



Direktsaaten im Wald

Stand des Wissens

Im Auftrag von Pierre Alfter, Sektion Waldleistungen und Waldpflege
Ittigen, 23.07.2020

Titelbild: gesäte Lärchengruppe auf einer Waldbrandfläche in Müstair (WSL ohne Datum)

Ivo Gasparini
Praktikant
BAFU – Abt. Wald

Inhaltsverzeichnis

Begriffe	2
1 Einleitung	3
1.1 Historischer Hintergrund und internationale Relevanz	3
1.2 Relevanz für die Schweiz	4
1.3 Ziele und Methoden	4
2 Potenzial	5
2.1 Stärken und Schwächen der Direktsaat im Wald	5
2.2 Vergleich der Direktsaat mit Pflanzung im Wald	6
2.3 Anwendungsbereiche	8
3 Praktische Aspekte	9
3.1 Saatgutgewinnung in der Schweiz	9
3.2 Saatgutbeschaffung für die Aussaat	9
3.3 Standortsauswahl und -vorbereitung	11
3.4 Bodenbearbeitung	12
3.4.1 Humusbehandlung – Freilegen des Mineralbodens	12
3.4.2 Behandlung mit tiefergehendem Eingriff in den Mineralboden	13
3.5 Saatgutausbringung	14
3.5.1 Grösse und Form der Saatfläche	14
3.5.2 Saattechniken	14
3.5.3 Wildschutz	15
3.5.4 Seed shelters	15
3.6 Saatzeitpunkt	18
3.7 Häufigste Gründe für Misserfolg	19
4 Zusammenfassung nach Baumart	20
5 Schematische Entscheidungshilfe am Beispiel der Weissstanne	21
6 Literatur	
7 Anhänge	

Begriffe

- **Aussaat** oder **Saat**: Säen von Saatgut in das Saatbeet.
- **Direktsaat**: Saatgut wird bereits am endgültigen Standort gesät.
- **Baumsaat**: Aussaat von Baumarten.
- **Freisaat**: allgemeiner Begriff zur Bezeichnung der Baumsaat im Wald. Der Begriff "Frei" wird vermutlich verwendet, weil die Aussaat im Wald "freier" als eine übliche landwirtschaftliche Aussaat verläuft.
- **Streifen-, Rillen-, Plätze- oder Punktsaat**: Aussaattechniken mit unterschiedlichen Bodenvorbereitungen und räumlichen Anordnungen des Saatguts.

1 Einleitung

1.1 Historischer Hintergrund und internationale Relevanz

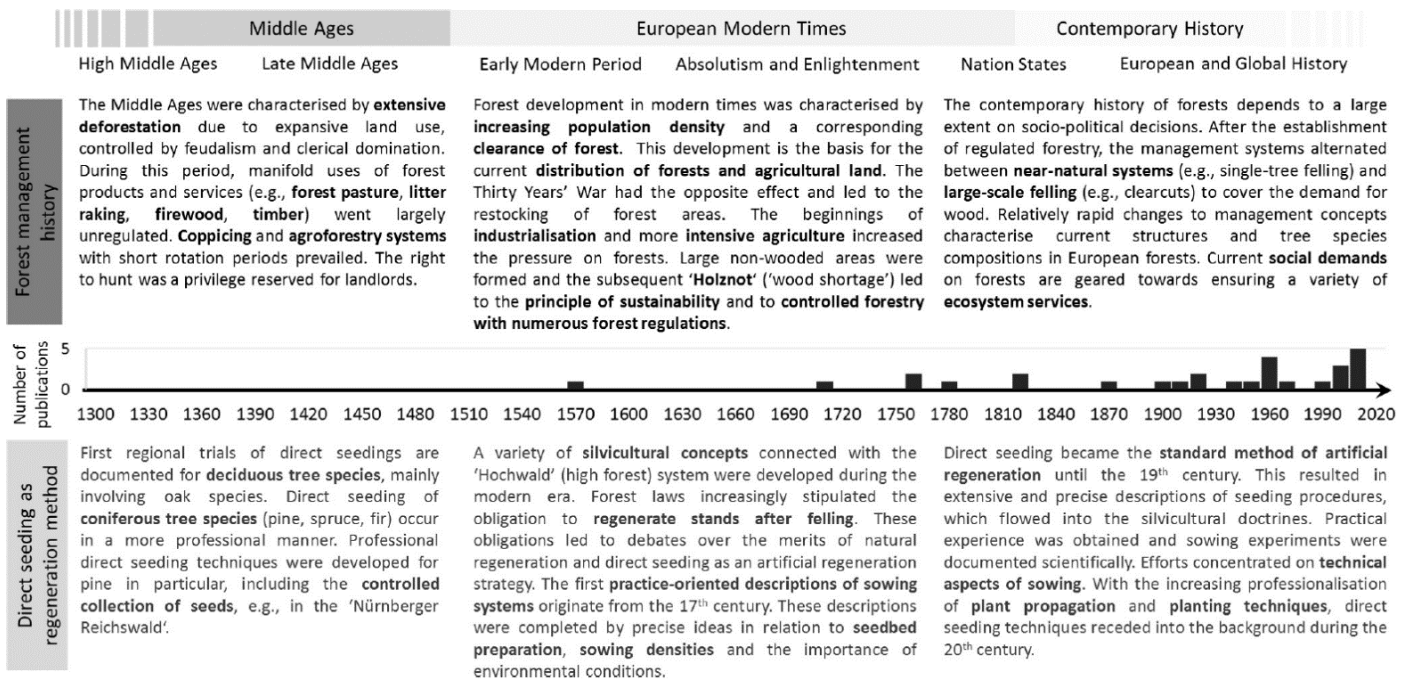


Abbildung 1 Dokumentierte historische Entwicklung der Direktsaat in Europa (Huth et al 2017)

Noch vor wenigen Generationen waren Waldsamen eine praxisübliche Methode im Forst (LWF 2017) (Abb. 1). Vor der Entwicklung gross angelegter Baumschulprogramme zur Erzeugung von Setzlingen wurde die Direktsaat oder Teilsaat (d.h. die Kombination aus Direktsaat und Samenbäumen) als die "best practice" für die Wiederaufforstung angesehen (Grossnickle und Ivetić 2017). Tatsächlich werden viele Methoden, die von Toumey (1916; zitiert in Grossnickle und Ivetić 2017) diskutiert wurden (Saaten in Streifen, Rillen, Plätze oder Punktsaat), auch heute noch als Standardverfahren angesehen. In letzter Zeit gibt es ein zunehmendes Interesse an der Verwendung der Direktsaat als kostengünstige Alternative zu Pflanzungen. Der weltweite Wiederaufforstungsbedarf ist sehr gross: die Vereinten Nationen haben die Notwendigkeit erklärt, bis 2030 350 Millionen Hektar degradierter Flächen wiederherzustellen, um den Klimawandel zu bekämpfen (UN 2014). Daher sind kostengünstige Optionen erforderlich, um den Umfang dieses weltweiten Wiederaufforstungsprogramms zu erfüllen. Freisaaten im Wald sind auch in Deutschland wieder Thema, um Bestände zu begründen oder Mischbaumarten einzubringen – gerade vor dem Hintergrund des Klimawandels und hinsichtlich möglicher Wurzeldeformationen bei Pflanzungen (LWF 2017, Leder und Schölmerich 2013).

1.2 Relevanz für die Schweiz

Der Schweizer Wald steht vor verschiedenen Herausforderungen. Im Hinblick auf den Klimawandel, von dem besonders drastische Folgen für gebirgige Binnenländer wie die Schweiz zu erwarten sind, ist davon auszugehen, dass etliche Bestockungen in der Schweiz nicht zukunftstauglich sind. Die Fachleute sind sich einig, dass ein Baumartenwechsel angezeigt ist. Trockenheitsresistenter Baumarten und Mischwälder sollten bevorzugt werden. Mittels einer grossen Artenvielfalt können ökologische, ökonomische und soziale Ansprüche am besten befriedigt werden.

Wo möglich, arbeitet man mit der kostenfreien Naturverjüngung. Künstliche Verjüngungsmassnahmen werden angesichts der hohen Kosten nur spärlich eingesetzt. Angesichts des drängenden Problems des Klimawandels ist jedoch zu erwarten, dass künstliche Verjüngungsmassnahmen in naher Zukunft an Bedeutung gewinnen werden. Eine Kostenreduktion solcher Massnahmen ist also wünschenswert.

In der Verjüngung mittels Aussaat steckt Potential. Damit könnte der Jungwald naturähnlich und vermutlich kostengünstig mit den gewünschten Baumarten gegründet oder ergänzt werden. Darüber hinaus wird davon ausgegangen, dass die so gewachsenen Bäume optimal an die Standortbedingungen angepasst wären und dank eines ungestörten Wurzelsystems stabiler als gepflanzten Bäume wären. Auch die Direktsaat mit dem Ziel, zukünftige Samenbäume in vorweggenommener Weise in Sektoren zu fördern, in denen sie möglicherweise in einigen Jahrzehnten benötigt werden, scheint sehr interessant zu sein.

1.3 Ziele und Methoden

Ziel dieses Berichts ist, die wichtigsten Aspekte der Direktsaat im Wald zusammenzufassen und sie, wo möglich, auf die schweizerische Situation zu beziehen.

