu bekommen, wurden in Ergänzung zum vorliegenden Forschungsprojekt im Auftrag der ETH die Bodenproben gesammelt und Laboranalysen auf Kalium und Phosphor veranlasst. Die Ergebnisse dazu können im März erwartet werden.

Die extremen Fälle von vitalen Bäumen bei relativ hohem pH im Unterboden (6.5) und hoher Kalkgrenze (50 cm) werfen die Frage auf, wie sich die Wurzeln der Edelkastanien im kalkhaltigen Bereich des Bodens entwickeln. Die Probeebäume Nr.4 und Nr.11 mit zwei unterschiedlichen Bodenproben lassen vermuten, dass die Wurzeln kalkhaltigen Schichten ausweichen können und sich das Wurzelwachstum bei einer hohen Kalkgrenze und ausreichender Wasser- und Nährstoffversorgung in den oberen Bodenschichten ähnlich wie auf flachgründigen Böden flachwurzeln verhalten könnte.

Für die forstliche Praxis stellen sich zudem Fragen zum Wachstum und zur waldbaulichen Behandlung von Edelkastanien auf verschiedenen Böden. Es fragt sich, welchen Einfluss basische Böden auf das Wachstum haben. Zum Beispiel wäre zu klären, ob eine geringere Wurzeltiefe aufgrund einer hoch anstehenden Kalkgrenze eine erhöhte Anfälligkeit auf Trockenheitsereignisse mit sich bringt. Solche Wachstumsschwankungen erhöhen die Anfälligkeit auf Ringschäligkeit. Bisher wurde das Wachstum für 14 Standorte auf der Alpennordseite in einer Masterarbeit von Muheim (2020) untersucht, müsste aber durch weiterführende eingehende Wachstumsanalysen der vorliegenden oder anderer Probeebäume auf Würmstandorten ergänzt werden.

5 Organisatorisches

5.1 Aufwand

In Tab. 3 ist der geleistete Aufwand in Personenarbeitstagen (PAT) und die daraus folgenden Kosten aufgeführt. Ein PAT umfasst 8 Stunden und wird mit einem Ansatz von 800 CHF verrechnet.

Tab. 3: Aufwand in Personenarbeitstagen (PAT) und Kosten CHF für die erbrachten Leistungen.

Leistungen	Aufwand (PAT)	Kosten (CHF)
Personalaufwand	24	19'200
Projektskizze	2.25	1'800
Vorbereitungen	3.75	3'000
Feldarbeit	8	6'400
Auswertung	4.5	3'600
Bericht	5.5	4'400
Spesen und Material	-	745
Material	-	100
Automiete	-	445
Verpflegung	-	200
TOTAL	24	19'945

5.2 Finanzierung

Für die Umsetzung wurden seitens des BAFU, Abt. Wald 15'200 CHF in Aussicht gesprochen und wie folgt verwendet. Die zusätzlich angefallenen Kosten von 4'745 CHF werden von der ETH, Professur Waldökologie, Gruppe Dendrologie gedeckt.

Tab. 4: Finanzierung der Leistungen aufgeteilt nach Budget BAFU und Budget ETH.

Leistungen	Budget BAFU	Budget ETH
Personalaufwand	15'200	4'000
Projektskizze	-	1'800
Vorbereitungen	3'000	-
Feldarbeit	6'400	-
Auswertung	3'600	-
Bericht	2'200	2'200
Spesen und Material	-	745
Material	-	100
Automiete	-	445
Verpflegung	-	200
TOTAL	15'200	4'745

