

Wachstumspotential der Birke im Schweizer Mittelland

Peter Ammann, WALD+BAUm

27.11.2020



Abbildung 1: 60jährige Birke im Wald der OBG Gebenstorf AG – eine Seltenheit (links). 18jähriger Birkenbestand in einem Privatwald in Aristau AG (rechts).

Gemäss Forschungsvertrag 19.0051.PJ / 90A5D5529 zwischen dem Bundesamt für Umwelt BAFU und WALD+BAUm, Dr. Peter Ammann, Forsting. ETH, Tüelenweg 2, 5727 Oberkulm.

Publikation im Internet: http://www.waldbau-sylviculture.ch/60_publica_d.php

Inhalt

1	Einleitung.....	3
1.1	Bedeutung der Birke.....	3
1.2	Eine Baumart mit Imageproblemen	4
1.3	Zielsetzung.....	4
1.4	Waldbau-Literatur zur Birke	5
2	Methodik und Datengrundlage.....	5
3	Ergebnisse – Zuwachspotential der Birke.....	7
3.1	Flächenproduktivität	7
3.2	Höhenwachstum	11
3.3	Durchmesserwachstum.....	13
3.4	Kronenlänge	15
3.5	Schlankheitsgrad	16
3.6	Birkenbestände als Vorwald.....	17
4	Folgerungen für Waldbaukonzepte.....	18
5	Dank.....	20
6	Literatur.....	21

1 Einleitung

1.1 Bedeutung der Birke

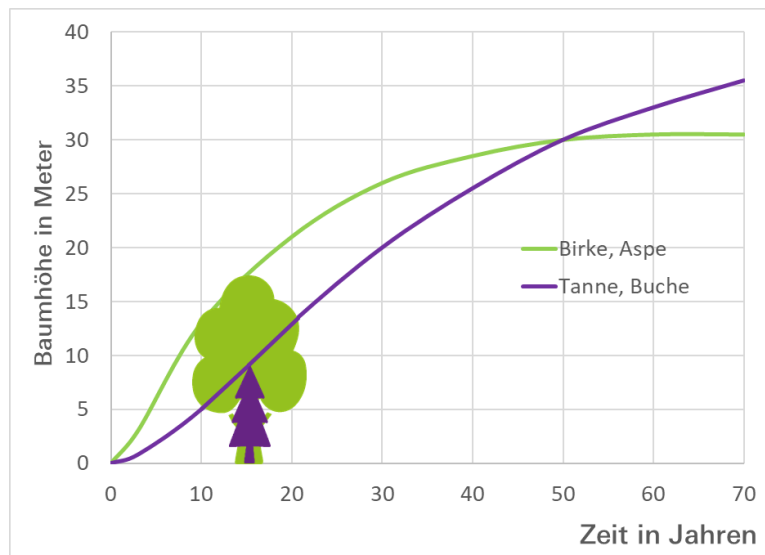
Die Hängebirke (*Betula pendula*), nachfolgend Birke genannt, hat ein grosses Zuwachspotential, speziell in der Jugend. Dies betrifft sowohl Baumhöhe, als auch Durchmesser. Damit ist die Birke in der Lage, rasch Waldleistungen zu erbringen. Die Fähigkeit, hohe Durchmesser in kurzer Zeit zu produzieren, ist interessant für alle Waldfunktionen:

Holzproduktion: Birke erreicht rasch nutzbare Dimensionen.

Erholung: Dicke Bäume werden geschätzt (diese fehlen auf Störungsflächen).

Biodiversität: Bäume mit starken Dimensionen sind im Allgemeinen wertvoller für die Biodiversität. Bereits ab rund 20 Jahren bildet die Birke eine strukturreiche raue Borke im Stammfussbereich aus.

Naturgefahren: Speziell im Steinschlagschutzwald sind nach Störungen rasch hohe Durchmesser gefordert.



Das rasche Erreichen von Waldleistungen durch Birke und durch Pionierbaumarten generell wurde in der Broschüre «Waldbewirtschaftung im Klimawandel - Haltung der Abteilung Wald» (AMMANN, ARNET, BIENZ und DIETIKER 2019) symbolisch visualisiert (Abb. 2). Die Angaben zum Höhenwachstum basierten noch nicht auf einer fundierten Datengrundlage, sind aber durchaus realistisch, wie die vorliegende Arbeit beweist. Wichtig war der Unterschied zu den Hauptbaumarten.

Abbildung 2: Höhenwachstum von Pionierbaumarten im Vergleich.

Nebst diesen Vorteilen, welche direkt mit dem schnellen Wachstum zu tun haben, hat Birke weitere Vorzüge:

Holzproduktion

- Einfache, kostenlose Naturverjüngung
- Kaum Pflegekosten, natürlicher Höhenvorsprung gegenüber den meisten Mischbaumarten
- Gute Holzeigenschaften, hoher Energiegehalt
- Positiv für die Bodenfruchtbarkeit dank sehr leicht abbaubarer Streu
- Dient oft als natürlicher Vorbau, sehr lichtdurchlässig, davon profitieren viele wertvolle Baumarten

Erholung

- Schöne Waldbilder mit der ausgeprägt weissen Rinde (vgl. Abb. 1) und der gelben Herbstfärbung

Biodiversität

- Eine Vielzahl von Arten profitieren von Birke oder sind sogar exklusiv auf Birke angewiesen
- Es fällt aufgrund der Konkurrenzschwäche und kurzen Lebensdauer schon relativ bald wieder Totholz an

Naturgefahren

- Der meist lockere bis lückige Vorwald von Birke verhindert ein einschichtiges Aufkommen von Fichte in Gebirgswäldern und fördert dadurch kostenlos stufige Strukturen (AMMANN, ARNET und FELDER, 2014; GEISER 2019; GUGGISBERG, IMHOF, AMMANN und FREHNER 2020).

Aufgrund des Klimawandels nimmt die Bedeutung der Birke stark zu. Einerseits gibt es vermehrt Störungsflächen zu besiedeln, wobei für die Birke ideale Bedingungen herrschen. Zum zweiten wird die Birke als Zukunftsbaumart gehandelt mit grosser ökologischer Amplitude; ihre Grenzen bezüglich Trockenheit und Wärme liegen bei Jahresniederschlag 400mm und Jahresmitteltemperatur 13°C (FVA 2017). Die Birke erfüllt -wie weitere Pionierbaumarten auch- folgende Adaptationsprinzipien (BRANG, KÜCHLI, SCHWITTER, BUGMANN und AMMANN 2017) ideal und ist damit prädestiniert, eine wichtige Rolle in unseren Wäldern einzunehmen:

Prinzip 1: Erhöhung der Baumartenvielfalt

Prinzip 2: Erhöhung der Strukturvielfalt

Prinzip 5: Reduktion der Umtriebszeit

1.2 Eine Baumart mit Imageproblemen

Die Birke hat zu Unrecht ein schlechtes Image. Sie wurde früher als minderwertig angesehen und deshalb verbreitet flächig bekämpft. Mit ein Grund dafür war das «Märchen», dass Birken die Kronen ihrer Nachbarbäume «peitschen». Diese weit verbreitete Ansicht stammt aus einer Zeit, in der jeder Quadratmeter Waldfläche für «Wertholzproduktion» genutzt wurde und auch bereits Fichten mit BHD 10cm als «Wertträger» galten. Ältere Birken im Wald sind eine Rarität. Seit dem Sturm Lothar hat die Verbreitung von Birken etwas zugenommen. Dies hat auch mit den Veränderungen in der Jungwaldpflege zu tun: Biologische Rationalisierung führt dazu, dass im unbehandelten Füllbestand Raum bleibt für natürliche Abläufe und generell weniger früh eingegriffen wird. Trotzdem wurde kaum je konsequent und langfristig auf Birke gesetzt, so dass das eigentliche Zuwachspotential kaum ausgeschöpft wurde bzw. gar nicht erst bekannt ist. Anders ist die Situation im Tessin: Dort sind Birken auf Einwuchsflächen verbreitet vorhanden, jedoch fehlt auch hier eine zielgerichtete Behandlung.

1.3 Zielsetzung

Die vorliegende Arbeit hat zum Ziel, das Potential der Birke in der Schweiz (Mittelland) ertragskundlich zu dokumentieren. Waldbauliche Erkenntnisse sollen in die Herleitung von Produktionskonzepten einfließen. Als Hauptziel sollen Förster und Waldeigentümer überzeugt und motiviert werden, die Vorzüge der Birke besser und gezielter zu nutzen.

1.4 Waldbau-Literatur zur Birke

Als Vergleich zum Wachstumsverlauf und -potential werden Angaben aus der Birken-Ertragstafel LOCKOW (1996) für Nordostdeutschland hinzugezogen. Dabei sind standörtliche und klimatische Unterschiede zu berücksichtigen. Immerhin ist diese Ertragstafel vergleichsweise neu.

Die Erkenntnisse zu Waldbaukonzepten mit Birke stehen in Übereinstimmung mit diversen Autoren aus Mitteleuropa, zur Hauptsache aus Deutschland. Hier hat die Birke in den letzten Jahren vermehrt wieder Beachtung gefunden. Eine kurze Literaturdiskussion erfolgt in Kapitel 4.