Die Recherche wurde erstens über das Internet durchgeführt. Für allgemeine Informationen und eine Einführung in das Thema wurde die Suchmaschine Google mit den Ausdrücken "Freisaat", "Direktsaat im Wald", "Saat im Wald" und "künstliche Verjüngung" verwendet. Eine ähnliche Suche wurde mit den englischen Begriffen "direct seeding forest" durchgeführt. Anschliessend wurde eine vertiefte Suche mit den gleichen Begriffen (mit kleinen Variationen oder dem Hinzufügen von Suchoperatoren) mit der Suchmaschine Google Scholar und in mehreren Datenbanken durchgeführt: Web of Science (all Databases), CAB Abstracts und CABI Forest Science Database für englischsprachige Literatur, HoWiLit (Angebot des Zentrums Holzwirtschaft der Universität Hamburg) und NEBIS (Netzwerk von Bibliotheken und Informationsstellen in der Schweiz) für deutschsprachige Literatur. Das Dossier "Waldverjüngung" von waldwissen.net und die Websites einiger deutscher Institutionen (z.B. die der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft LWF) haben auch sehr nützliche Informationen geliefert.

Die Suche mit den deutschsprachigen Begriffen hat Ergebnisse hervorgebracht, die für die schweizerische Situation sehr relevant sind. Das Thema ist in Deutschland aktuell. Die Suchergebnisse in englischer Sprache machten deutlich, dass das Thema auf internationaler Ebene für Wiederaufforstungen, insbesondere im tropischen Raum, besonders relevant ist. Einige Dokumente auf Englisch, wie z.B. die Metaanalysen und Reviews, waren trotzdem nützlich.

In den Monaten nach der ersten Literaturrecherche im Internet war es möglich, mit verschiedenen Experten zu sprechen. Dieser Austausch war sehr nützlich, um die praktischsten Aspekte des Themas und sein Potenzial für die Schweiz zu verstehen.

2 Potenzial

2.1 Stärken und Schwächen der Direktsaat im Wald

Die wichtigsten Stärke bzw. Schwächen sind **fett gedruckt**.

Stärken	Schwächen
I.d.R. geringere Kosten als für Pflanzungen (1,2), insbesondere wenn mechanisierte Prozesse angewandt werden (5)	Grosser Bedarf an geeignetem Saatgut (5,6). Höherer Saatgutbedarf als bei Pflanzenanzucht in Baumschulen (1,2) wegen niedrigeren Keimungsraten (5) und höherer Sterblichkeitsrate als bei Setzlingen
Optimale Anpassung an örtliche Standortbedingungen (1,2,4,5,8)	Schlechtere Kalkulierbarkeit des Verjüngungserfolges (2,5). Bei der Naturverjüngung verwendet die Natur enorm grosse Samenmengen und verfügt über lange Zeiträume und somit über viele Anläufe zum Erhalt des Waldes. Saaten werden mit einer begrenzten Saatgutmenge, zu einem bestimmten Zeitpunkt und i.d.R. einmalig durchgeführt. Deshalb ist das Risiko für den Misserfolg von Saaten deutlich höher (8):
Ungestörte Wurzelentwicklung , im Vergleich zu Pflanzungen kaum Wurzeldeformationen und -verletzungen (geringeres Risiko der Verbreitung von Wurzelkrankheiten, die durch Wurzelverletzungen verursacht werden, z.B. Phytophthora) (1,2,3,5,8). Eine natürliche und nicht durch äussere Einflüsse manipulierte Wurzelentwicklung sorgt für ein hohes Mass an Einzelbaumstabilität – auch auf lange Sicht (4,8)	• Starke Abhängigkeit von den Wetterbedingungen während der Aussaat und Keimung und direkt nach der Keimung. Frost zur falschen Zeit, hohe Feuchtigkeit oder Nässe mit Pilzkrankungen, Trockenperioden oder Wärmephasen sowie sehr hohe Tagestemperaturen führen sehr schnell zum Misserfolg (4,5,6). Generell sind Samen mit vielen Reservestoffen (z.B. Eicheln) weniger empfindlich und haben tendenziell höhere Keimungs-/Überlebensraten als kleine Samen mit wenigen Reservestoffen (z.B. solche von Pionierarten) (6) • Empfindlichkeit auf Fressfeinde. Schalenwild für Fressschäden; Wildschweine, Kleinsäuger, Vögel, Schnecken und Insekten als Samenraubtiere (4,7) • Saat im Bestand: Abhängigkeit vom Kronendach, der Vitalität und der Stabilität der oberen Baumschichten (4,5). Mögliche Einschränkung des Keimungserfolgs durch suboptimale Saatbettbedingungen, hohen Skelettanteil und flache Durchwurzelung von überstehenden Bäumen (5) • Begrenztes Zeitfenster für die erfolgreiche Etablierung von Sämlingen, bevor die Bodenvegetation den Boden bedeckt (5)
Vielzahl von Individuen mit einer hohen genetischen Breite (4): • Erleichtert eine spätere natürliche und waldbauliche Selektion (8) • Hohe Stammzahlen = geringere und schwächere Äste, gerade Stämme, bessere Holzqualität (8) • Hohe Anpassungsfähigkeit an neue klimatische Herausforderungen (6,8) • Auslese- und Entnahmemöglichkeit von Wildlingen (1,2,5)	Höherer Aufwand für Schutz und Pflege (1). Zusätzlicher Aufwand für die Bodenaufarbeitung (4,5)
Rationelle Verjüngung von grossen Flächen (falls Einsatz von Saatmaschinen) (1,2,5)	Abhängigkeit von Mastjahren (1,2)
Möglich, die Verbreitung von Arten mit schwerem Samen zu beschleunigen (die natürliche Tierverbreitung geschieht nach dem Zufallsprinzip und meistens in nur geringer Dichte) (3)	Besondere Kenntnisse zur Gewinnung, Lagerung und Vorbereitung des Saatgutes sind notwendig (1)

1: Leder & Schölmerich 2013

2: Nörr 2004

3: Mühlethaler et al 2009

4: Ruppert & Rothkegel 2018

5: Huth et al 2017

6: Palma et al 2015

7: Löf et al 2019

8: LWF 2017

2.2 Vergleich der Direktsaat mit Pflanzung im Wald

1: Löff et al (2019) 3: Ruppert und Rothkegel (2018)
2: proQuercus (2010b) 4: Bonavia (2020)

Vorteile/Nachteile	Direktsaat	Pflanzung
Produktionskosten Vermehrungsgut	Niedrig. Kostenreduzierung, da nur die Saatguternte, -lagerung und eine gewisse Vorbereitung erforderlich ist. Weitere Kostensenkung bei unmittelbarer Ausbringung (also ohne langfristige Lagerung).	Hoch. Notwendigkeit, Pflanzen in Baumschulen für $\geq 1-2$ Jahre zu züchten.
Kosten für die Feldarbeit	Variabel. Hängt von der verwendeten Aussaatmethode ab und davon, ob eine weitere Bodenvorbereitung erforderlich ist.	Hoch. Schlechtere Handhabung der Setzlinge. Benötigen individuelle Löcher.
Abiotische Gefährdungen	Starke Abhängigkeit von den Wetterbedingungen, die leicht zu einem Totalausfall führen können.	Geringere Abhängigkeit von Wetterbedingungen im Vergleich mit der Direktsaat.
Biotische Gefährdungen	Grosses Verlustrisiko durch Samenraubtiere, in besonders bei grossen Samen wie Eicheln. Die aus der Aussaat entwickelten Pflanzen sind Wildverbissen ausgesetzt. Darüber hinaus können Lagerungsfehler bis zum vollständigen Verlust des Saatguts (z.B. durch Pilze oder Insekten) führen (2,3). Bezüglich die Übertragung von Pflanzenkrankheiten, ist das Risiko gering. Saatgut kann leichter unter aseptischen Bedingungen gelagert werden (1). Die Sensibilität gegenüber konkurrierender Vegetation ist hoch, da die heranwachsenden Setzlinge anfangs kleiner sind.	Die Biotische Gefährdungen werden in den Baumschulen unter Kontrolle gehalten. Unter der Voraussetzung, dass sie sorgfältig (ohne Beschädigung und ohne Austrocknung) transportiert und gepflanzt wurden, sind die Setzlinge hauptsächlich durch Wildverbiss gefährdet. Bezüglich die Übertragung von Pflanzenkrankheiten, ist das Risiko höher. Pflanzen und/oder Erde können in Baumschulen kontaminiert sein (1). Die Sensibilität gegenüber konkurrierender Vegetation ist niedriger, da die Setzlinge anfangs grösser sind.
Vorhersagbarkeit des Verjüngungserfolges	Niedrig (siehe vorherige Tabelle). Die hohe Mortalitätsrate kann z.T. durch eine höhere Aussaatdichte ausgeglichen werden (1).	Hoch (durchschnittliche Überlebenschance von ca. 70%, (4)). Risikofaktoren sind leichter vorzubeugen.
Entwicklung des Wurzelsystems	Normale Entwicklung (1).	Gefahr von Deformationen, insbesondere an der Pfahlwurzel. Mögliche kurzfristige und langfristige negative Folgen (1).
Vielfalt	Besser. Die Verjüngung wird strukturell vielfältiger (1).	Verjüngung homogener strukturiert (1).
Abhängigkeit von Mastjahren	Hoch. Mastjahren liefern grosse Menge Saatgut, was die Ernte erleichtert und die Erntekosten senken kann (2). Falls man genügend Saatgut geerntet hat, kann man dann dies in kurzen ausbringen.	Niedrig, da kleinere Mengen an Saatgut nötig sind.

