

2020

Steckbriefliche Zusammenfassung von
Projektergebnissen im Rahmen des
Projektos Vita-Min

Forstanbausysteme in Bergbaugebieten (TP 1.10)



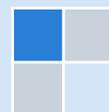
LANDESAMT FÜR UMWELT,
LANDWIRTSCHAFT
UND GEOLOGIE



Europäische Union. Europäischer
Fonds für regionale Entwicklung.
Evropská unie. Evropský fond pro
regionální rozvoj.



Ahoj sousede. Hallo Nachbar.
Interreg VA / 2014–2020



Einführung, Hintergrund und Zielstellung

Die Kontrolle der Wassergüte von bergbaubeeinflussten Fließgewässern stellt nach wie vor eine große Herausforderung dar. Entsprechend der europäischen Wasserrahmenrichtlinie ist es von hoher Priorität den Eintrag schädlicher Stoffe in die Gewässer zu vermeiden. Deshalb werden Maßnahmen zur Reduzierung der Gewässerbelastung gesucht. In Bergbaugebieten gelangen die Belastungen vordergründig diffus in die Grund- und Oberflächengewässer und sind damit schwer zu fassen. Halden und Kippen, als Folgen von Bergbauaktivitäten, sind bedeutende Schadstoffquellen, die schadstoffbelastete Rückstände enthalten. Diese werden mit dem Sickerwasser aus der Halde bzw. Kippe ausgetragen. Mithilfe einer gezielten Bepflanzung der Halden und Kippen kann der Austrag von Sickerwässern vermindert werden. Forstanbausysteme können aufgrund ihrer höheren Verdunstungsleistung im Vergleich zu Wiesen oder Sträuchern dazu beitragen, die Sickerwassermenge und damit den Schadstoffaustrag zu reduzieren.

Derzeit hat die Rekultivierung von Halden und Kippen allerdings nicht primär zum Ziel den Wasserhaushalt zu beeinflussen, sondern einen naturnahen Lebensraum für Pflanzen und Tiere herzustellen. Mit dieser Studie soll der Einfluss von Forstanbausystemen auf die Sickerwassermenge sowie die Bedeutung der Klimaveränderungen für den Forst aufgezeigt werden.

Methodik

Die forstliche Rekultivierung der sächsischen Bergbauhinterlassenschaften veränderte sich über die Jahre. Während in den Anfängen Mischbestände genutzt wurden, fokussierte die Bewaldung später auf Baumarten, die als Holzlieferanten dienten. Heute ist eine multifunktionale Bergbaufolgelandschaft das Ziel. Insbesondere vor dem Hintergrund des stattfindenden Klimawandels ist für einen multifunktionalen Standort die Wahl geeigneter Baumarten essentiell. Deshalb wurden ausgehend von einer umfangreichen, internationalen Literaturrecherche geeignete Baumarten und -zusammensetzungen für die sächsischen Bergbauhalden bzw. -kippen erörtert. In dieser Studie wurde konkret für zwei Standorte, Vertrauenschachthalde in Oelsnitz/Erzgeb. und Teil der Kippe Nochten, die Entwicklung der Sickerwassermenge und Verdunstung in Abhängigkeit der Baumarten und der Klimaveränderungen untersucht. Dabei wurde wie folgt vorgegangen:

- 1) Recherche von Informationen und Dokumentation, insbesondere Festlegung fehlender, aber dringend notwendiger Daten
- 2) Begehung der Standorte und Referenzieren der Informationen
- 3) Bestandsaufnahme der gegenwärtigen Vegetation
- 4) Bestimmung der Bodenprofile und Wasserleitfähigkeit
- 5) Berechnung notwendiger Parameter
- 6) Festlegung der Forstanbausysteme für Modellierung

- 7) Parametrisierung des Wasserhaushaltsmodells
- 8) Wahl der Klimaprojektionen
- 9) Modellierung Verdunstung und Sickerwassermenge für
 - a. Gegenwärtige Vegetation
 - b. Geplante Vegetation
 - c. klimarobustes Forstszenario
- 10) Auswertung der Modellergebnisse
- 11) Ableitung von Empfehlungen

Im Folgenden werden die elf genannten Schritte näher erläutert.