An dieser Stelle verdient ein Birkenpionier aus Rheinland-Pfalz unsere Aufmerksamkeit: Adolf Schwalb, 1952 bis 1972 Forstamtsleiter in Blieskastel (zitiert aus WILHELM UND WOLF 2009). Schwalb erkannte in den kriegsgeschädigten Stadtwäldern von Blieskastel die grosse Bedeutung der Birke und bezeichnete sie als «Waldschadensversicherung». Er schätzte sowohl die Vorwaldfunktion, aber auch die eigene Wertleistung der Birke. Sein Bekenntnis zur Birke als Wertholz rief Unverständnis, Spott und sogar Feindseligkeit hervor. Schwalb förderte entgegen dem Zeitgeist einzelne Birken früh und stark und «opferte» dafür Bäume sogenannt «massenzuwachststärkerer» Baumarten wie z.B. Buche oder Fichte. Er liess Birken auch wertasten. Als man ihm die Mittel dazu entzog, führte er die Wertastungen höchstpersönlich aus. 2009 existierten dank Adolf Schwalb im Stadtwald Blieskastel grosskronige, 50-70jährige Birken mit BHD von z.T. über 60cm und Baumhöhen von über 30m Gemäss WILHELM und WOLF (2009) erreichten diese Holzerlöse (Erntekosten schon abgezogen) von über 200 Euro/Fm für Messerfurniere, über 65 Euro/Fm für Sägeholz und 10 Euro/Fm für Brennholz.

2 Methodik und Datengrundlage

Für die Datenerhebung wurden Bestände mit hohem Birkenanteil (Flächenaufnahmen) sowie Bestände mit einzelnen Birken (Einzelbaum-Aufnahmen) gesucht. Die meisten Birken konnten auf Lotharflächen gefunden werden, welche heute (Ende 2020) 21 Jahre alt sind (oder etwas jünger bei Folgeschäden durch Borkenkäfer). Ältere Bestände sind sehr selten und waren entsprechend schwierig zu finden. Auch jüngere Bestände waren nicht einfach zu finden. Hier wurde im westlichen Kanton Aargau gezielt nach Schadenflächen des Gewittersturms vom 13.07.2011 gesucht. Einzelne Daten konnten der Diplomarbeit Wagnière (1996) und der Masterarbeit Imhof (2020, auf denselben Flächen) sowie der Bachelorarbeit Geiser (2019) entnommen werden. Auffällig viele der Bestände wurden nie gepflegt, darunter diverse Lotharflächen.

Eine Übersicht der verwendeten Bestände für Einzelbaum-Daten gibt Tabelle 1 (in den obersten 11 Beständen war auch eine Flächenaufnahme möglich, siehe Tabelle 2). Es wurden an total 112 Birken der Durchmesser (BHD auf 1.3m Höhe) im Herbst 2020 gemessen. Dabei wurden immer 2 BHD rechtwinklig zueinander gemessen und gemittelt. Für die 106 Birken auf Aargauer Territorium wurde die genaue Position mittels GPS bestimmt. Daraus konnte mit Hilfe der LiDAR-Vegetationshöhenkarten vom Juli 2014 und April 2019 zwei exakte Baumhöhen hergeleitet werden. Für 68 Birken wurde zusätzlich die aktuelle Baumhöhe (Herbst 2020) und der Kronenansatz mit dem Vertex-Baumhöhenmesser gemessen.

Aus den erwähnten Studenten-Arbeiten konnten BHD und Baumhöhe einzelner Bäume bzw. Oberhöhen von Beständen verwendet werden. Diese Standorte unterscheiden sich stark von den sonstigen

Mittelland-Verhältnissen. Insbesondere der Bestand im Tujetsch bietet extreme Verhältnisse. Die Datenbasis ist hier zu gering für verlässliche Aussagen, trotzdem ergeben sich Hinweise für höhere Lagen.

Bezeichnung	Standort	Höhe m	Hang- neigung	Expo- sition	Alter y	Behandlung
Aristau Privatwald AG	7d	440	10%	NW	18	gepflegt
Wiler Utzenstorf 1 BE	7c	460	0%		21	nie gepflegt
Wiler Utzenstorf 2 BE	7c	460	0%		21	nie gepflegt
Baden Baregg AG	6a	510	10%	W	21	nie gepflegt
Baden Zürieich 1 AG	6a	520	10%	W	21	nie gepflegt
Baden Zürieich 2 AG	6a	520	10%	W	21	nie gepflegt
Baden Müseren Mitte AG	7aa	550	0%		21	nie gepflegt
Habsburg Galgehübel AG	7aa	430	0%		21	nie gepflegt
Aarau Bierweg AG	7aa/7b/7aS	410	0%		28	gepflanzt, gepflegt
Baden Müseren Süd AG	7aa	550	0%		30	wenig gepflegt
Kölliken Walis 1983 AG	7c	470	20%	Nord	37	gepflegt
Kölliken Walis 1967 AG	7c	480	0%		54	gepflegt
Seon Liebegger Wald AG	7a/8a	580	0-30%	Nord	21	gepflegt
Gebenstorf Hornebni AG	6a/7a	520	10%	SW	60	gepflegt
Uerkheim AG	6a	630	0%		8	gepflegt
Rothrist 631 AG	7c	480	0%		10	gepflegt
Rothrist 633 AG	7c	460	0%		10	nie gepflegt
Rothrist 625 AG	7c	450	0%		10	gepflegt
Prau Nausch Tujetsch GR	55/55*	1550	70%	SE	49	nie gepflegt
Hinter Steibödeli LU	46	1160	30%	NW	29	gepflegt
Steinboden LU	18c	1120	40-70%	NW	34	nie gepflegt

Tabelle 1: Bestände für Einzelbaum-Aufnahmen

Eine Übersicht der verwendeten Bestände für Flächenaufnahmen gibt Tabelle 2 (weitere Informationen wie Standort etc. aus Tabelle 1):

Bestand	Fläche	Alter	Hdom	Ddom	Stamm- zahl Total	Stamm- zahl Birke	Birken- anteil
	Aren	y	m	cm	/ha	/ha	% G
Aristau Privatwald AG	3	18	18.8	20.9	1'367	1'200	97.5
Wiler Utzenstorf 1 BE	2	21	21.3	17.1	2'000	1'000	70.8
Wiler Utzenstorf 2 BE	2	21	19.0	17.1	2'350	1'450	65.8
Baden Baregg AG	3	21	19.2	28.1	1'400	1'167	94.4
Baden Zürieich 1 AG	2	21	17.9	27.6	1'150	750	92.2
Baden Zürieich 2 AG	2	21	18.9	25.6	1'300	750	74.5
Baden Müseren Mitte AG	3	21	19.4	20.3	1'833	1'533	79.9
Habsburg Galgehübel AG	3	21	22.2	30.0	1'033	833	88.1
Aarau Bierweg AG	3	28	23.1	28.5	867	600	82.9
Baden Müseren Süd AG	4	30	27.1	30.3	1'450	450	59.3
Kölliken Walis 1983 AG	6	37	27.8	36.1	1'083	267	56.8

Tabelle 2: Bestände für Flächenaufnahmen

Es standen 11 Flächen mit hohem Birkenanteil von mindestens 55% Grundflächenanteil zur Verfügung. Bei 7 Beständen handelt es sich um Lothar-Sturmflächen, ein Bestand war jünger (Lothar-Folgeschäden durch Borkenkäfer). 3 Bestände waren bereits vor dem Sturm Lothar entstanden.

Auf den 2 bis 6 Aren grossen kreisförmigen Stichprobenflächen wurde eine Vollkluppierung gemacht und daraus Stammzahl, Birkenanteil, vorkommende Baumarten, Grundfläche und Vorrat errechnet. Bei den Oberhöhen-Bäumen wurden die Baumhöhe und der Kronenansatz gemessen. Daraus konnten Oberhöhe, Oberdurchmesser, sowie Schlankheitsgrad und Kronenlänge berechnet werden.

3 Ergebnisse – Zuwachspotential der Birke

3.1 Flächenproduktivität

Bestand	Alter y	Hdom m	Ddom cm	Grund- fläche m ² /ha	Grund- fläche Birke %	G Weich- laubholz %	h/d dom	Vorrat Tfm/ha	dGZ Tfm /ha*y
Aristau Privatwald AG	18	18.8	20.9	19.87	97.5	97.5	90	145.0	8.1
Wiler Utzenstorf 1 BE	21	21.3	17.1	15.77	70.8	84.9	124	138.8	6.6
Wiler Utzenstorf 2 BE	21	19.0	17.1	19.01	65.8	82.5	111	142.6	6.8
Baden Baregg AG	21	19.2	28.1	26.86	94.4	96.1	69	206.8	9.8
Baden Zürieich 1 AG	21	17.9	27.6	25.86	92.2	93.0	65	178.4	8.5
Baden Zürieich 2 AG	21	18.9	25.6	25.58	74.5	74.9	74	189.3	9.0
Baden Müseren Mitte AG	21	19.4	20.3	19.12	79.9	96.1	96	149.1	7.1
Habsburg Galgehübel AG	21	22.2	30.0	34.86	88.1	95.0	74	324.2	15.4
Aarau Bierweg AG	28	23.1	28.5	25.73	82.9	82.9	81	252.1	9.0
Baden Müserern Süd AG	30	27.1	30.3	33.88	59.3	65.4	90	416.7	13.9
Kölliken Walis 1983 AG	37	27.8	36.1	35.33	56.8	56.8	77	452.2	12.2

Tabelle 3: Ertragskundliche Kennzahlen der Birkenbestände

Die Grundflächen erreichten maximal 35 m²/ha. Oft liegen die Grundflächen sogar ausgesprochen tief (Lotharflächen rund 15-25 m²/ha). Zu bemerken ist, dass nicht die gesamte Grundfläche auf Birke entfällt, so speziell bei den beiden ältesten Beständen mit Flächenaufnahme. Bemerkenswert ist der Bestand Habsburg; hier kommt die hohe Grundfläche von knapp 35 m²/ha im erst 21jährigen Bestand aus 88.1% Birke bzw. 95.0% Weichlaubhölzer zustande.