Phänologische Anpassung	Saatgut, das sich direkt auf ihrem Wachstumsort entwickelt, kann sich von Anfang an an die lokalen Bedingungen anpassen.	In der Baumschule werden die Wachstumsbedingungen optimiert (Boden, Wasser, Licht). Nach dem Umpflanzen erleiden die Pflanzen einen Schock und können möglicherweise grössere Schwierigkeiten haben, sich an ihre endgültigen Wachstumsbedingungen anzupassen, wenn sie sich in den ersten Jahren ihrer Entwicklung in einer völlig anderen Umgebung entwickelt haben.
-------------------------	--	--

2.3 Anwendungsbereiche

Durch Steuerung der Artenanteile im Jungwald kann der Wald auf die Herausforderungen der Zukunft vorbereitet werden. Durch Aussaat könnte man:

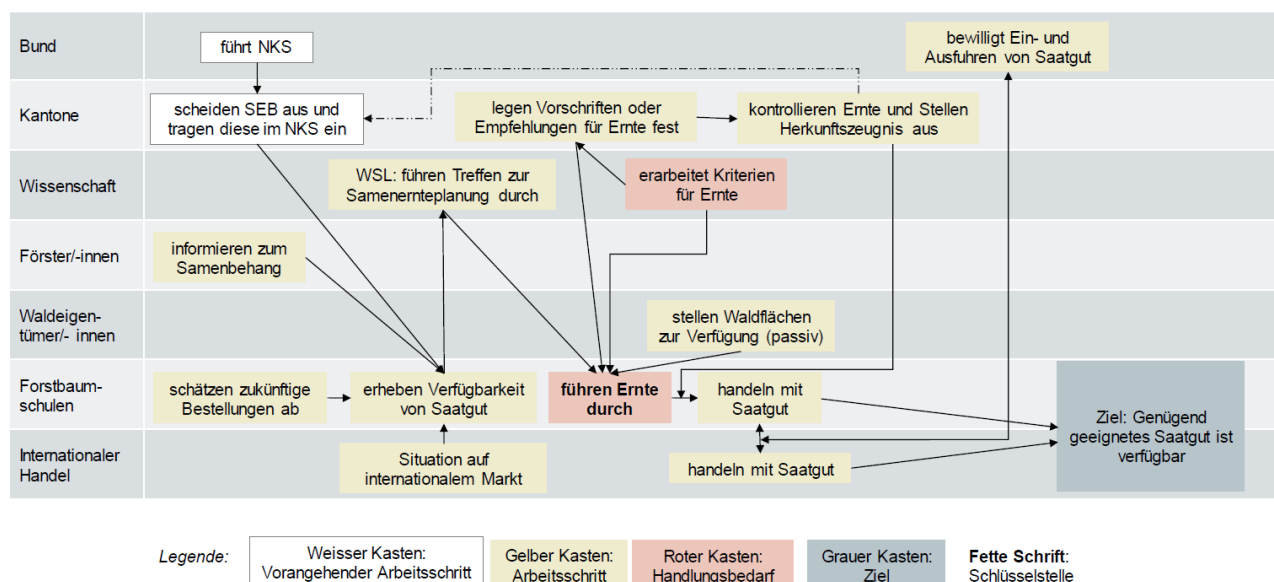
- Den Anteil standortgerechter oder trockenheitsresistenter Laub- und Nadelbaumarten erhöhen
- Reinbestände in Mischbestände umwandeln
- Gesunde und stabile Bäume erzeugen
- Der genetischen Vielfalt einer vorhandenen Art erhöhen (trockenheitsresistentere Provenienz)
- Baumarten einführen (z.B. trockenheitsresistente Gastbaumarten, zukünftige Samenbäume oder Edellaubhölzern zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit)
- Die natürliche Verjüngung oder Vorverjüngung helfen (z.B. im Gebirgswald)
- Nadelholzanteilen sichern oder erhöhen (Wirtschaftlichkeit)
- Die Wiederbewaldung nach Waldbrand beschleunigen (auf verbrannten Oberflächen ist für die Aussaat meist keine Bodenbearbeitung notwendig; WSL ohne Datum)
- Rationelle und naturnahe Restaurierung bzw. Wiederaufforstung von kahlgeschlagene oder gerodete Flächen

Je nach Anwendungsbereich sind die geeignete Aussaattechniken unterschiedlich.

3 Praktische Aspekte

Der Inhalt dieses Kapitels gilt nur für die Baumarten, die in Anhang 1 der Verordnung über forstliches Vermehrungsgut (VO FVG) aufgelistet sind. Für andere Arten, z.B. Gastbaumarten, ist die Gesetzgebung bezüglich Anpflanzung (oder Saat) in den Schweizer Wälder im Moment unklar, da es verschiedene Interpretationen der Waldverordnung (WaV) und der VO FVG gibt (siehe interne Aktennotiz).

3.1 Saatgutgewinnung in der Schweiz



Legende: NKS = Nationaler Kataster der Samenerntebestände; SEB = Samenerntebestände.

Quelle: Darstellung Interface.

Abbildung 2 Schematische Darstellung der Saatgutgewinnung in der Schweiz (Landolt und Walker 2019)

Für eine vollständige Beschreibung des Themas siehe Kapitel 2.2 von Landolt und Walker (2019).

Die Schweizer Forstbauschulen und die WSL treffen sich jährlich zum Informationsaustausch. Dort koordinieren sie ihre Ernteaktivitäten und handeln das Saatgut untereinander (Abb. 2). Grundsätzlich sollten Beerntungen nur bei Vollmast durchgeführt werden (insbesondere wenn das Saatgut eingelagert werden soll; Burkart 2018), was eine Zusammenarbeit vorteilhaft macht. Wenn eine Schweizer Baumschule mehr Saatgut als den Eigenbedarf erntet, tauscht sie es mit anderen Baumschulen aus und bezieht Saatgut von anderen Arten, die sie benötigt. Der Anteil Saatgut aus eigener Beerntung macht dabei durchschnittlich 64 Prozent aus (mind. 20%, max. 100%) – neben durchschnittlich 34 Prozent Saatgut, das in der Schweiz eingekauft wird und 10 Prozent Saatgut, das aus dem Import stammt.

3.2 Saatgutbeschaffung für die Aussaat

Wenn man eine Aussaat durchführen möchte, kann Saatgut in der Schweiz auf 3 Wegen beschafft werden:

1. Ernte im eigenen Wald. Es kann aber dann nur am Herkunftsort verwendet werden (Art. 4 Abs. 3 VO FVG)
2. Kauf von Saatgut schweizerischen Ursprungs, das von den kantonalen Behörden des jeweiligen Ernteortes zertifiziert wurde (Art. 4 Abs. 1 VO FVG). Dieses Saatgut kann von den Baumschulen oder von der WSL bezogen werden.

3. Kauf und Einfuhr von Saatgut aus dem Ausland unter der Bedingung, dass es vom BAFU mittels amtliches Zeugnis zertifiziert wird (Art. 6 Abs. 1 VO FVG).

Im ersten Fall muss berücksichtigt werden, dass die Ernte und Lagerung von Saatgut technisch kompliziert sind und daher besser Fachleuten überlassen werden. Ein denkbare Szenario ist, dass der Waldbesitzer oder der Förster das Saatgut während der Ausbreitungsphase erntet und unmittelbar danach im nahe gelegenen Gebiet fachgerecht aussäht, ohne es lagern zu müssen. So werden die natürlichen Abläufe wie Nachreifen, Abbau der Keimhemmung und angepasstes Keimen möglich (Ruppert und Rothkegel 2018). Es ist jedoch ratsam, das Saatgut trotzdem zu sortieren, um seine Qualität zu sichern (Bonavia 2020). Dieses Szenario ist in einigen Teilen Deutschlands Realität. Ein Beispiel ist in dem folgenden Video zu sehen: <https://www.youtube.com/watch?v=viNRw8g8ynE>. Waldbesitzer oder Waldeigentümer könnten mit den nötigen Bewilligungen (siehe FO FVG) möglicherweise auch Ernten in den zertifizierten Samen-erntebeständen organisieren. Dieses Szenario ist jedoch unwahrscheinlich, da der Kauf für sie in vielerlei Hinsicht von Vorteil wäre.

Was die zweite Option betrifft, gibt es derzeit in der Schweiz keinen Forstsaatgutmarkt, der den durch die Direktsaaten entstandenen Saatgutbedarf decken kann (Fürst 2020, Bonavia 2020). Die Mengen und Preise des gegenwärtig in der Schweiz gehandelten Forstsaatguts (siehe **Anhänge 1 und 2**) sind nur für den Handel zwischen Forstbaumschulen bestimmt. Die Preise enthalten nicht die wahren Produktionskosten, die in der Schweiz angesichts der hohen Lohnkosten beträchtlich sind. Sie werden arbiträr auf der Basis der Importpreisen abgestimmt, und durch den Handel werden implizit die Erntedienste ausgetauscht. Im Moment ist es bestenfalls möglich nur kleine Mengen von Saatgut für kleine Experimente zu kaufen. Die Baumschulen (auch die öffentlichen) sind ungern bereit, "mühsam geerntetes" Saatgut von guter Qualität zu Sub-Preisen zu verkaufen, das dann bei Aussaatversuchen "verschwendet" wird (ibid.). Es ist denkbar, dass, wenn sich die Praxis der Aussaat durchsetzt, die Ernte und der Verkauf von Saatgut sich zu einem kommerziellen Geschäft entwickeln könnte, das von den Baumschulen selbst oder von spezialisierten Firmen betrieben würde (Bonavia 2020).