5.3 Dank

Wir danken allen Beteiligten für die Unterstützung des Forschungsprojekts. Ein grosses Dankeschön gilt der Abteilung Wald des BAFU, für die massgebliche finanzielle Unterstützung, und Pierre Alfter, dem Projektbegleiter des BAFU für das Interesse und die Vermittlung. Ebenfalls danken wir Bodenspezialist Stephan Zimmermann (WSL), der uns in verschiedenen Fragen unterstützt und für die Bodenansprachen benötigtes Feldmaterial ausgeliehen hat. Weiter danken wir allen Förstern für die Erlaubnis zur Durchführung der Feldarbeit und für wertvolle Hinweise zu den Edelkastanien-Vorkommen, namentlich Reto Bless (Kaltbrunn), Stefan Bottlang (Hüttwilen), Stefan Burch (Hinwil), Urs Bühler (Pfyn), Markus Byland (Würenlos), Pascal Epper (Tägerwilen), August Erni (Dietlikon), Simon Eriksson (Ossingen), Jakob Gubler (Wagenhausen), Peter Haas (Leuggern), Thomas Kuhn (Bülach), Leonz Küng (Bremgarten), Sebastian Lanker (Goldach), Pius Moser (Baden), Peter Rieser (Unterengstringen), Marco Schmuki (Oberrieden), Ulrich Wanderon (Reinach).

6 Referenzen

- AG Forsteinrichtung. (2003). Forstliche Standortsaufnahme: Begriffe, Definitionen, Einteilungen, Kennzeichnungen, Erläuterungen. Eching bei München: IHW-Verlag.
- BGS. (1993). Texture du sol – Modification du triangle textural SSP de 1979. BGS Bulletin 17, 103-108.
- Kanton Zürich. (2019). Waldbau im Klimawandel mit Vertiefung Edelkastanie. Amt für Landschaft und Natur, Abteilung Wald: Kursunterlagen, Referenten Andreas Rudow und Geri Kaufmann.
- Muheim, L. (2020). Das Wachstum der Edelkastanie auf Waldstandorten der Schweizer Alpennordseite . Masterarbeit, ETH Zürich.
- Rudow, A., & Borter, P. (2009). Verbreitung Edelkastanie Schweizer Alpennordseite. Projektdokumentation. Sortenerhaltung Edelkastanie Alpennordseite (BLW, NAP 03-20), SEBA-Befragungsdaten 2007-2009.
- swisstopo. (2005). Geologische Karte der Schweiz 1:500000.
- swisstopo. (2019). Geologischer Atlas der Schweiz, 1:25'000.

7 Anhang

Tab. 5: Rohdaten der Bodenvariablen.

CODE	PH_AHO	PH_BHO	KALK	BODA	HUM	HYDR	GRUN
01a	4.5	4.3	88	6	1	1	1
01b	4.1	4.3	78	7	1	0	1
02a	4	4.5	> 100	5	2	0	1
02b	4.1	4.3	> 100	5	2	0	1
03a	4.5	5.3	95	6	1	0	1
03b	4.3	5	98	6	1	0	1
04a	6	6	100	6	1	0	2
04b	6	7	36	6	1	0	4
05a	4.5	4.2	64	6	1	1	3
05b	4.3	4.3	58	6	1	1	3
06a	4	4.5	> 120	5	1	0	2
06b	4	4.8	> 150	5	2	0	2
07a	6	5.5	> 130	6	2	1	2
07b	5.8	5.4	> 100	6	1	1	2
08a	4.1	4.3	> 150	4	3	0	1
08b	4	4.8	> 100	4	3	0	1
09a	4.5	4.3	> 130	4	1	0	2
09b	4.5	4.1	> 100	4	1	0	2
11a	4.9	4	115	7	1	1	1
11b	5.6	6	64	7	1	1	1
12a	4.2	4	83	6	2	0	2
12b	4.2	4.9	72	6	2	1	3
13a	4.8	4	> 150	6	1	1	1
13b	4.5	4	> 100	6	1	1	1
14a	4.1	4.1	> 150	6	2	1	1
14b	4.1	4.1	> 100	6	2	1	1
15a	4.1	4.7	> 100	6	1	1	2
15b	4.3	4.9	> 100	6	1	1	2
16a	5	5.1	> 100	6	1	1	2
16b	4.9	4.9	> 100	6	1	1	2
17a	6.5	5.5	> 100	5	1	2	1
17b	5.6	5.8	> 100	6	1	2	1
18a	4.1	5.7	87	8	2	6	4
18b	4	5.3	96	8	2	6	3
19a	4.3	5.8	85	7	1	2	2
19b	5	5.8	78	7	1	2	2
20a	4	4	96	6	3	0	1
20b	4	4	92	6	3	0	1
21a	4	4.4	> 100	5	4	1	2
21b	4	4.3	> 140	5	4	1	1
22a	4	4.3	> 100	4	4	0	1
22b	4	4.3	> 100	4	4	0	1
23a	3.8	5	> 100	4	4	0	1
23b	4.1	5	> 100	4	4	0	1
24a	4	4.6	> 100	5	2	0	1
24b	3.9	4.6	> 100	5	2	0	1
25a	4.3	6.5	45	6	2	0	2
25b	4.2	6	50	6	2	0	2