Die Vorräte betragen in Lotharbeständen ca. 140 bis 320 Tfm/ha, können also stark variieren. In den beiden ältesten Beständen werden Werte über 400 Tfm/ha erreicht, hier entfallen allerdings nur 59.3% bzw. 56.8% auf Birke. Der Vorrat wird hier auch tendenziell überschätzt, weil er mittels Oberhöhe (der Birken) berechnet wurde, und die Mischbaumarten meist weniger hoch sind. Auffällig ist erneut der Bestand Habsburg mit 324 Tfm/ha Vorrat im Alter von 21 Jahren.

Der durchschnittliche Gesamalterszuwachs (dGZ) als Quotient aus Vorrat und Bestandesalter liegt bei den jüngeren Beständen zwischen 6.6 und 9.8 Tfm/ha und Jahr – jedoch bei 15.4 Tfm/ha und Jahr im Bestand Habsburg. Die 3 Lotharflächen Utzenstorf 1 und 2 sowie Baden Müseren Mitte fallen wieder auf durch tiefe Werte. Eventuell sind diese tiefen Zuwächse auf verdichtete Böden zurückzuführen. Es

handelt sich jedenfalls um geräumte Lotharflächen. Utzenstorf 1 und 2 sind beide von einer gut sichtbaren ehemaligen Rückegasse tangiert. In den beiden Beständen Baden Zürieich und der Fläche Habsburg wurde das Sturmholz nicht geräumt und demzufolge nach Lothar der Boden nicht mehr befahren. Je älter der Bestand, desto höher der Durchschnittszuwachs: Baden Müseren Süd (13.9 Tfm/ha und Jahr) und Kölliken Walis 1983 (12.2 Tfm/ha und Jahr) haben interessante Zuwächse. Die laufenden Zuwächse sind nicht bekannt – sie müssen aber wesentlich höher sein, weil sie ja die Anfangsjahre ohne nennenswerten Zuwachs kompensieren.

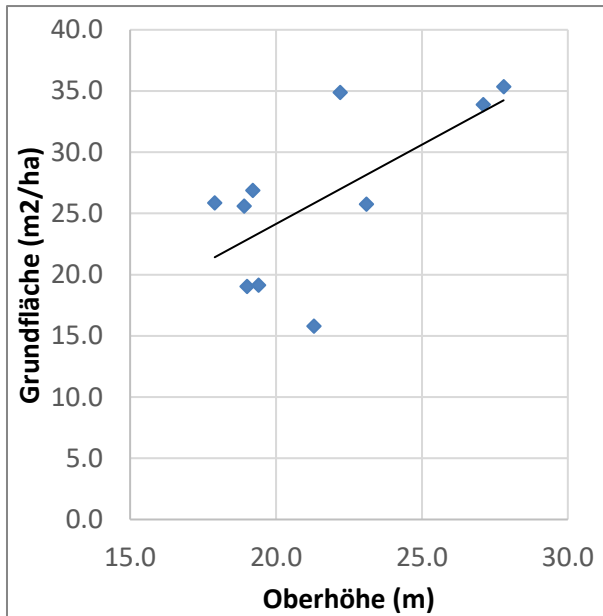


Abbildung 3: Grundfläche in Birkenbeständen

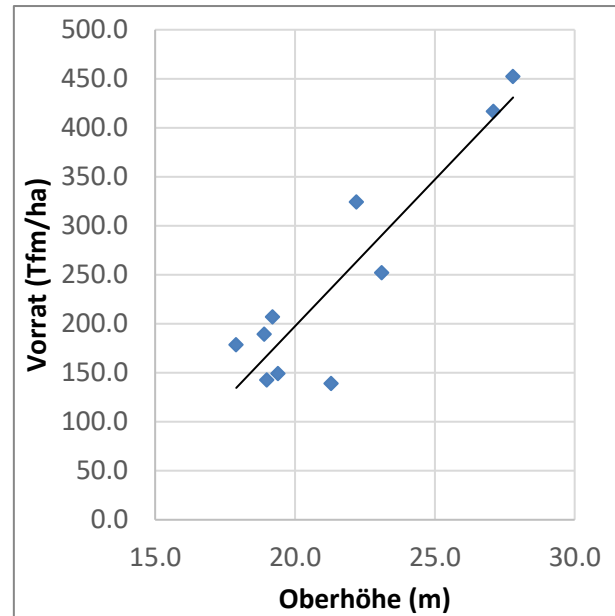


Abbildung 4: Vorrat in Birkenbeständen

Angaben von LOCKOW (1996) zufolge liegt die maximale Grundfläche von Birkenbeständen bester Bonität bei maximal 22.2 m²/ha. Dieser Wert gilt aber für durchforstete Bestände, d.h. die Grundfläche wird bewusst tief gehalten. Die Gesamtwuchsleistung (Summe von Vorrat und Vornutzungen) erreicht gemäss LOCKOW bei Oberhöhe 19.9m einen Wert von 228 Tfm/ha; diese Bestände sind aber dann bereits 25jährig (entspricht etwa den hier untersuchten Lotharflächen mit 21 Jahren).

Bei der besten Bonität von LOCKOW kulminiert der laufende Zuwachs bereits im Alter von 20-25 Jahren auf einem Niveau von 13.5 Tfm/ha und Jahr. Mit 50 Jahren sinkt der laufende Zuwachs auf 7.0, mit 75 Jahren auf 2.5 Tfm/ha und Jahr, um bei 90 Jahren sogar unter 1 Tfm/ha und Jahr zu fallen. Dadurch kulminiert auch der dGZ (Durchschnittszuwachs) sehr früh, nämlich im Alter von 35-40 Jahren auf einem Niveau von 10.0 Tfm/ha und Jahr. Für Massenproduktion, z.B. Energieholz, wäre jetzt der ideal Erntezeitpunkt gekommen (unter Vernachlässigung von Verjüngungsfragen). Über den Zeitraum von 100 Jahren beträgt der dGZ gerade einmal 5.9 Tfm/ha und Jahr – und dies bei bester Bonität. Die Birke ist also für Massenproduktion in der Jugend durchaus interessant, danach lässt sie stark nach. Dies spricht für eine sehr kurze Umtriebszeit, aber auch für einen Waldbau nicht mit reinen Birkenbeständen, sondern mit beigemischter Birke.

Betreffend Holzproduktion wäre speziell der Bestand Habsburg interessant (ddom 30.0cm, Vorrat 324 Tfm/ha im Alter 21). Aber auch Baden Baregg (ddom 28.1cm) und die beiden Bestände Baden Zürieich (ddom 27.6 und 25.6cm) sind im Alter von 21 Jahren bereits interessant, ohne je gepflegt oder durchforstet worden zu sein, und dies erst noch auf dem mässig wüchsigen Standort 6a.

Die Leistungsunterschiede können auch mit dem Standort begründet werden: Bestände auf trocken-saurem Standort (6a) sowie auf sehr sauren Standorten (7*) waren etwas zuwachsschwächer, wobei im Falle von Utzenstorf (7*) zwar die Oberhöhe recht gut war, aber Grundfläche und Oberdurchmesser tief. Dies belegen auch die auffällig hohen Schlankheitsgrade der Oberhöhenbäume. Bei Baden Züriech (6a) war umgekehrt die Oberhöhe tiefer, dafür Grundfläche und Oberdurchmesser höher.

Bestände mit sehr hohem Anteil Birke bzw. Weichlaubhölzer hatten tendenziell tiefere Oberdurchmesser und schlankere Bäume (vor allem Utzenstorf, aber auch Baden Müseren Mitte). Hier waren die meisten Bäume schnellwachsende Birken und deshalb die Konkurrenz sehr hoch in der Oberschicht (vgl. Abb 5 und 6). Dies war auch im Bestand Aarau Bierweg so, aufgrund Pflanzung von Birke und Schwarzerle – also beide schnellwachsend – und zu schwachen Eingriffen.

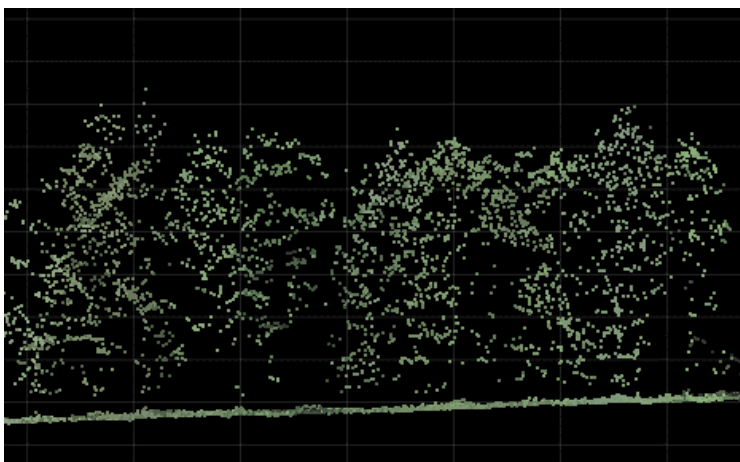


Abbildung 5: 4m breites 3-D-LiDAR-Profil, Bestand Baden Müseren Mitte, 21jährige Lotharfläche. Der hohe Anteil Birke mit etwas Schwarzerle und Salweide führt zu einer einschichtigen Struktur mit hoher Konkurrenz.