Der dritte Fall ist die wirtschaftlich attraktivste Option. Im Ausland, zumindest in Deutschland, Frankreich und Österreich, gibt es einen wahren Forstsaatgutmarkt mit kommerziellen Erntevorgängen. Nachstehend sind einige der Forstsaatguthändler aufgeführt, von denen importiert werden kann:

- Österreich: <https://www.herzog-samen.com/produkte/saatgut/>
- Deutschland: http://www.schloer-samen.de/produktbeschreibung-forst.htm#xl_anchor_hauptbaumarten
- Deutschland: <https://wildlinge.de/>
- Frankreich: <https://www.onf.fr/produits-services/+63::semences-forestieres-choisir-la-qualite-onf.html>

Die Preisliste von Herzog ist im Anhang 3 verfügbar. Man kann in der Regel gelagert oder bereits stratifiziertes (mit abgebauten Keimhemmung, d.h. keimende Saatgut) Saatgut bestellen (falls Aussaat in Frühling). Wichtig ist eine rechtzeitige Koordination mit dem Saatgutbetrieb.

Das Saatgut selbst ist ein zentraler Punkt für eine erfolgreiche Aussaat. Das Saatgut sollte dem Waldbesitzer für die gewünschte Baumart in ausreichender Menge, guter Qualität, mit passender Herkunft, möglichst zertifiziert, professionell geerntet, gelagert und aufbereitet zum richtigen Zeitpunkt zur Verfügung

stehen (LWF 2017). Für alles, was mit Samenernte, Samenlagerung und Samenaufbereitung zu tun hat, wird auf das Handbuch von Burkart (2018) verwiesen.

3.3 Standortsauswahl und -vorbereitung

Vorteile einer Überschildung (Preuss et al 2017):

- Überwärmung der Fläche wird verhindert
- Langsamere Umsetzung des Auflagehumus
- Anhaltende Erschliessung tieferer Bodenschichten mit Wasser- und Nährstoffaufnahme (Verringerung der Nährstoffauswaschung und der Gefahr des „Absaufens“ der Kultur bei grösseren Niederschlägen)
- Frostschutz
- Leicht dämmende Wirkung auf die konkurrierende Vegetation

Standortsauswahl:

Nach Ruppert & Rothkegel 2018, geändert und ergänzt. Eigene Darstellung.

Faktor	Beschreibung
Boden	Schauen nach vorhandenen Verdichtungen, Skelettanteil, Lufthaushalt (Überflutung, Stauwasser). Oberflächige Überflutung oder hoch anstehendes Stauwasser können das ausgebrachte Saatgut durch Luftabschluss schädigen bzw. sich negativ auf die Befahrbarkeit der zu bearbeitenden Flächen auswirken
Bodenbewuchs	• Einfluss auf Mikroklima und Keimbedingungen • Konkurrenz (in der Anfangsentwicklung) • Vorhandene Naturverjüngung anderer Baumarten kann ebenfalls zu späterer Konkurrenz führen -> höherer Pflegeaufwand Faustregel für einen für Weisstanne und Buche optimalen Bodenbewuchs: «Von weitem grün – aus der Nähe noch braun» (LWF 2017, Engesser et al 2011)
	Flächen mit hochwüchsiger Begleitvegetation wie Adlerfarn oder Brombeere sind für Freisaaten ungeeignet (Preuss et al 2017)
Klimaentwicklung und Witterung	Das Wissen um die Möglichkeit von Witterungsextremen (Trockenperioden, Hitzeperioden) lässt den günstigen Aussaatzeitpunkt festlegen und somit kritische Phasen für die Keimlinge vermeiden oder in deren Auswirkungen mindern
	Exposition und Trockenheit (zu lichte oder südexponierte Bestände und Waldränder) als Risikofaktoren
Altbestand	• Stabilität (Einzelbaum und Kollektiv) • Vitalität (Kronenausformung und -länge) • Gesundheit der Krone (Blattmasse, Verzweigung, Vorschädigungen) • Waldschutzrisikos (Pilze, Insektenbefall) -> Prognose der Lebensdauer und Schutzwirkung des Schirms ableiten
Bestandseingriffe	Mittelfristige (> 5 Jahre) Bestandsbehandlung berücksichtigen, um Schäden durch Holzfällung und -rückung zu vermeiden. Bestimmen ob kurzfristig (2–3 Jahre) das Anwachsen und Etablieren der Sämlinge möglich sein wird

Bestandesvorbereitung (Preuss et al 2017):

- Auflichten (Schirmstellung)
- Stärke der Auflichtung des Altbestandes abhängig von der Schirmbaumart und von der zu verjüngenden Baumart:
 1. Freisaat von Lichtbaumarten (Eichen, Föhre, Birken, etc.) nur unter Lichtbaumarten oder auf Freiflächen möglich, Schlussgrad $< 0,6$
 2. Freisaat von Halbschatt- oder Schattbaumarten unter Schirm, Schlussgrad $< 0,8$
- Räumung des Schlagabraumes für streifenweise oder flächige Bodenbearbeitung i. d. R. notwendig

3.4 Bodenbearbeitung

Die keimenden Samen benötigten schnellstmöglich einen Anschluss an den Mineralboden (Grossnickle und Ivetić 2017). Die Ausführung von Saaten ist deshalb fast immer verbunden mit einer Bodenbearbeitung, entweder oberflächlich in Form der Oberboden- oder Humusbehandlung oder tiefergreifend in den Mineralboden, um gute oder günstige Keimbedingungen zu schaffen (Ruppert und Rothkegel 2018).

Für die Bodenbearbeitung werden in Deutschland derzeit viele Techniken und Verfahren erprobt. Ziel ist die Rationalisierung der Aussaat durch Mechanisierung. Maschinen können für die Bodenbearbeitung sowohl wie für die Saatgutausbringung eingesetzt werden, die separat oder in Kombination (Kombigeräte) durchgeführt werden können. In diesem Zusammenhang sei auf einen Artikel der Firma Pfanzelt verwiesen, die eine spezielle Sämaschine für seine Forstraupe entwickelt hat:

<https://www.pfanzelt.com/en/pfanzelt-in-the-press/streifensaat-forst-und-technik/>

In allen Fällen, unabhängig davon, welches Direktsaatverfahren angewandt wird, muss die langfristige Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit gewährleistet sein (Art. 1 Abs. 1 Umweltschutzgesetz USG, Art. 1 Verordnung über Belastungen des Bodens VBBo). Da praktisch jede Bodenbewirtschaftung mit gewissen, meist vorübergehenden Veränderungen der Bodenstruktur verbunden ist, ist das Verbot der Bodenbearbeitung auf nachhaltige Beeinträchtigungen der Bodenfruchtbarkeit begrenzt, wobei vorübergehende Beeinträchtigungen akzeptiert werden (Botschaft des Bundesrates 1993; Lüscher et al 2016). Je nach vorgesehener Bodenbearbeitung kann auch eine vorherige Analyse der kantonalen Richtlinien erforderlich sein. Im Wald werden in der Regel Dauerschäden festgestellt, wenn Fahrspuren von Typ 3 vorhanden sind (ibd.).

3.4.1 Humusbehandlung – Freilegen des Mineralbodens

Voraussetzung für diese Verfahren sind keine hohen Humusaufgaben und keine umfangreiche Konkurrenzvegetation durch Gräser, Sträucher oder Brombeere. Für kleine Flächen sind Harken und Hacken gut geeignet. Bei grösseren Flächen ist der Einsatz von Freischneidern mit Messer empfohlen. Es können auch Mischungen aus Humus und Mineralboden als Keimbett erzeugt werden (Ruppert und Rothkegel 2018). Sollen grössere Flächen vorbereitet werden, wird der Einsatz von bodenbearbeitenden landwirtschaftlichen Geräten empfohlen. Diese können von Pferden sowie kleinen Schleppern gezogen werden. Bei lockerem Bodenbewuchs ist der Einsatz von spezielle Kombigeräten, die häufig nur wenig in den Mineralboden eingreifen, möglich (Preuss et al 2017).

3.4.2 Behandlung mit tiefergehendem Eingriff in den Mineralboden

Bei stärkeren Humusauflagen, bei zur Vergrasung neigenden Flächen oder bei stärkerem Bewuchs mit Sträuchern wird eine Vorbereitung durch Fräsen oder Mulchgeräte empfohlen. Bei einer solcher Bodenbearbeitung, die eine lockere Krümelstruktur des Mineralbodens erzeugt, ist es vorteilhaft, wenn sich der Boden vor der Aussaat einige Monate setzen kann, was die Wasserführung begünstigt (Bearbeitung im Herbst, Aussaat im Frühjahr; Preuss et al 2017). Speziell entwickelte Sähgeräte können das Fräs- bzw. Mulchgut verdichten, darauf das Saatgut ablegen und standardisiert mit Bodensubstrat abdecken (Abbildung 3 links).

Die mechanisierten Möglichkeiten sind vielfältig und es scheint im Moment kein "Standardverfahren" zu geben. Allerdings muss auch die Wahl des Verfahrens an die Situation angepasst werden. Bei Fichtenschirm ist z.B. eine plätzweise Bodenvorbereitung (z. B. mit Bagger von der Rückegasse aus) ratsam, um die flachstreifenden Wurzeln der Fichte nicht zu stark zu verletzen.