1. Die beiden Standorte wurden zunächst detailliert recherchiert und erkundet, um die bestehenden Datenlücken zu identifizieren.
2. Die fehlenden, notwendigen Daten wurden im Zuge einer Ortsbegehung aufgenommen sowie der Datenbestand verifiziert. Dies betraf vor allem Daten zum Vegetationsbestand, Bodeneigenschaften, Neigung etc. Im Anschluss wurden die Aufnahme- und Probenpunkte für die Datenneuerfassung festgelegt.
3. Für die Vertrauensschachthalde musste der Vegetationsbestand neu erfasst werden, da die Altdaten nicht mehr den gegenwärtigen Zustand widerspiegeln. Im Fokus lag die forstliche Bestandsaufnahme. Dazu wurden die Baumarten mit ihren Brusthöhendurchmessern, Höhe und Anzahl für die gewählten repräsentativen Aufnahmepunkte bestimmt. Die Kippe Nochten ist gegenwärtig nicht bewaldet, sondern mit Waldstaudenroggen zwischenbepflanzt.
4. Für die Vertrauensschachthalde wurden bodenkundliche Geländeansprachen sowie die in-situ-Messung der Wasserleitfähigkeit durchgeführt. An den 23 Probenpunkten wurden 60 cm tiefe Tastgruben angelegt und die drei Tiefenstufen 0-10 cm, 10-30 cm und 30-60 cm feldbodenkundlich angesprochen.

Für den Teil der Kippe Nochten existieren aussagekräftige Daten zu den Bodenarten aus dem bodengeologischen Kartierungsbericht der LEAG. Daher beschränkten sich Geländearbeiten auf die Feldmessung der gesättigten Wasserleitfähigkeit mit einem Amoozemeter.
5. Aus den erfassten und recherchierten Daten wurden weitere für die Modellierung notwendige Daten abgeleitet, z. B. Blattflächenindex LAI.
6. Die vegetationskundlichen Bestandsaufnahmen an den beiden Standorten bildeten die Grundlage für die Erstellung des Vegetationssystems im gegenwärtigen Zustand. Anschließend wurde ausgehend von den Recherchen ein klimarobustes System für die Standorte als mögliches Szenario entwickelt. Für den Standort Nochten gab es zusätzlich ein Szenario entsprechend der Planung der LEAG.
7. Für jeden Probennahmepunkt wurde ein Wasserhaushaltsmodell entsprechend parametrisiert. Daraus ergeben sich für den Standort Nochten 36 und für die Vertrauensschachthalde 46 Modelle.

8. Aus der Vielzahl der Klimaprojektionen wurden zehn für die Modellierung ausgewählt. Alle gewählten Klimaprojektionen entstammen dem regionalen Klimamodell WEREX VI basierend auf Szenario RCP2.6 und 8.5.
9. Entsprechend der parametrisierten Modelle wurden Komponenten der Verdunstung sowie die Sickerwassermenge für die verschiedenen Forst- und Klimaszenarien berechnet.
10. Die Modellergebnisse wurden hinsichtlich Trocken- und Hitzestress sowie der Reaktion der Verdunstung und Sickerwassermenge auf die sich ändernden Bedingungen ausgewertet.
11. Schlussfolgernd aus den Modellergebnissen konnten Aussagen zum Einsatz der Forstanbausysteme auf anderen Standorten abgeleitet werden.

RCP-Szenarien stellen sogenannte „repräsentative Konzentrationspfade“ dar. Es wurden vier Szenarien, RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0, RCP8.5, entwickelt. Diese gehen von unterschiedlichen Treibhausgaskonzentrationen und Strahlungsantrieben im Jahr 2100 aus. Dabei gibt der Zahlenwert die Änderung des Strahlungsantriebs im Jahr 2100 im Vergleich zum vorindustriellen Wert von 1850 an. Das bedeutet, dass RCP8.5 von einem Strahlungsantrieb von $8,5 \text{ W/m}^2$ im Jahr 2100 ausgeht. Es bildet die größten Veränderungen ab.

Realisierungen sind Zeitreihen von Klimagrößen, die durch eine Aneinanderreihung zufällig erzeugter Werte gebildet werden. Diese Zufallswerte entstehen unter Beibehaltung der statistischen Kennwerte der jeweiligen Klimagröße (im Rahmen ihrer Spannbreiten). Sie bilden die Bandbreite möglicher zukünftiger klimatischer Entwicklungen ab.

Nachstehende Tabelle 1 fasst für die Standorte Kippe Nochten und Vertrauenschachthalde die verwendeten Forst- und Klimaszenarien zusammen. Für die Auswertung und Darstellung der Verdunstung und Sickerwassermenge wurden die Ergebnisse der beiden Realisierungen der jeweiligen Läufe gemittelt, so dass fünf Klimaprojektionen interpretiert wurden.