Abbildung 6: Bestand Müseren-Mitte

Auf diversen Flächen konnten Birken profitieren von offenen Strukturen (Lücken), welche für Birkenbestände auf Sturmflächen typisch sind (vgl. Abb. 7 und 8). Dies ergab tendenziell dickere Bäume und längere Kronen, aber tiefere Grundflächen und Vorräte (falls die Lücken auch die Stichprobenfläche tangierten).

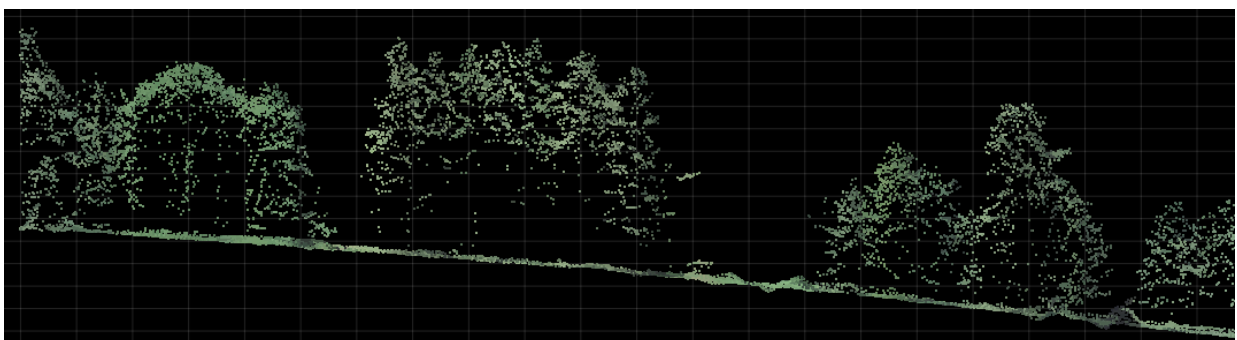


Abbildung 7: 4m breites 3-D-LiDAR-Profil, Bestand Habsburg, 21jährige Lotharfläche. Die Birkengruppe im Zentrum ist höher als die Buchen (darunter Buchenvorwüchse aus dem ehemaligen Nebenbestand) und profitiert von Bestandeslücken (besetzt durch Adlerfarn).



Abbildung 8: Bestand Habsburg, im Hintergrund eine Lücke mit Adlerfarn.

Im Beispiel Habsburg Galgehübel war die Stichprobe voll bestockt, aber von Lücken umgeben (mit einseitig langen Kronen vom Licht der Lücken profitierend). Dieser Effekt erklärt wohl teilweise die sehr hohen Werte für Grundfläche und Vorrat. Eine weitere Begründung ist der gute Standort (beste Oberhöhe der Lotharbestände).

Die dicksten Birken wuchsen aber oft in Einzelmischung mit anderen Baumarten (keine Flächen-, sondern Einzelbaum-Daten; vgl. Abb. 9 und 10). Hier waren Fichte, Tanne, Buche etc. im Höhenwachstum noch deutlich im Rückstand, so dass einzelne Birken auch ohne Eingriffe in der Oberschicht ihre Krone dank Höhenvorsprung gut entfalten konnten. In den älteren Beständen Müseren Süd (hier war auch die Konkurrenz durch Aspe ein Thema) und Kölliken Walis 1983 wurden die Birken dann bereits zunehmend von unten bedrängt durch die Mischbaumarten wie z.B. Buche, Bergahorn, Linde oder Hagebuche.

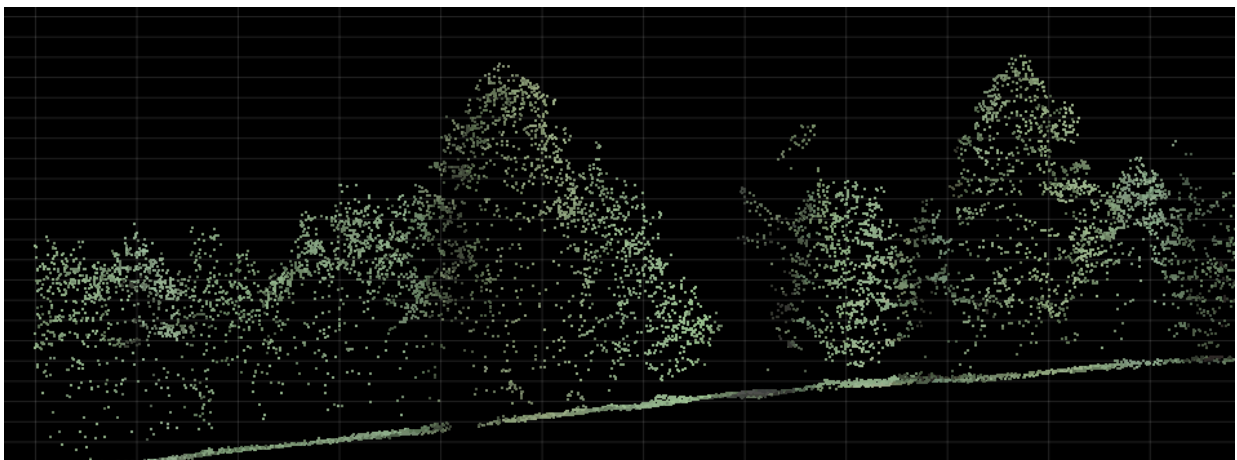


Abbildung 9: 4 Meter breites 3-D-LiDAR-Profil, Bestand Seon, 21jährige Lotharfläche. Zwei vorherrschende Birken ragen deutlich über die Kronenschicht der Hauptbaumarten (vor allem Buchen) hinaus.



Abbildung 10: Vorherrschende Birke in Einzelmischung im Bestand Seon mit langer und bereits sehr breiter Krone. Dadurch ist diese Birke sehr produktiv (BHD 37.5cm, Alter 21 Jahre). Aufgrund der Supervitalität ist die natürliche Astreinigung nicht rechtzeitig erfolgt. Für solche Bäume wäre eine Wertastung nötig, falls Wertholz angestrebt wird.

Die grossen Unterschiede in der Flächenproduktivität lassen sich somit durch Bestandesstrukturen bzw. Mischungsformen, aber auch durch Standortsunterschiede (Wüchsigkeit, ev. Bodenverdichtung) begründen. Für eine fundierte statistisch Analyse sind die 11 Flächen nicht ausreichend.

3.2 Höhenwachstum

Die Auswertung der Baumhöhen aus den LiDAR-Daten von Juli 2014 und April 2019 ergab ein zeitliches Intervall von 4.3 Jahren (es wurde angenommen, dass im Juli 70% des jährlichen Höhenwachstums erreicht sind). Zwischen April 2019 und Herbst 2020 liegen nochmals 2 Vegetationszeiten. Die aus LiDAR hergeleiteten Baumhöhen sind aber deutlich genauer als die Vertex-Messungen von Herbst 2020, speziell für die älteren und höheren Bäume (vgl. Messdaten in Abb. 11). Letztere haben deshalb nur Hinweischarakter; auch ist die 2-Jahresperiode sehr kurz.