Abbildung 4 Links: eine Rotbuchensaat mit langsam laufender Fräse und Saatgerät. Mitte: Rillensaat für Eiche mit Fräse. Rechts: Anlage von Saatrillen für Weisstanne mit Scheibenegge (Ruppert & Rothkegel 2018)

Verfahren	Baumarten	Bemerkungen
Handsaaten	alle Baumarten	arbeitsintensiv / kostenintensiv Sonderfälle: steil, steinig, blocküberlagert, Klein(st)flächen
Pferdesaaten	Weißtanne, Buche, Ahorn, Eiche, Lärche, Kiefer, Douglasie	flächiger Einsatz sinnvoll, sehr flexibel im Bestand, z. T. Schlagabraumbehandlung
Maschinensaaten	Eiche, Buche, Ahorn, Birke, Weißtanne, Douglasie	flächiger Einsatz sinnvoll, geräumte Flächen, 20 % Hangneigung
Fräsen	Eiche, Buche Ahorn (Weißtanne, Birke, Kiefer)	geringe organische Auflagen; Fräsmaterial gut setzen lassen!
Grubbern	Weißtanne, Kiefer, Eiche	Humusauflagen geringmächtig
Mulchen	Eiche, Buche, Ahorn, Kiefer	vor allem in Beerkrautbeständen, Durchmischung von Rohhumus und Mineralboden; Fräsmaterial gut setzen lassen!
Scheibenpflug	Eiche, Weißtanne, Buche, Birke, Kiefer, Douglasie	flächiger Einsatz, Maschinenbefahrbarkeit

Abbildung 3 Verfahren der Bodenvorbereitung (Ruppert & Rothkegel 2018)

3.5 Saatgutausbringung

3.5.1 Grösse und Form der Saatfläche

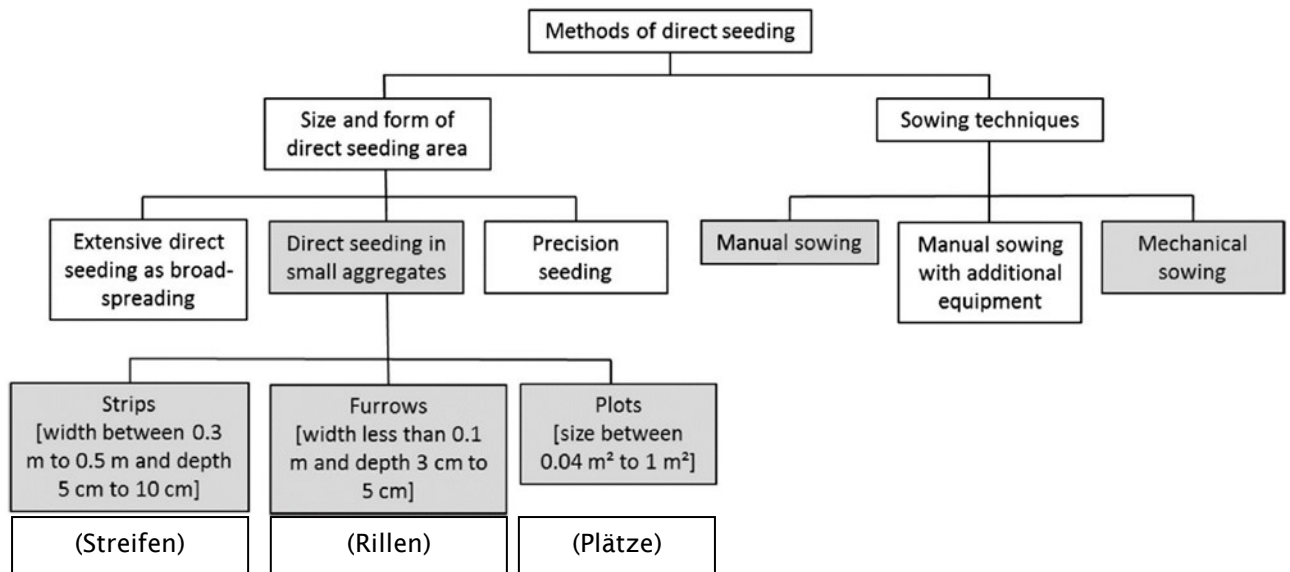


Abbildung 5 Methoden der Direktsaat (Huth et al 2017)

Neben vollflächigen Saaten («Extensive direct seeding», Abb. 4) und Punktsaaten («Precision seeding») werden überwiegend Saaten in Gruppen durchgeführt. In der Reihensaat werden die Samen normalerweise gleichmässig in Streifen («Strips») oder Rillen («Furrows») abgelegt, die einige Meter voneinander entfernt sind (normalerweise etwa 2m). Eine andere Möglichkeit ist die kleinflächige Plätzeaat («Plots»), die zum Beispiel für die Weisstannen verwendet wird (Wald und Holz NRW 2017).

Die Wahl der Grösse und Form der Saatfläche hängt sowohl vom waldbaulichen Ziel als auch von der gesäten Baumart ab. Rillen oder schmale Streifen können sich bei starker Vernässung oder hoher Luftfeuchtigkeit ungünstig auf das Saatgut oder den Keimling auswirken. Zwar verträgt beispielsweise die Stieleiche eine Vernässung in der Rille über kurze Zeit gut und kann evtl. sogar die gute Wasserversorgung nutzen, die Weisstanne wird bei gleichen Bedingungen jedoch schnell geschädigt und stirbt ab (Ruppert und Rothkegel 2018).

3.5.2 Saattechniken

Die Handsaat ist geeignet bei kleineren Saatflächen bzw. Saatsmengen. Eine Pferde- oder maschinenunterstützte Aussaat ist bei grossflächigen Saaten oder Saaten mit hohem Saatsmengeneinsatz geeignet. Bei der Menge des auszubringenden Saatguts sollte man in der Regel nicht sparen und eher an die obere Grenze der genannten Rahmenwerte (Abb. 9) gehen (Preuss et al 2017). Ist die Keimfähigkeit des Saatgutes unterdurchschnittlich, sollte die Aussaatmenge erhöht werden.

Das Saatgut muss dann mit Erde bedeckt werden. Die Faustregel ist, dass das Saatgut maximal zwei bis drei Korngrössen bedeckt sein muss (LWF 2017). Es wird auch empfohlen, den Boden nach der Aussaat leicht anzudrücken (Herzog 2020). Zu tief abgelegtes Saatgut wird «beerdigt», d. h. die Keimkraft reicht in der Regel nicht mehr aus, die Keimblätter oder den Spross nach oben über die Erde zu bringen (Ruppert und Rothkegel 2018). Lichtkeimende Arten wie Birke müssen nicht abgedeckt werden. Sollte bei der Keimung eine starke Hitze/Sonneneinstrahlung herrschen, sollte die Erde feucht gehalten werden und nicht austrocknen. Zu diesem Zweck können auch Netzen genutzt werden (Schattierung; Herzog 2020).

3.5.3 Wildschutz

Wie bei der Naturverjüngung oder bei Pflanzungen, muss bei der Aussaat die Wilddichte vor Ort waldverträglich sein. Sonst muss die Kultur gezäunt werden.

Die Entfernung von Samen durch samenfressende Vögel und Nagetiere ist weithin als ein wichtiger limitierender Faktor für die Direktsaat anerkannt. Auf landwirtschaftliche Flächen ist es ein kleineres Problem da es geringeren Reichtum an samenfressenden Tieren gibt. Die landwirtschaftlichen Praktiken wie Ernten und Pflügen neigen dazu, den Populationsaufbau zu verringern. Im Wald scheint die Holzernte keine ähnlichen Auswirkungen auf die Häufigkeit von samenfressenden Tieren zu haben (Forest Research 2020). Jede Saatgutart hat ihre eigene Anfälligkeit für Fressfeinde. So ist beispielsweise Tannensaatgut weniger gefährdet als Buchensaatgut (Irmischer ohne Datum). Im Allgemeinen sind Arten mit grössere Samen (Eiche, Buche, Hasel, ...) stärker bedroht. Die Aussaat im Frühjahr ist in dieser Hinsicht weniger problematisch als im Herbst, da die Tiere mehr Nahrungsquellen haben und das Saatgut für weniger Zeit zur Verfügung steht. Obwohl das Problem nicht vollständig vermieden werden kann, gibt es 5 Hauptgegenmassnahmen:

1. Aussaat in Gebieten mit einer hohen Konzentration von Fressfeinde vermeiden.
2. Deckung des Saatgutes mit Erde. Der Geruch wird verdeckt und das Saatgut wird schwieriger zu finden und entfernen.
3. Saatgut von verschiedene Arten mischen (mit hohem und niedrigem Frassrisiko), somit wird ein Totalausfall vermeiden. Schutzbehandlungen, wie z.B. Repellentien oder seed shelters, könnten sich auf die Hochrisikokategorie konzentrieren.
4. Seed shelters (siehe nächstes Kapitel). Eine ähnliche Wirkung haben die Netze, die für die Schattierung verwendet werden können.

3.5.4 Seed shelters

Es gibt mehrere verschiedene Arten von seed shelters. Einige dienen ausschliesslich dazu, das Saatgut vor Raubtieren zu schützen (z.B. das Schutzgitter für Eicheln in Reque und Martin 2015), während andere sich darauf konzentrieren, positive Keim- und Wachstumsbedingungen für das Saatgut zu schaffen (Keimhilfen). Einige machen beides (bspw. <https://growtube.com/directseeding/>).