Tabelle 1: Übersicht über die gewählten Forst- und Klimaszenarien für die Standorte Nochten und Vertrauensschachthalde

Forstszenario	Klimaprojektion
Kippe Nochten	RCP 2.6, Lauf 1, Realisierung 1
	Gegenwärtiges RCP 2.6, Lauf 1, Realisierung 2
	Geplantes RCP 2.6, Lauf 3, Realisierung 3
	klimarobustes RCP 2.6, Lauf 3, Realisierung 8
	RCP 8.5, Lauf 1, Realisierung 1
	RCP 8.5, Lauf 1, Realisierung 6
	RCP 8.5, Lauf 2, Realisierung 4
	RCP 8.5, Lauf 2, Realisierung 8
	RCP 8.5, Lauf 3, Realisierung 2
	RCP 8.5, Lauf 3, Realisierung 9
Vertrauensschachthalde	RCP 2.6, Lauf 1, Realisierung 2
	Gegenwärtiges RCP 2.6, Lauf 1, Realisierung 2
	klimarobustes RCP 2.6, Lauf 3, Realisierung 7
	RCP 2.6, Lauf 3, Realisierung 8
	RCP 8.5, Lauf 1, Realisierung 1
	RCP 8.5, Lauf 1, Realisierung 6
	RCP 8.5, Lauf 2, Realisierung 4
	RCP 8.5, Lauf 2, Realisierung 8
	RCP 8.5, Lauf 3, Realisierung 7
	RCP 8.5, Lauf 3, Realisierung 9

Aus bisherigen Studien ist der Einfluss verschiedener Pflanzenbestände auf den Sickerwasserabfluss und die Verdunstung für spezifische Standorte bekannt. Aufgrund der komplexen Prozesse im System Boden-Pflanze-Atmosphäre, insbesondere bei anthropogen veränderten Standorten wie Halden/Kippen, ist eine gesonderte und detaillierte Betrachtung notwendig, um die allgemein bekannten Aussagen für den jeweiligen Standort zu spezifizieren. In Abbildung 1 ist die modellierte potentielle Evapotranspiration (ETP), Interzeption (I) und der Sickerwasserabfluss in Abhängigkeit der nutzbaren Feldkapazität nFK für eine sächsische Klimaregion mit verschiedenen mittleren Jahresniederschlägen dargestellt. *„Bei dichtestem Bewuchs liegen die mittleren Sickerwasserabflüsse zwischen 224 und 0 mm/a. Hier bedingen die Bodenverhältnisse die weitaus größeren Spannweiten als die Unterschiede zwischen den Klimaregionen, wobei mit zunehmender nFK die Unterschiede zwischen den Klimaregionen abnehmen. Generell reduziert sich der Sickerwasserabfluß mit ansteigender nFK zunächst überproportional [...] und im weiteren Kurvenverlauf zunehmend unterproportional, z.T. auch ohne Gefälle. Demzufolge nimmt die anfangs sehr hohe Sensitivität des Sickerwasserabflusses gegenüber geringen nFK-Werten mit dem Ansteigen der nFK ab. Dies ist vor allem bei den Bewuchsvarianten mit hoher ETP ausgeprägt, da dort bei geringer nFK die Differenz zwischen ETP und ETA besonders hoch ist. In der „feuchteren“ Klimaregion 3 findet auch bei maximalen Baumbewuchs und hoher nFK noch ein mittlerer Sickerwasserabfluß von 26 mm/a statt, wogegen in der Klimaregion 2 der mittlere Sickerwasserabfluß mit 3 mm/a (bei nFK 300 mm) gegen 0 geht, um in der*

Klimaregion 1 unter allen geschlossenen Baumbeständen (nFK 300 mm) den Wert 0 zu erreichen." (Bräunig, 2001)

Der visuelle Vergleich der Sickerwasserabflüsse (Abbildung 2) für verschiedene Pflanzenbestände bei gleicher nFK verdeutlicht den Einfluss des Bewuchses auf die Bildung des Sickerwassers. „Neben den schon diskutierten Einflüssen der nFK und der Klimaregion auf den Sickerwasserabfluß wird hier deutlich, daß die drei Initialstadien aufgrund der noch nicht vollständig ausgebildeten Vegetationsdecke die höchsten Sickerwasserabflüsse unter vergleichbaren Verhältnissen (Boden, Klima) liefern.“ (Bräunig, 2001)