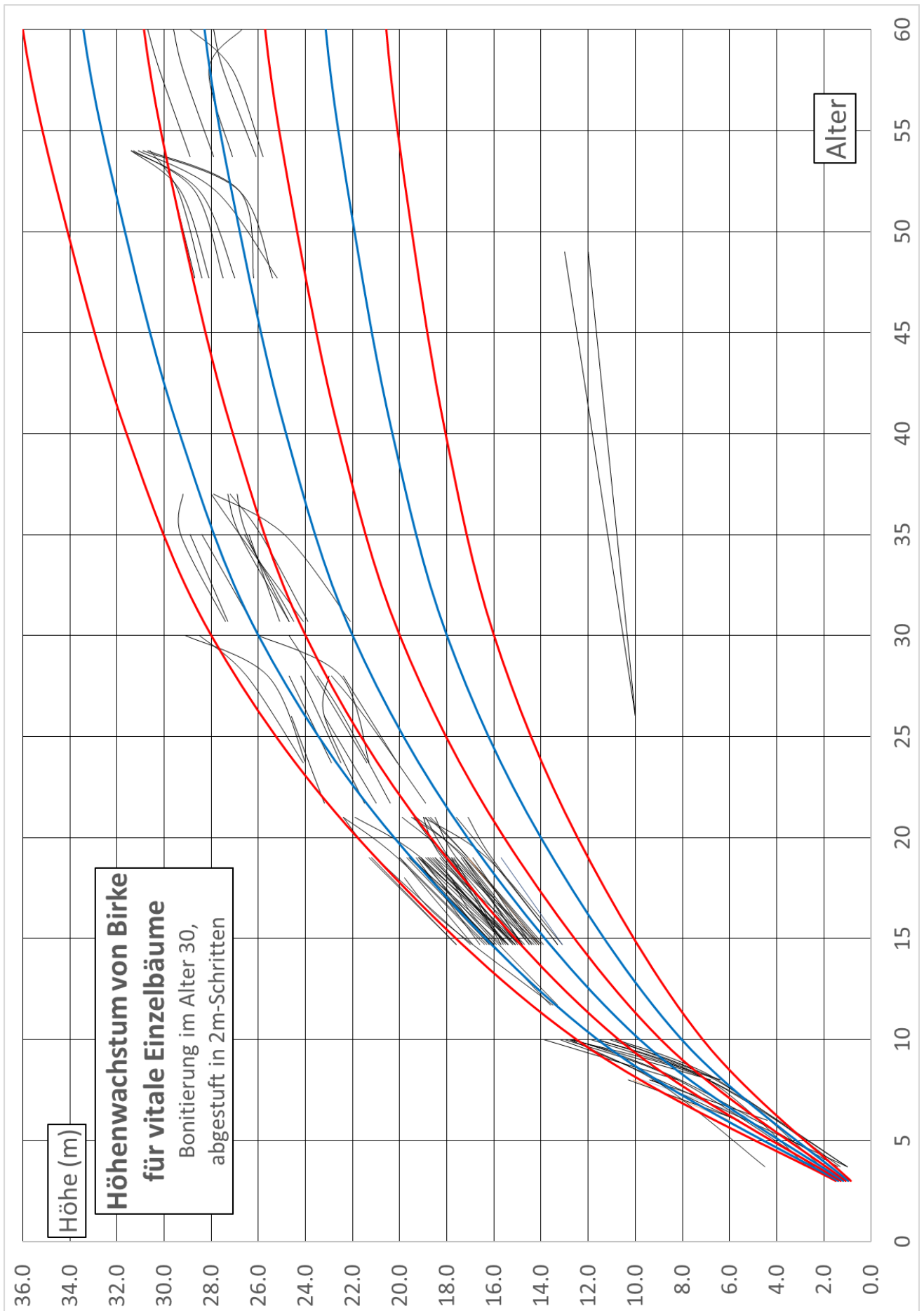


Abbildung 11: Höhenwachstum von Birken in Abhängigkeit des Alters.

Die Modell-Baumhöhenkurven (Abb. 11) wurden an die vorhandenen Daten angepasst, wobei die Baumhöhe im Alter 30 in 2m-Schritten abgestuft wurde. Die oberste Höhenwachstumskurve erreicht 28m im Alter von 30 Jahren. Die finale Höhe im Alter 60 würde dann 36m betragen. Diese Höhen gelten für sehr vitale Einzelbäume, sie liegen über den Oberhöhen (mit 100 Bäumen pro Hektare). Die älteren Bestände (Kölliken Walis mit 54 Jahren und Gebenstorf mit 60 Jahren) liegen deutlich tiefer. Dies ist aber plausibel, weil es sich nicht um Standorte mit maximaler Produktivität handelt (7c und 6a). Auch sind diese Bäume Zufallsprodukte und stehen teilweise unter starkem Konkurrenzdruck. Wichtig ist, dass die Steigung der Kurven mit den Daten übereinstimmt. Auch die Bündner Bestände aus dem Tujetsch stimmen mit dem Kurvenfächer überein, wenn auch auf sehr tiefem Niveau. Hier hat die Birke mit 12 bzw. 13m schon fast ihre Maximalhöhe erreicht.

Noch etwas unklar ist die Situation bei den ganz jungen Birken. Eventuell wurde das Höhenwachstum bei sehr schlanken Kronen in der Jugend zu tief eingeschätzt, weil bei der LiDAR-Befliegung 2014 nur ca. 8 Punkte pro m² generiert wurden. 2019 waren es bereits ca. 50 Datenpunkte pro m². Die Qualität 2014 war somit weniger gut (bei den damals 2.7 Jahre jungen Bäumen auf den Gewittersturmflächen). Einige der jungen Birken waren 2014 noch überschirmt, weshalb eine Höhenbestimmung nicht möglich war. Eine Frage ist auch, wie schnell die Etablierung der Birke auf Schadenflächen abläuft.

Gemäss LOCKOW (1996) erreichen Birkenbestände bester Bonität folgende Oberhöhen: 16.6m im Alter 20, 22.8m im Alter 30, 27.3m im Alter 40 und 30.1m im Alter 50. Danach geht nicht mehr viel, die Maximalhöhe beträgt 34m im Alter 100. LOCKOW bonitiert in seiner Ertragstafel mittels Oberhöhe im Alter 100, was etwas erstaunt bei einer so kurzlebigen Baumart.

3.3 Durchmesserwachstum

Auch bezüglich Durchmesserwachstum leistet die Birke in der Jugend Beachtliches. Im Gegensatz zum Höhenwachstum, welches weitgehend unabhängig von der waldbaulichen Behandlung ist, spielt beim Durchmesser die Konkurrenzsituation eine grosse Rolle. Junge Birken auf Lotharflächen hatten oft auch ohne Eingriffe sehr gute Bedingungen. Dies aufgrund von kleinen Bestandlücken (typisch für natürlich verjüngte Sturmflächen, vgl. Abb. 7 und 8) als auch im Falle von Birken in Einzelmischung mit weniger schnell wachsenden Baumarten (vgl. Abb. 9 und 10).

Bei den älteren Beständen war die Kronengrösse fast immer ungenügend. Birke wurde «mitgenommen», «geduldet». Im 28jährigen Bestand Aarau Bierweg sind die Kronen klein, hier ist auch die Konkurrenzbaumart Schwarzerle ungefähr gleich hoch wie die Birken. Mit 600 Birken pro Hektare ist auch die Stammzahl noch sehr hoch. Auch im Bestand Baden ist die Stammzahl der Birken im Alter von 30 Jahren noch deutlich zu hoch (450/ha), hier drängen nochmals 1000 Bäume/ha von unten her (Bergahorn, Kirsche) und auch Aspen bewirken eine grosse Konkurrenz. Im 37jährigen Bestand Kölliken Walis 1983 gibt es 267 Birken und dazu noch 816 weitere Bäume pro Hektare, welche von unten empordrängen. Hier sollten maximal 80 Birken stehen mit guter Kronenfreiheit, denn die Oberhöhe beträgt bereits 27.8m, d.h. das Höhenwachstum ist bald abgeschlossen. Es wäre also in allen mittleren und älteren Beständen (Daten ab Alter 28 in Abb. 12) eindeutig mehr möglich gewesen.

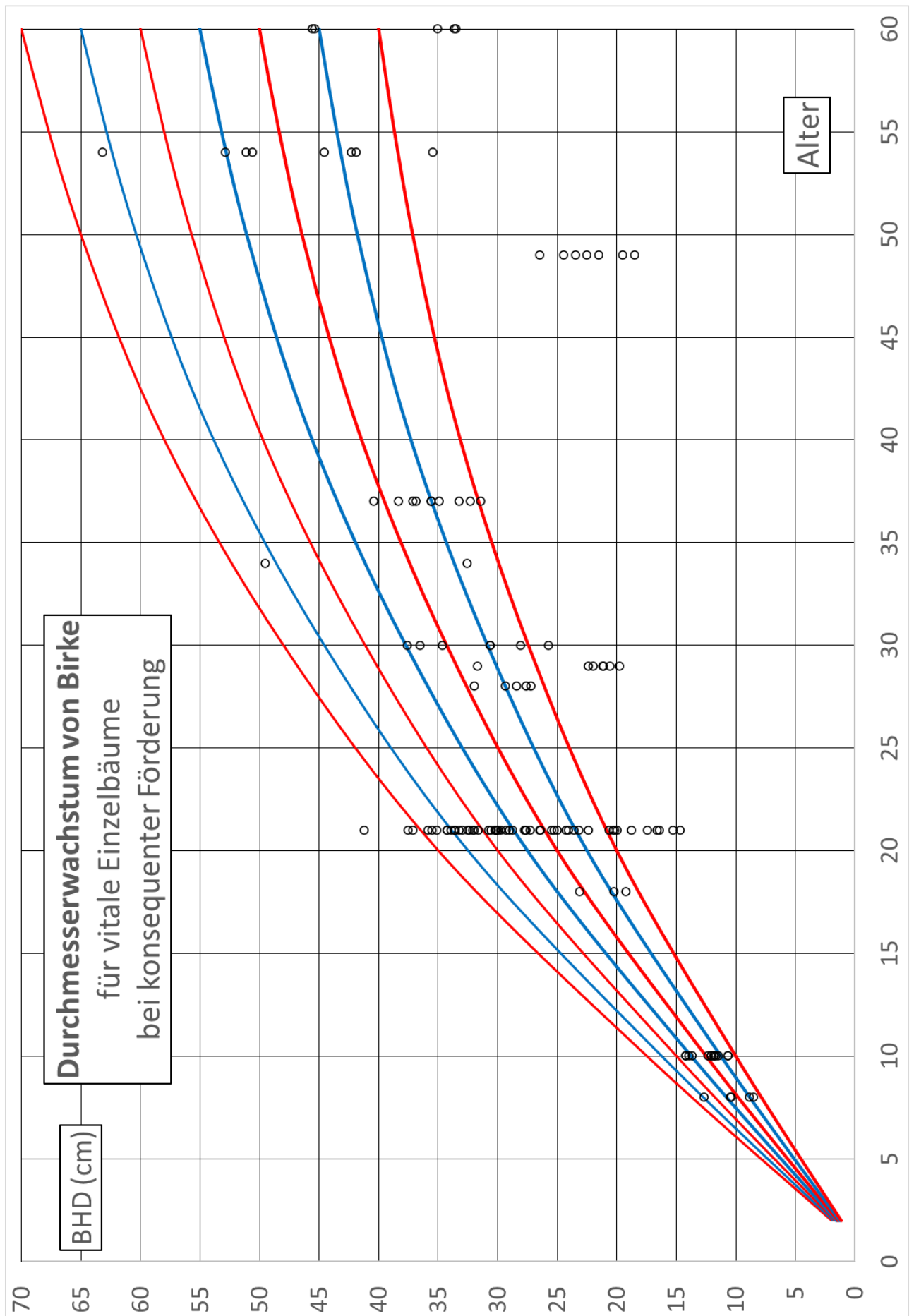


Abbildung 12: Durchmesserwachstum von Birken in Abhängigkeit des Alters.