Über die Leistung von Aussaaten mit seed shelters wird in einer Reihe von Studien berichtet (siehe Grossnickle und Ivetić 2017, Seiten 124 und 125 für eine ausführliche Auflistung). Im Allgemeinen erweist sich die Methode als effektiv. In einer Studie von Barton et al (2015) förderten seed shelters erfolgreich die Keimung von Saatgut (1-12% ungeschützt vs. 77%-84% geschützt) und das Überleben von Sämlingen (1-10% ungeschützt vs. 54%-74% geschützt). In einer Meta-Analyse von 30 Studien, die insgesamt 89 Arten in Betracht nehmen, stellten Ceccon et al (2015) fest, dass die Anwendung von seed shelters (verschiedener Sorten und Modi) zu einer fast zweifachen Erhöhung der Keimungswahrscheinlichkeit führte, obwohl es keinen Vorteil während des Sämlingswachstums gab. Auch wenn seed shelters den Erfolg erhöhen, so erschwert ihre Verwendung doch den Prozess der Aussaat und erhöht die Saatkosten, wodurch einer der Vorteile der Direktsaat im Vergleich zur Pflanzung geschmälert wird (Grossnickle und Ivetić 2017).

Die Direktsaat mit Keimhilfen wurde im Kontext des Gebirgswaldes auch in der Schweiz von der WSL eingehend untersucht (Schönenberger et al 1990, Dahmer 2007). Es wurde ein Verfahren untersucht, bei dem kleine, kegelförmige Treibhäuschen aus zersetzbarem Kunststoff verwendet werden. In folgenden Fällen ist die Direktsaat mit Keimhilfen eine Alternative zu Pflanzungen:

- In Bestandeslücken mit wenig Schlagflora, da wo genügend Licht und Wärme den Boden erreicht. An extrem heissen Südhängen sind Mulden und überschattende Standorte vorzuziehen.
- An Stellen, wo der Borkenkäfer kleine Bestandeslücken geschaffen hat
- Nach Waldbrand fehlt die Vegetation, und je nach Brandintensität fehlt stellenweise die Streu- und Humusschicht. Die Bodenverhältnisse (Mineralerde) für Direktsaaten sind auch ohne aufwendige Bodenbearbeitung hervorragend. Bei genügend Feuchtigkeit im Frühjahr bringen Saaten mit Lärche und Föhre sehr gute Ergebnisse.
- Ein weiteres Einsatzgebiet der Saat mit Keimhilfen sind Sturmflächen. Dort findet man viele geeignete Kleinstandorte für Saaten mit und ohne Keimhilfen.

Für das Verfahren gibt es ein spezielles, in Schweden entwickeltes Werkzeug (Abb. 6), das die Umsetzung erleichtert. Die Sämlinge werden gerne abgefressen, wenn sie aus den Keimhilfen wachsen. Darum ist nach 2-3 Jahren ein chemischer Wildschutz nötig (besser ist natürlich ein Zaun) (WSL ohne Datum).



Unter leichtem Drehen und mit geringem Druck wird der Saatstock im zuvor mit dem Fuß freigelegten Mineralboden befestigt.



Eine Transportscheibe nimmt eine bestimmte Anzahl Samenkörner mit. Meist fielen zwei bis drei Körner in den Kegel.



Mit dem schwarzen Hebel neben dem Samendepot (Abb. 5) wird der Plastikkegel freigegeben.



Abbildung 6 Oben: Saatstock System CERKON (Dahmer 2007). Unten: Saaten auf der Waldbrandfläche Balzers (WSL ohne Datum)

Weitere Techniken:

Hydro Seeding

Hydro Seeding ist eine Technik, bei der eine Mischung aus Wasser, Saatgut, Düngemitteln, organischen Bindemitteln und Mulch auf die zu begrünende Fläche gespritzt wird. Sie wird normalerweise für Graspflanzen und nicht für die Aussaat von Bäumen verwendet. Mühlethaler et al (2009) analysierten den Einsatz von landwirtschaftlichen Hydranten zur Verbreitung von Saatgut von Bäumen mit grossen Samen (Kirsche und Eiche). In der Studie wurde nur Wasser verwendet, ohne spezielle Mischung. Ziel war es, einen rationalisierten und wirtschaftlichen Prozess zu testen, um die natürliche Verjüngung mit Edellaubhölzern zu bereichern. Die Autoren der Studie betonen die technische Machbarkeit des Verfahrens, geben aber keine Informationen über das spätere Keimen und Wachstum der Pflanzen an. Ein Besuch vom 21.7.2020, der persönlich auf den Versuchspartellen der Studie durchgeführt wurde, bestätigt das völlige Fehlen von Bäumen, die sich aus der Aussaat entwickelt haben. Kleineres Saatgut könnte zusammen mit der konventionell verwendeten Mischung gespritzt werden (Palma et al 2015). Im Idealfall erzeugt die Hydrosaat eine dünne Schicht, die das Saatgut bedeckt, ähnlich wie bei der Bedeckung des Saatguts mit Oberboden, wodurch die Keimung des Saatguts verbessert wird (Grossnickle und Ivetić 2017).

Aufgrund der Besonderheiten des Verfahrens (Ungenauigkeit der Aussaat, grosse Maschinen), würde sich der Anwendungsbereich auf kahle, leicht zugängliche und vollständig vorbereitete Flächen beschränken. Ein Beispiel könnte die Aufforstung von landwirtschaftlichen Flächen sein. Die Ausbringung nur mit Wasser ist wegen der mangelnden Saatgutbedeckung (Boden oder Mischung) ebenfalls problematisch. Im Fall der Ausbringung mit der speziellen Mischung, können ungeeignete Wetterbedingungen zur schnellen Zersetzung der Deckschicht führen, wodurch das Saatgut vor dem Keimen gleich freigelegt wird.



Abbildung 7 Der Versuch von Mühlethaler et al (2009). In Anbetracht dessen, was bisher in diesem Bericht beschrieben wurde, scheint der Versuch in vielen Punkten im Widerspruch zu den "state of the art" der Direktsaat im Wald zu stehen.

Direktsaat aus der Luft

Die Direktsaat aus der Luft wird weltweit seit Jahrzehnten durchgeführt (Novikov und Ersson 2019, Grossnickle und Ivetić 2017). Der Hauptfortschritt in diesem Bereich wurde mit der Entwicklung von Samen-Bündeln («seed bombs», «seed darts» oder «seed pouches») erzielt, die verschiedene Materialien enthalten, darunter Erde, Nährstoffe, Wildschutz-Substanzen und anderes. Im Vergleich zu nackten Samen erhöht der Einsatz dieser Pakete die Wahrscheinlichkeit einer erfolgreichen Aussaat (höhere Keimungsraten

und Überlebenswahrscheinlichkeit). In jüngster Zeit werden zudem Drohnen eingesetzt, die eine weitere Automatisierung des Dispersionsprozesses ermöglichen (siehe z.B. www.droneseed.co). Im Allgemeinen ist die Aussaat aus der Luft für grosse, abgelegene Gebiete interessant, die vom Boden her schwer zu erreichen oder zu begehen sind. Sie kann aber nicht unter Berücksichtigung aller Besonderheiten von Kleinstandorten erfolgen, die für eine erfolgreiche Aussaat wichtig sind. Ausserdem ist die Präzision der Aussaat selbst (z.B. die Tiefe der Samen im Boden) geringer. Schliesslich kann die Aussaat aus der Luft nur auf offenen Flächen mit wenigen Störelementen am Boden (Bodenvegetation, Steine, Felsen, ...) erfolgen. Waldbrandflächen im Gebirge könnten für die Schweiz ein mögliches Einsatzgebiet sein.

Eichensaat durch «Pflanzhelfer»

Um Nahrungsvorräte anzulegen, transportieren unterschiedliche Tiere (Mäuse, Eichelhäher, Kleiber, Eichhörnchen) als „Pflanzhelfer“ Samen. Eichelhäher (<https://www.vogelwarte.ch/de/voegel/voegel-der-schweiz/eichelhaeher>) sind sehr aktiv und erfolgreich bei der Auswahl und dem Verstecken der Eicheln unter vorhandenem Schirmbestand. Das natürliche Potenzial der aktiven Samenverbreitung erlaubt eine gezielte waldbauliche Nutzung (Leder und Schölmerich 2013). Transportentfernungen von Eicheln können bis 600 m betragen. Auch Ferntransporte bis 1,5 km wurden nachgewiesen (ibid.). Findet der Eichelhäher in seinem Revier nicht genügend fruchttragende Bäume, sollte zugefüttert werden, indem im Oktober an bzw. in der Fläche Kisten (Holzkisten mit einer Grundfläche von 50 x 50 cm und einem ca. 10 cm hohen Rand auf ca. 1 m hohen Pfählen) mit Eicheln aufgestellt werden. So kann auch die genetische Varianz mit geeigneten Herkünften erhöht werden. Für einen Hektar zu besäende Fläche werden 4–5 Kisten benötigt, die ggf. mehrjährig mit ca. 65 kg Eicheln (ca. 20.000 Stück) zu füllen sind. Alle 3–5 Tage werden die mit Eicheln gefüllten Kisten kontrolliert, nachgefüllt und die vom Häher verschmähten Eicheln (hohle, von Insekten u. Pilzen befallene Eicheln) entnommen. Die Aussaat des Eichelhähers ist eher zufällig und man wird nicht hohe Stammzahlen erreichen, aber diese Methode kann nützlich sein, um einen Mischwald mit Eichen zu bereichern.