Klimaregion 1 P 474, Pk 517			Sickerwasserabfluß bei nFK [mm]									
Bewuchs	ETP	I	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300
ohne	388	0	221	195	177	167	154	146	146	146	146	146
Initial ³⁰ Ohne ⁷⁰	490	31	177	130	102	85	74	63	63	63	63	63
Initial ⁷⁰ Ohne ³⁰	618	67	150	95	59	40	27	19	19	19	19	19
Pappel ⁶⁰ Gras ⁶⁰	700	166	137	86	51	32	21	12	9	7	3	1
Kiefer	705	203	126	74	40	24	13	9	6	4	0	0
Lärche	717	185	139	90	52	33	21	11	8	6	2	0
Eiche	717	146	143	92	54	34	22	12	8	6	3	0
Eiche ⁶⁰ Linde ⁴⁰	717	140	143	93	55	34	22	12	8	6	3	0
Gras	667	119	127	71	39	23	13	10	10	10	10	10
Wintergerste	671	59	140	94	59	37	24	15	15	15	15	15
Winterweizen	691	67	134	82	48	30	19	11	11	11	11	11
Spannweite	329	205	95	124	138	144	141	137	140	142	146	146
Mittelwert	644	108	149	100	67	49	37	29	28	27	25	24
Variationsgrad	0,85	0,87	0,28	0,36	0,41	0,42	0,41	0,40	0,41	0,42	0,43	0,43

Abbildung 1: Sickerwasserabfluss für verschiedene nutzbare Feldkapazitäten (nFK), potentielle Verdunstung (ETP) und Interzeption (I) für drei verschiedene Klimaregionen in sächsischen Braunkohleregionen (gekürzt, Bräunig, 2001)

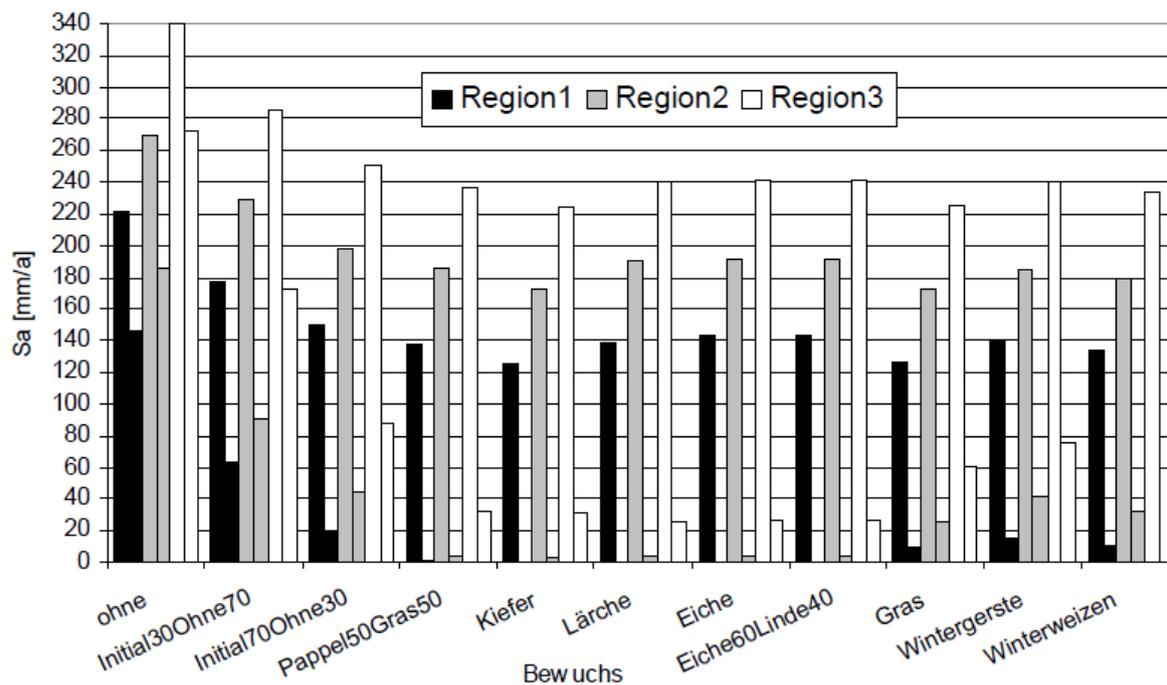


Abbildung 2: Mittlere jährliche Sickerwasserabflüsse (Sa) von Bewuchsvarianten für minimale (30 mm, je Säule 1) und maximale (300 mm, je Säule 2) nFK für drei Klimaregionen (Bräunig, 2001)

Die beiden Standorte Vertrauensschachthalde und Kippe Nochten wurden jeweils in Teilgebiete untergliedert, um die lokalen Gelände-, Boden- und Vegetationsunterschiede auf den Objekten differenzieren zu können. Die Vertrauensschachthalde wurde in fünf (siehe Abbildung 4) und die Kippe Nochten in sechs Teilgebiete eingeteilt. Entsprechend der Teilgebiete sind die Forstanbausysteme erstellt, die Modellierung durchgeführt und die Ergebnisse aufbereitet wurden.