In den noch älteren Beständen Kölliken Walis 1967 gibt es eine einzige Birke, welche dank Waldstrasse und Steilrandeffekt wenigstens auf einer Seite genügend Platz hatte – ein typisches Zufallsprodukt. Diese Birke zeigt ansatzweise das mögliche Potential mit BHD 63cm im Alter von 54 Jahren. Alle anderen Birken sind hier umgeben von Buchen, Fichten und Tannen, und zwar nicht im Endabstand, sondern eher im Halabendabstand. Auch im 60jährigen Bestand Gebenstorf Hornebni konnten die Birken ihr Potential nicht ausschöpfen; zwei von fünf waren zudem nur noch mitherrschend.

Auf den 21jährigen Lotharflächen existieren verbreitet Birken mit über 30cm BHD. Sogar solche mit BHD 35 sind keine Ausnahmen. Den Spitzenplatz belegt eine Birke auf der Lotharfläche Habsburg mit 41.3cm. Bezüglich Standort ist es plausibel, dass die dicksten Bäume in Habsburg und Seon auf Standorten 7aa, 7a und 8a stehen. Dies sind aber noch nicht einmal die wüchsigsten Standorte – es wäre spannend, Birke auf Standort 7aS/8aS, 7g/8g oder 11 zu beobachten.

Für die Voralpen gibt ein Baum mit BHD 49.5 im Alter von 34 Jahren zumindest einen Hinweis auf ein hohes Zuwachspotential, dieser wächst auf Standort 18c und 1120m über Meer (Flühli, LU).

Auch bezüglich Durchmesserzuwachs ist die Situation in den jüngeren Beständen nicht ganz klar. Oft handelt es sich um Bäume in eher kleinen Lücken auf Schadenflächen des Gewittersturms vom 13.07.2011. Einzelne Birken waren sogar noch überschirmt bei den LiDAR-Aufnahmen im Juli 2014. Und alle jungen Birken stehen auf den etwas weniger wüchsigen Standorten 6a und 7c.

Bis Alter 21 und BHD 35cm ist das hohe Zuwachspotential auf wüchsigen Standorten eindeutig belegt. Klar ist, dass der hohe Zuwachs der fröhndynamischen Birke nicht bis ins Baumholz anhält. Produktionskonzepte müssen das starke Jugendwachstum deshalb voll ausnutzen für den Durchmesserzuwachs, aber auch für den Kronenaufbau. Nur so kann das Potential der reaktionsschwachen Birke ausgeschöpft werden.

Gemäss Abb. 12 liessen sich unter besten Bedingungen Durchmesser von bis zu 70cm in 60 Jahren erreichen. Die Kurven für die Durchmesserentwicklung enden im Alter 60, weil keine Daten mehr vorhanden sind. Dies entspricht aber auch der empfohlenen maximalen Umtriebszeit für Birke.

3.4 Kronenlänge

Die Kronenlänge der Birken weist eine hohe Streuung auf (Abb. 13). Dies ist typisch für die beschriebenen Situationen mit lückigen Beständen und Birken in Einzelmischung (lange Kronen), aber auch für Bestände mit hohem Birkenanteil (kurze Kronen, vgl. Abb. 5 bis 10). Im Alter von 21 Jahren -also in den Lotharbeständen- beträgt die durchschnittliche Kronenlänge noch rund 60%, d.h. ungefähr 8m sind astfrei (oder haben Dürräste) und 12m sind Krone. Im höheren Alter sind alle Kronen (zu) kurz. Wichtig ist aber nicht nur die Kronenlänge, welche bei Birke -wie z.B. auch bei Lärche- durch das ausgesprochene Lichtbedürfnis limitiert ist, sondern auch der Kronendurchmesser, welcher hier nicht dokumentiert werden konnte.

Dass die Lotharbestände -alle Kronenmessungen stammen aus unbehandelten Beständen- noch so langkronige Birken enthielten, die gepflegten älteren Bestände hingegen deutlich kürzere, ist bemerkenswert. Dies zeigt Verschiedenes: Die gute Selbstdifferenzierung bzw. natürliche Strukturierung auf natürlich verjüngten Sturmflächen, die fehlende Konsequenz der Pflege bei den älteren Beständen, aber auch die Konkurrenzkraft der Mischbaumarten, welche zunehmend aufholen.

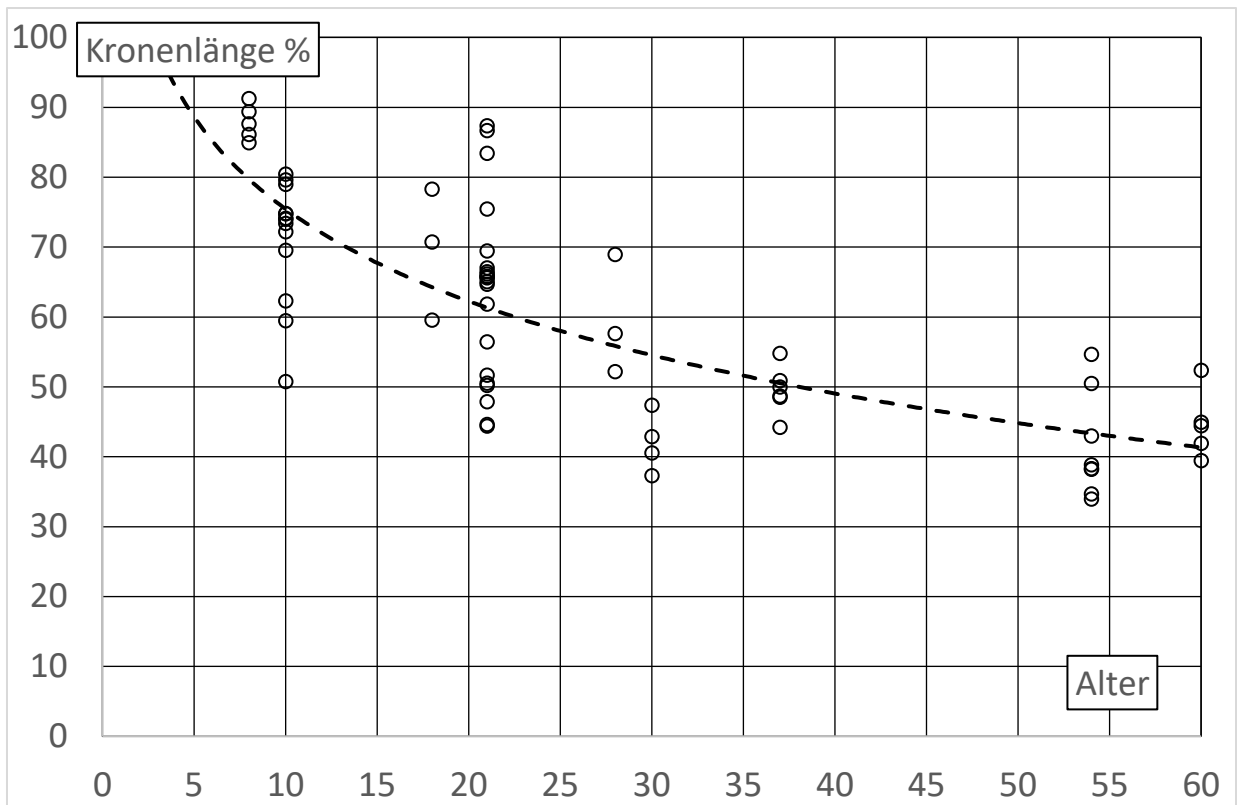


Abbildung 13: Kronenlänge von Birken in Abhängigkeit des Alters.