3.6 Saatzeitpunkt

Grundsätzlich kann in zwei Perioden gesät werden: Herbst oder Frühjahr. Durch die Aussaat im Herbst können die natürlichen Abläufe wie Nachreifen, Abbau der Keimhemmung und angepasstes Keimen ausgenutzt werden. Die Aussaat im Frühjahr hingegen erfordert bei den meisten Arten (aber nicht alle) eine Behandlung, die als Stratifizierung bezeichnet wird (Abbau der Keimhemmung, die im Winter entsteht). Die Aussaat im Frühjahr ist auch gegen samenfressende Tieren zum Vorteil und sie kann, da die künstliche Stratifizierung ein genau kontrollierter Prozess ist, zu höheren Keimraten führen. Ist das Ende des artenspezifischen Stratifikationszeitraumes erreicht, muss möglichst unverzüglich ausgesät werden. Verzögert sich der Aussaattermin, besteht die Gefahr, dass die kleinen bereits hervor geschobenen Keimwurzeln abbrechen oder sich Wurzelverkrümmungen bilden. Stratifikationszeitraum und Aussaatzeitpunkt sind deshalb eng mit dem Saatgutbetrieb abzustimmen (Preuss et al 2017).

Im Folgenden werden geeignete Aussaatzeiten für verschiedene Baumarten aufgelistet:

Aussaat	Baumart	Begründung / Erläuterung
Frühjahr	Buche	Fressfeinde Stratifizierung ermöglicht gute Auflaufergebnisse
	Kiefer	Fressfeinde (Herbst / Winter)
	Lärche	Fressfeinde (Herbst / Winter)
	Douglasie	Fressfeinde (Herbst / Winter)
	Eichen	nur bei guter Lagermöglichkeit und thermotherapiertem Saatgut
	Weißtanne	mit eingelagertem und stratifiziertem Saatgut
Herbst / Winter	Weißtanne	frisches Saatgut unmittelbar nach Ernte und Nachreife und eingelagertes Saatgut
	Eichen	unmittelbar nach Ernte
	Buche	nur wenn ausreichend Saatgut vorhanden
	Esche, Bergahorn, Spitzahorn	

Abbildung 8 Günstige Aussaatzeiten (Ruppert und Rothkegel 2018)

3.7 Häufigste Gründe für Misserfolg (Preuss et al 2017)

- Ungeeigneter Standort (zu trocken, zu nass, spätfrostgefährdet)
- Ungeeignete Witterungsverhältnisse bei der Aussaat und nach Auflaufen der Saat (Trockenheit, Nässe, Frost)
- Fehlerhafte Aussaatmethoden:
 - Unzureichender Kontakt mit Mineralboden
 - Saat zu tief, zu stark übererdet – Keimlinge erreichen nicht die Oberfläche
 - Nicht abgedeckt, dadurch stärkerer Tierfrass und evtl. schnelleres Austrocknen der angekeimten Samen
 - Saat wird in bindigem Boden zu stark festgedrückt, Luftabschluss, Samen keimen nicht
 - Tierfrass (Saatgut und Keimlinge) insbesondere durch Mäuse, Vögel, Wildschweine
 - Keimlingskrankheiten insbesondere bei feuchter Witterung
 - Vergrasung, Verkrautung, konkurrierende Begleithölzer

4 Zusammenfassung nach Baumart

Übersicht

Baumart	Ausgangslage	Bodenvorbereitung	Saatgut/-menge	Saatzeitpunkt	Saattechnik	Schutz/Pflege
Traubeneiche Stieleiche Roteiche	Standort: nicht bei ·Wasserüberschuss ·tonigen Böden ·starker Konkurrenz- vegetation Freiflächen oder Schirm aus LichtBA mit $B^* < 0,6$	Fräsen oder Pflügen Nach Fräseinsatz mind. 2 - 3 Monate setzen lassen Mineralboden freilegen	1000-Korngewicht > 3.000 g (RotEi > SEi > TEi) Thermobehandlung erforderlich (200-) 300 kg/ha	Frühjahrssaat (März/Anfang April) Achtung Fressfeinde!!!	Rillen- oder Streifensaat z.B. mit Rotenburger Sämaschine (Wibbelt) oder im kombinierten Verfahren mit Sögeler Frontpflug Übererdungstiefe ca. 5 cm (je trockener und leichter der Boden desto tiefer)	Zaunbau unbedingt erforderlich i.d.R. intensive Jungwuchspflege in den ersten Standjahren
Buche	Standort: Mittlere Buchenstandorte, keine bindigen oder skelettreichen Böden Nur Voraussaaten unter stabilem Altholzschirm Bei Fi-Schirm max. $B^* < 0,8$, aber ohne Vergrasungstendenz	i.d.R. kombinierte Verfahren (siehe Saattechnik) nur Abschälen, kein Fräseinsatz Mineralboden freilegen manuelle Saat auf Kulla- oder Silvafix-Plätzen möglich	1000-Korngewicht ca. 300g Keimfähigkeit > 60 % Saatgut nachgereift, angespitzt 25 - 30,- kg/ha	Frühjahrssaat (Ende März - Anfang Mai) je nach Standort (Klima) und Verlustrisiko	Rillen- oder Plätzeaat Mit Pferd oder Schlepper: ·Öko-Sat/U Nur Schlepper: ·SäGrimm-MV ·Sämagrub ·Waldgrubber Übererdungstiefe 2 - 4 cm	Zaunbau unbedingt erforderlich Schutz vor Vogelfraß z.B. durch Schussapparate unerlässlich i.d.R. keine Jungwuchspflege erforderlich
Douglasie	Schwach bis höchstens mäßig versorgte, mäßig frische bis sommer- trockene Standorte Freiflächen nur bei geringer Konkurrenz durch Bodenvegetation Voraussaaten unter Fichte ($B^* \text{ max. } 0,6$) oder Kiefer	Streifenpflug (unter Kiefer) Silvafix Kulla-Gerät Mineralboden freilegen frühe Bodenvorbereitung fängt die Naturverjüngung mit ein	1000-Korngewicht 10 g Keimfähigkeit >60% 1,0 kg/ha	Frühjahrssaat (Ende März - Anfang Mai) Verluste durch Fressfeinde!	Rillen- oder Plätzeaat als manuelle "Flaschensaat" evtl. flach einharken Dibbelgerät	i.d.R. kein Zaunbau und keine Jungwuchspflege, evtl. Mischungsregulierung
Lärche	auf Freiflächen oder unter Schirm ($B^* \text{ max. } 0,6$)	Streifenpflug (unter Kiefer) Silvafix Kulla-Gerät Mineralboden freilegen frühe Bodenvorbereitung fängt die Naturverjüngung mit ein	1000-Korngewicht 7 g Keimfähigkeit > 40% Saatgut bewässert und vorgekühlt 1,0 kg/ha	Frühjahrssaat (Ende März - Anfang Mai) Verluste durch Fressfeinde!	Rillen- oder Plätzeaat als manuelle "Flaschensaat" evtl. flach einharken Dibbelgerät	i.d.R. kein Zaunbau und keine Jungwuchspflege, evtl. Mischungsregulierung
Kiefer	auf Freiflächen oder unter Schirm ($B^* \text{ max. } 0,6$)	Streifenpflug (unter Kiefer) Silvafix Kulla-Gerät Mineralboden freilegen frühe Bodenvorbereitung fängt die Naturverjüngung mit ein	1000-Korngewicht 7g Keimfähigkeit 80% Saatgut bewässert 1,0 kg/ha	Frühjahrssaat (Ende März - Anfang Mai) Verluste durch Fressfeinde!	Rillen- oder Plätzeaat als manuelle "Flaschensaat" evtl. flach einharken Dibbelgerät	i.d.R. kein Zaunbau und keine Jungwuchspflege, evtl. Mischungsregulierung
Küstentanne	unter Schirm ($B^* \text{ max. } 0,6$)	Streifenpflug (unter Kiefer) Silvafix Kulla-Gerät Mineralboden freilegen frühe Bodenvorbereitung fängt die Naturverjüngung mit ein	1000-Korngewicht 20g Keimfähigkeit >40% Saatgut bewässert und vorgekühlt 3,0 kg/ha	Frühjahrssaat (Ende März - Anfang Mai) Verluste durch Fressfeinde!	Rillen- oder Plätzeaat als manuelle "Flaschensaat" evtl. flach einharken Dibbelgerät	i.d.R. kein Zaunbau und keine Jungwuchspflege, evtl. Mischungsregulierung
Birke	auf Freiflächen oder unter Schirm ($B^* \text{ max. } 0,6$)	Streifenpflug Silvafix Kulla-Gerät	ca. 1 Mio. lebende Keime/kg 1,0 kg/ha	Schneesaat mit dem ausgehenden Winter natürliche Vorkühlung des Saatgutes, guter Bodenschluß mit dem abtauenden Schnee	Saatgut mit Sand vermischen von Hand ausbringen evtl. Flaschensaat möglich nicht abdecken, Lichtkeimer	i.d.R. kein Zaunbau und keine Jungwuchspflege

Abbildung 9 Übersicht Praxistipps zur Freisaat im Wald (Preuss et al 2017)