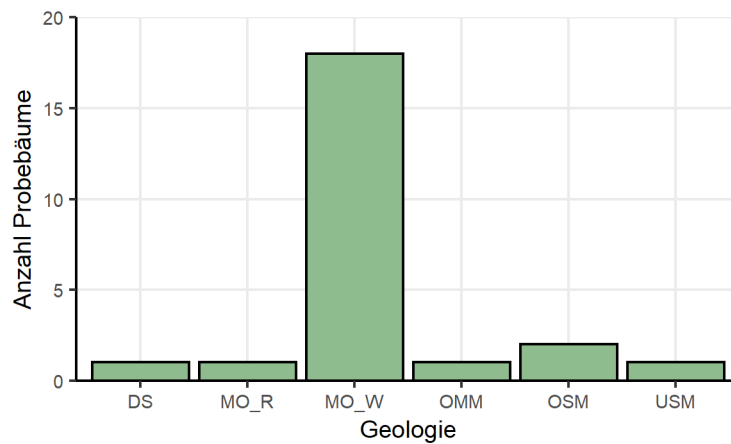


Abb. 14: Verteilung des geologischen Untergrunds (Geologie) der Probabäume.

DS = Deckenschotter, MO_R = Rissmoräne, MO_W = Würmmoräne, OMM = Obere Meeresmolasse, OSM = Obere Süsswassermolasse, USM = Untere Süsswassermolasse.

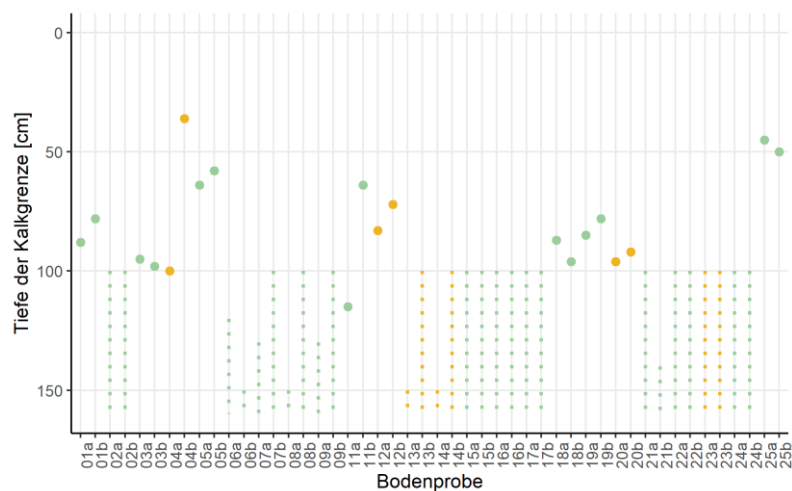


Abb. 15: Tiefen der Kalkgrenze der Bodenproben.

Bei den Bodenproben mit gepunkteten Linien wurde die Kalkgrenze mit dem Bohrstock Typ 1 m oder Typ 1.50 m nicht erreicht. Grüne Punkte sind Bodenproben mit Würmmoräne als geologischen Untergrund und orange Punkte sind Bodenproben mit anderem geologischen Untergrund.