3.5 Schlankheitsgrad

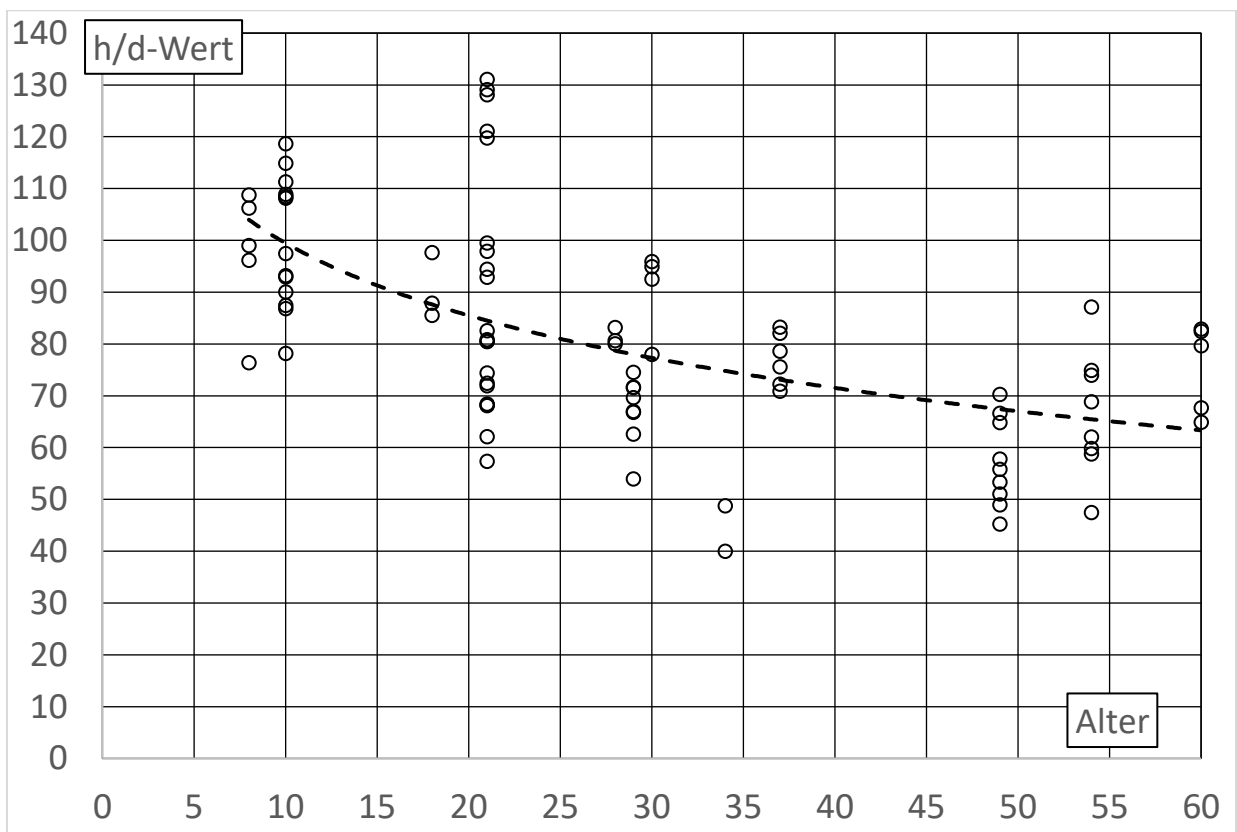


Abbildung 14: Schlankheitsgrad von Birken in Abhängigkeit des Alters.

Für die Schlankheitsgrade (Abb. 14) wurden nur die Birken mit Vertex-Höhenmessung (BHD und Höhe zum gleichen Zeitpunkt gemessen), sowie die Bäume aus den Arbeiten GEISER (2019) und IMHOF (2020) beigezogen. Auch die Schlankheitsgrade zeigen eine grosse Streuung, welche auf die bereits diskutierten strukturellen Unterschiede (Lücken, Einzelmischung versus hoher Birkenanteil) zurückzuführen ist. Als kritisch gilt für Laubbäume ein h/d-Wert von 120-140. Wichtig ist auch die kollektive Stabilität. Bereits die jüngsten Birken hatten gute h/d-Werte. Die schlanksten Birken stammen von den Lotharflächen Utzenstorf 1 und 2.

Die Birken aus dem 34jährigen Bestand Steinboden LU -leider sind es nur 2 Bäume- geben zumindest den Hinweis, dass sich auch Birken an die Umwelteinflüsse (Schneelasten, Hangneigung) anpassen bzw. eine sinnvolle Allokation der Biomasse erfolgt (vgl. AMMANN 2018 für Buchenbestände). Mit h/d-Werten von unter 50 -und dies ohne Pflegeeingriffe- sind sie äusserst stabil, was auf 1120m an einem steilen Hang wohl auch nötig ist. Auch die 49jährigen Birken aus dem Tujetsch GR sind mit h/d-Werten zwischen 45 und 70 sehr stabil, ohne dass jemals durchforstet wurde.

i

3.6 Birkenbestände als Vorwald

Als Nebeneffekt der Flächenaufnahmen ergaben sich auch Hinweise zur Birke als Vorbau-/Vorwaldart. Oft stellt sich unter den Birken Verjüngung ein, welche gleichzeitig kommt und langsamer wächst, oder erst später ansamt. Aufgrund der hohen Lichtdurchlässigkeit und der tiefen Konkurrenzkraft sind in Kombination mit Birke sogar Lichtbaumarten möglich. Auf den untersuchten Flächen und in ihrer Umgebung wurden folgende Baumarten gefunden:

Bestand	Standort	Alter	Behandlung	Weitere Baumarten in der Oberschicht	Weitere Baumarten in der Unterschicht
Aristau Privatwald AG	7d	18	gepflegt		Bu, Habu, Ta, Fi, Ei, Li, Wey
Wiler Utzenstorf 1 BE	7c	21	nie gepflegt		Bu, Bah, Ta, Fi
Wiler Utzenstorf 2 BE	7c	21	nie gepflegt		Bu, Bah, Ta, Fi
Baden Baregg AG	6a	21	nie gepflegt	R'Ei	Ei
Baden Zürieich 1 AG	6a	21	nie gepflegt	Ei	R'Ei, Bu, Fi, Dgl
Baden Zürieich 2 AG	6a	21	nie gepflegt	Lä, Dgl	Ei, Fi
Baden Müseren Mitte AG	7aa	21	nie gepflegt	S'Er	Ei, Fi
Habsburg Galgehübel AG	7aa	21	nie gepflegt	Ei, Habu	Bu, Thuja
Aarau Bierweg AG	7aa/7b/7aS	28	gepflanzt, gepflegt		Fi, B'Ah
Baden Müserern Süd AG	7aa	30	wenig gepflegt	Kir, B'Ah	Bu, Fi
Kölliken Walis 1983 AG	7c	37	gepflegt	B'Ah, Es, Li, Habu, Bu	Ta

Tabelle 4: Vorkommende Baumarten in bzw. unter Birken-Vorwald.

Ausnahmslos alle Birkenbestände enthielten Mischbaumarten bzw. eine Unterschicht – ein reiner Birkenbestand ist auf Dauer gar nicht möglich. Eine Vielzahl von Baumarten war vertreten, darunter nicht nur Schattenbaumarten. Bemerkenswert ist das Vorkommen von Eichen oder Roteichen in der Oberschicht. Diese waren weniger hoch als die Birken, zeigten aber eine gute Entwicklung. Zu beachten ist, dass viele der Bestände nie gepflegt wurden – und trotzdem konnte sich die Eiche in Gesellschaft von Birke behaupten. Auf dem trocken-sauren Standort 6a (Baden Zürieich) waren sogar Lärchen und

Douglasien vorhanden. Dank der angenehmen Gesellschaft von Birken erreichte eine Lärche einen BHD von 25cm im Alter von 21 Jahren – auch dies ohne Pflegeeingriff. Ausser für die beiden ältesten Bestände kann mit Sicherheit gesagt werden, dass alle Baumarten (also auch die Eichen, Roteichen, Lärchen) nicht gepflanzt wurden, sondern natürlich angekommen sind.

Der Bestand Kölliken Walis ist sogar dreischichtig: Zuoberst die Birken, etwas darunter Bergahorn, Esche, Linde, Hagebuche und Buche, und zuunterst kommt Weisstanne. Produktion von Wertholz in der Oberschicht und Aufwachsen von weiteren Baumarten in der Unterschicht überlappen sich auf der gleichen Fläche – dies spart Zeit und gibt interessante waldbauliche Optionen.

Aufgrund der hohen Lichtdurchlässigkeit ist Birke nicht in der Lage, Brombeere oder Adlerfarn zum Verschwinden zu bringen (vgl. Abb. 1 rechts). Die Konkurrenzvegetation wächst aber weniger üppig. Über die Vorbau-Funktion gelingt es mit Hilfe der ankommenden Schlussbaumarten, die Konkurrenzvegetation nach und nach in den Griff zu bekommen.

4 Folgerungen für Waldbaukonzepte

Die folgenden Empfehlungen gelten als Richtwerte für gute und mittlere Standorte des Schweizer Mittellandes und unter der Zielsetzung von starkem Wertholz:

- Umtriebszeit 60 Jahre.
- Zieldurchmesser 60 bis 70 cm BHD
- Wertstamm von maximal 6m Länge
- Endabstand 12 m und maximal 80 Bäume/ha
- Bei Nachbarschaft durch konkurrenzstarke Baumarten grössere Abstände
- Konsequente Freistellung spätestens ab Alter 15, was Oberhöhen von 15 bis 18m entspricht
- Bei sehr dichten Birkenverjüngungen bereits früherer Durchforstungsbeginn
- Wertastung bis max. 6m Höhe ist vorteilhaft für Wertholzqualität, weil die natürliche Astreinigung zwar gut, aber bei den zwingend sehr vitalen Z-Bäumen manchmal nicht rasch genug verläuft
- Regelmässige Kronenfreistellung zum frühen und starken Ausbau einer grossen Krone
- Im Alter von rund 30 Jahren sollte die Durchforstung abgeschlossen sein, d.h. zwischen Birken im Endabstand steht kein Füllbestand mehr
- Die grossen Kronen müssen erhalten werden. Ein Absterben von Starkästen muss möglichst vermieden werden, weil dadurch Farbkern und Fäule entstehen können
- Das Einwachsen von Bäumen in die Krone kann in den letzten Jahren vor der Ernte toleriert werden



Abbildung 15: BHD 45cm in 60 Jahren – es wäre noch mehr möglich.