5 Schematische Entscheidungshilfe am Beispiel der Weisstanne

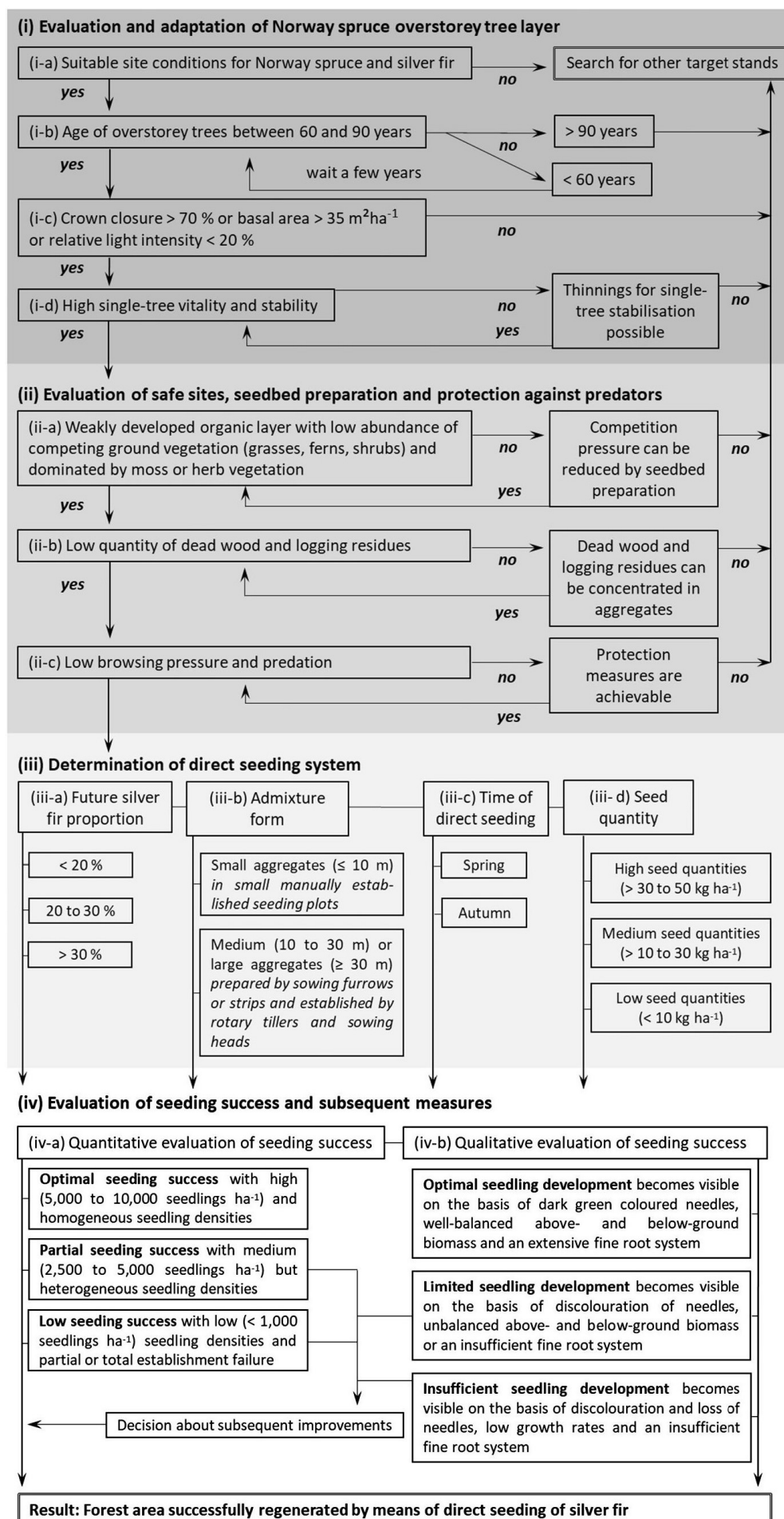


Abbildung 10 Entscheidungspfad zur Etablierung der Weisstanne als Mischbaumart durch Direktsaat (Huth et al 2017)

6 Literatur

- Barton C, Miller J, Sena K, Angel P, French M, 2015. Evaluating the Use of Tree Shelters for Direct Seeding of *Castanea* on a Surface Mine in Appalachia. *Forests* 6 (12): 3514–3527.
- Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF), 2017. LWF-Merkblatt Nr. 37. Freisaaten im Wald.
- Bonavia F, 2020. Leiter der kantonale Forstbaumschule in Lattecaldo, TI. Interview zur Freisaat. Telefongespräch vom 01.07.2020.
- Burkart, 2018. Kulturanleitungen für Waldbäume und Wildsträucher. Anleitungen zur Samenernte, Klenkung, Samenlagerung und Samenausbeute sowie zur Anzucht von Baum- und Straucharten. WSL. WSL Berichte 63. 104 S.
- Ceccon E, González EJ, Martorell C, 2015. Is Direct Seeding a Biologically Viable Strategy for Restoring Forest Ecosystems? Evidences from a Meta-analysis. *Land Degrad. Develop.* 27 (3): 511–520.
- Dahmer J, 2007. Plastikkegel schützen Lärchenkeimlinge. Mini-Gewächshäuser fördern Keimung und Keimlingsentwicklung. *LWF aktuell* 56: 40–42.
- Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL), ohne Datum. Saaten mit Keimhilfen. Abgerufen am 27.03.2020, <https://www.wsl.ch/de/wald/bewirtschaftung-und-waldfunktionen/waldbau-wachstum-und-ertrag/waldverjuengung/aufforstung-mit-saaten.html>
- Engesser E, Haberer R, Mages V, 2011. Tannensaaten im Forstbetrieb Kelheim. Die Tannen-Offensive der Bayerischen Staatsforsten im Kelheimer/Oberpfälzer Jura. *LWF aktuell* 80: 8–10.
- Forest Research, 2020. Predation of direct sown seed. Abgerufen am 15.07.2020, <https://www.forestryresearch.gov.uk/research/plant-production/studies-on-the-fate-of-direct-sown-tree-and-shrub-seeds/predation-of-direct-sown-seed/>
- Fürst E, 2020. Verantwortlicher für das Forstliche Vermehrungsgut am BAFU. Interview zur Freisaat. Telefongespräch vom 24.04.2020.
- Grossnickle S, Ivetić V, 2017. Direct Seeding in Reforestation – A Field Performance Review. *REFOR* (4): 94–142.
- Herzog AG, 2020. Anleitung zur Aussaat im Freiland. E-mail vom 22.06.2020.
- Huth F, Wehnert A, Tiebel K, Wagner S, 2017. Direct seeding of silver fir (*Abies alba* Mill.) to convert Norway spruce (*Picea Abies* L.) forests in Europe. A review. *Forest Ecology and Management* 403: 61–78.
- Irmscher T, ohne Datum. Die Tannensaate. Ein günstiges Verjüngungsverfahren für privaten Waldbesitz. Abgerufen am 26.03.2020, https://www.sbs.sachsen.de/download/sbs/26_DieTannensaate.pdf
- Landolt und Walker, 2019. Grundlagenbericht zum forstlichen Vermehrungsgut in der Schweiz. Bericht zuhanden der Abteilung Wald des Bundesamts für Umwelt (BAFU). Lausanne.
- Leder und Schölmerich, 2013. Begründung von Waldbeständen. Naturverjüngung, Saat, Pflanzung. Bonn: aid infodienst - Ernährung Landwirtschaft Verbraucherschutz. AID 1093. 85 S.
- Lüscher et al, 2016. Physikalischer Bodenschutz im Wald. Waldbewirtschaftung im Spannungsfeld zwischen Wirtschaftlichkeit und Erhaltung der physikalischen Bodeneigenschaften. Bern: Bundesamt für Umwelt. Umwelt-Wissen 1607. 159 S.
- Mühlethaler et al, 2009. Innovative Saatmethoden von Kirsche (*Prunus avium*) und Eiche (*Quercus* sp.) im Wald. Technische Machbarkeit. Schlussbericht. Zollikofen. HAFL. 65 S.
- Novikov AI, Ersson BT, 2019. Aerial seeding of forests in Russia. A selected literature analysis. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 226: 12051.

- Palma AC, Laurance SG, Marrs R, 2015. A review of the use of direct seeding and seedling plantings in restoration. What do we know and where should we go? *Appl Veg Sci* 18 (4): 561–568.
- Preuss A, Kiefer K, Gille K, Heinrichs D, 2017. Praxistipps der fsb Oerrel zur Freisaat im Wald. Abgerufen am 14.07.2020, https://www.landesforsten.de/wp-content/uploads/2019/01/flyer_freisaat_2017.pdf
- Reque JA, Martin E, 2015. Designing acorn protection for direct seeding of quercus species in high predation areas. *Forest Syst* 24 (1): 18.
- Ruppert O, Rothkegel W, 2018. Die Saat im Wald - wieder entdeckt. *LWF aktuell* (1): 37–40.
- Schönenberger W, Wasem U, Barbezat V, 1990. Mehr Keimlinge dank Plastikkegel. *Baumsaaten mit Keimhilfen im Gebirge. Wald und Holz* 72 (4): 24–29.
- Toumey, 1916. *Seeding and Planting in the Practice of Forestry*. New York: John Wiley and Sons, Inc
- United Nations (UN), 2014. New York declaration on forests. Declaration and Action Agenda. Abgerufen am 30.03.2020, https://www.undp.org/content/dam/undp/library/Environment%20and%20Energy/Forests/New%20York%20Declaration%20on%20Forests_DAA.pdf
- Wald und Holz NRW, 2017. Weisstanne – gesät statt gepflanzt. Anleitung zur Manuellen Plätze- und Streusaat. Abgerufen am 26.03.2020, https://www.wald-und-holz.nrw.de/fileadmin/Publikationen/Faltblaetter/Faltblatt_Manuelle_Plaetzesaat_Weisstanne__Wald_und_Holz_NRW_.pdf

7 Anhänge

1. Richtpreise für forstliches Saatgut 2010, WSL
2. Saatgutangebot 2012, WSL
3. Preisliste Saatgut 2020, Herzog Samen AG
4. Literaturübersicht