Vergleich mit Literaturangaben:

Birke zeichnet sich aus durch kostenlose Naturverjüngung und nicht notwendige Jungwaldpflege in den ersten Jahren – in Kombination mit der kurzen Umtriebszeit ergibt sich ein gesamtwirtschaftlich gutes Abschneiden (MEYER, PETKAU und HEIN, 2011). Birke liefert sehr früh verwertbare Sortimente, dazu ist auch Wertholz möglich. Bisher war Birken-Wertholz meist ein Zufallsprodukt – es braucht klare Konzepte mit frühen und starken Eingriffen (NAGEL und NOLTENSMEIER 2014).

Die Birke ist ausgesprochen konkurrenz- und reaktionsschwach. Das Höhenwachstum kann bis 2m pro Jahr betragen, kulminiert sehr früh im Alter von ca. 10 Jahren und lässt ab Alter 25 stark nach; ab Alter 30 ist keine Reaktionsfähigkeit mehr möglich (FVA 2017). Ein Kronenausbau ist nur bis Alter 25 wirksam möglich.; deshalb müssen Durchforstungen früh und stark (d.h. noch vor Alter 25) beginnen; spätere Durchforstungen können nur noch Kronen erhalten, aber nicht mehr ausbauen (HEIN, WINTERHALTER, WILHELM und KOHNLE 2009).

Die birkentypische Wachstumsdynamik erfordert zwingend, das im Wesentlichen nur in der Jugendphase nutzbare Zuwachspotenzial konsequent sowohl für den Kronenausbau als auch für die Durchmesserentwicklung zu nutzen – die astfreie Schaftlänge liegt deshalb klar begründet bei höchstens 5m (HEIN, WINTERHALTER, WILHELM und KOHNLE 2009).

Aufgrund der geringen Gefahr von Klebästen sind sehr starke Eingriffe möglich; dadurch sind weniger Eingriffe notwendig (NAGEL und NOLTENSMEIER 2014).

Die Farbverkernung beginnt bei Birke ab einem Alter von 20 Jahren, erreicht eine 50%-Wahrscheinlichkeit mit 45 Jahren; ab Alter 80 sind alle Bäume verkernt. Die Kernbildung betrifft aber nur einen kleinen Teil: Im Alter 40 beträgt er 5%, im Alter 60 ca. 11% und im Alter 100 sind es 36% des Stammquerschnitts (HEIN, WINTERHALTER, WILHELM und KOHNLE 2009). Ab Alter 80 tritt Stammfäule auf (FVA 2017). Gemäss NAGEL und NOLTENSMEIER (2014) sollte der Zieldurchmesser in 60 bis maximal 80 Jahren erreicht werden, damit eine Holzentwertung vermieden werden kann.

Die genauen Produktionsziele diverser Autoren aus Deutschland und Frankreich werden hier nicht detailliert aufgelistet. Tendenziell wurden etwas tiefere Zieldurchmesser angestrebt. Aufgrund der im mitteleuropäischen Vergleich besonders wüchsigen Böden des Schweizer Mittellandes (tiefgründig, geologisch jung und dadurch nährstoffreich aufgrund (vor-)letzteiszeitlicher Vergletscherung, hohe Jahresniederschläge) scheinen diese ambitionierten Ziele für beste Standort realistisch bzw. können gemäss den Wachstumskurven in Abb. 12 angepasst werden. Es ist zu hoffen, dass viele Förster die Birke auf ihr Wuchspotential «testen» werden.

5 Dank

Für die Finanzierung der Arbeit gebührt dem BAFU, Abteilung Wald, namentlich Herrn Pierre Alfter, ein grosses Dankeschön. Dadurch wurde diese spannende und praxisrelevante Arbeit erst ermöglicht.

Für die Unterstützung bei der Flächensuche sowie mit Daten aus alten Betriebsplänen zur Altersbestimmung der Bestände sei bestens gedankt:

- Thomas Gut, Revierförster Waldabteilung Mittelland BE
- Sarah Niedermann-Meier und Pius Moser, Forstbetrieb Baden AG
- Oliver Eichenberger, Forstbetrieb Region Muri AG
- Roger Wirz, Forstbetrieb Region Aarau AG
- Severin Dommen, Forstbetrieb Kölliken-Safenwil AG
- Peter Suter, pensionierter Förster Kölliken-Safenwil AG
- Marcel Hablützel, Forstbetrieb Region Seon AG
- Kurt Vogt, Forstbetrieb Gebenstorf AG
- Peter Schenkel, Forstbetrieb Birretholz AG
- Markus Steiner, Forstbetrieb Uerkental AG
- Peter Gruber, Forstbetrieb Region Zofingen AG



Ein Dankeschön verdienen die genannten Försterinnen und Förster und ihre Vorgänger auch für die konkrete praktische Förderung und Erhaltung von Birken in ihren Wäldern – dank Ihnen war diese Arbeit überhaupt möglich. Symbolisch sei der Bestand Kölliken Walis 1967 genannt: Hier stehen nach 54 Jahren immer noch über 10 Birken im Bestand. Diese waren im Alter von 16 Jahren bereits wertvolle Samenbäume für die benachbarte Verjüngungsfläche, welche heute mehrere Dutzend Birken enthält (Flächenaufnahme Kölliken Walis 1983).

Abbildung 16. Aktiver Waldbau mit Birke im Forstbetrieb Heitersberg AG. Auch dieser Bestand hätte interessante Einzelbäume gehabt, konnte aber aus Zeitgründen nicht aufgenommen werden.

6 Literatur

Ammann, P., 2020: Waldbau auf Schadflächen – ökonomisch und ökologisch interessante Alternativen. Zürcher Wald 2/2020: 4-8.

Ammann, P., Arnet, A., Bienz, R. und Dietiker F., 2019: Waldbewirtschaftung im Klimawandel – aktuelle Haltung der Abteilung Wald. Herausgeber: Departement Bau, Verkehr und Umwelt, Abteilung Wald, 5001 Aarau. https://www.ag.ch/media/kanton_aargau/bvu/dokumente_2/wald/waldbewirtschaftung_1/Waldbewirtschaftung-Klimawandel.pdf

Ammann, P., 2018: Entwicklung und waldbauliche Behandlung von Buchenbeständen. GWG (Gebirgswaldpflegegruppe) Wintertagung 2018. http://www.gwg-gsm.ch/tl_files/gebirgswald/de/04_GWG/GWG_Tagungen/2018/GWG_WiTa_2018_Ammann.pdf

Ammann, P., Arnet, A., und Felder U. 2014 : Biologische Rationalisierung auch im Bergwald ? Natürliche Abläufe nutzen. Wald und Holz 11/2014: 34-36.

Brang, P., Küchli, C., Schwitter, R., Bugmann, H., und Ammann, P., 2016: Waldbauliche Strategien im Klimawandel. In: Pluess et al, 2016: Wald im Klimawandel. Grundlagen für Adaptationsstrategien. BAFU, WSL. Haupt Verlag.

Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, 2017: Baumartensteckbrief Hängebirke.

Geiser, C., 2019: Untersuchung unbehandelter Mischbestände der obermontanen Höhenstufe – Ansätze zur biologischen Rationalisierung bei der Pflege von Jungwaldflächen im Hochwasserschutzwald «Steibödeli» (LU). Bachelorarbeit HAFL Zollikofen.

Guggisberg, D., Imhof, S., Ammann, P. und Frehner M., 2020: Birkenvorwälder. Wald und Holz 10/2020: 30-32.

Hein, S., Winterhalter, D., Wilhelm, G. J. und Kohnle, U, 2009: Wertholzproduktion mit der Sandbirke (*Betula pendula* Roth): Waldbauliche Möglichkeiten und Grenzen. Allg. Forst- u. J.-Ztg., 180. Jg., 9/10, 206-219

Imhof, S., 2020: Biologische Rationalisierung im Schutzwald. Einfluss eines Birkenvorwaldes auf Fichten in hochmontanen Wäldern. Masterarbeit ETH Zürich.

Lockow, K.-W., 1996: Ertragstafel für Birke in Nordostdeutschland. Forstliche Forschungsanstalt Eberswalde.

Meyer, H., Petkau, A. und Hein, S., 2011: Lohnt sich der Waldbau mit Birke? AFZ 2011/9, 15-17.

Nagel, R.-V., und Noltensmeier A., 2014: Waldbauliche Konzepte für Roterle und Birke – Gezielt investieren und flexibel bleiben. AFZ 2014/19, 11-14.

Wagnière, S., 1996: Einfluss eines Birkenvorwaldes auf eine Schlusswaldsukzession bei Sedrun (GR). Diplomarbeit ETH Zürich.

Wilhelm, G.J., und Wolf, H. 2009: Birken-Wertholzerzeugung mit Tradition im Stadtwald Blieskastel. AFZ, 2009/13, 705-706.