Ergebnisse und Diskussion

Aufbauend auf den Erkenntnissen der Literaturrecherche und den Vorort-Begehungen auf der Vertrauensschachthalde und Kippe Nochten wurden die Szenarien der Forstanbausysteme für die Standorte entwickelt und entsprechend die Verdunstung und der Sickerwasserabfluss modelliert. In Tabelle 2 sind die entwickelten standortspezifischen Forstanbausysteme für die Kippe Nochten und in Tabelle 3 für die Vertrauensschachthalde zusammengefasst. Die beiden Standorte unterscheiden sich hinsichtlich ihrer aktuellen Bepflanzung. Während die Kippe Nochten derzeit nur mit Waldstaudenroggen zwischenbepflanzt ist und Ende 2020 mit Baumreinbeständen bepflanzt werden soll, etablierte sich in den letzten Jahrzehnten bereits eine vielfältige Vegetation auf der Vertrauensschachthalde. Ausgehend von den Kenntnissen über die Hitze-, Trockenheits- und Krankheitsanfälligkeiten der Baumarten wird in jedem Fall ein Misch- und kein Reinbestand für die Szenarien empfohlen.

Tabelle 2: Forstanbausysteme für die Teilflächen des Kippenstandorts Nochten

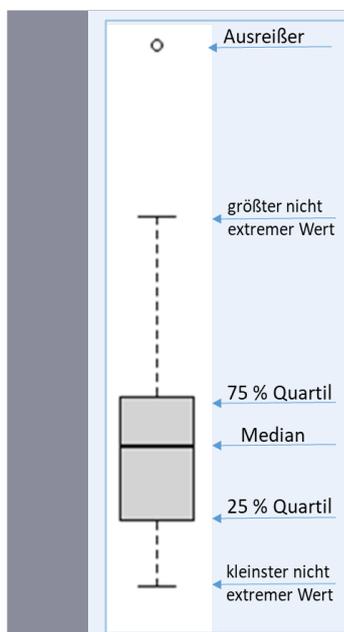
	Bestand (aktuell)	geplant	Szenario	Boden
Teilfläche 1	Waldstaudenroggen	Roteichen	kieferndominierend	Sandig
Teilfläche 2	Waldstaudenroggen	Kiefern	kieferndominierend	Sandig
Teilfläche 3	Waldstaudenroggen	Kiefern	kieferndominierend	Lehmig
Teilfläche 4	Waldstaudenroggen	Birken	traubeneichendominierend	Sandig
Teilfläche 5	Waldstaudenroggen	Birken	kieferndominierend	Sandig
Teilfläche 6	Waldstaudenroggen	Birken	traubeneichendominierend	lehmig

Tabelle 3: Forstanbausysteme für die Teilflächen der Vertrauensschachthalde Baumarten: ASP – Zitterpappel, BAH – Bergahorn, GBI – Gemeine Birke, GES – Gemeine Esche, HASEL – Haselnuss, HBU – Hainbuche, RBU – Rotbuche, REI – Roteiche, ROB – Robinie, SAH – Spitzahorn, SER – Schwarzerle, TEI – Traubeneiche, VKI – Vogelkirsche, WIE – Weide, WLI – Winterlinde)

	Bestand (aktuell)	Szenario	Boden
Teilfläche 1	GBI, ASP, BAH, SAH, VKI, GES, TEI, WLI, WEI	Traubeneiche-Hainbuche-Mischbestand	Sandig-schluffig
Teilfläche 2	GBI, ASP, VKI, TEI, WEI	Traubeneiche-Hainbuche-Mischbestand	Schluffig-tonig
Teilfläche 3	GBI, ROB, VKI, GES, HBU, RBU, TEI, REI	Traubeneiche-Hainbuche-Mischbestand	Sandig
Teilfläche 4	GBI, VKI, HASEL, GES, HBU, RBU, TEI, REI, SER, WEI	Traubeneiche	Sandig-schluffig
Teilfläche 5	GBI, GES, HBU, TEI, REI	Traubeneiche-Hainbuche-Mischbestand	Sandig-lehmig

Welche Auswirkungen die verschiedenen Forstanbausysteme sowie die prognostizierten Klimaänderungen auf die Wasserhaushaltskomponenten Verdunstung und Sickerwasser haben, wurde anhand einer Modellierung für die beiden Standorte und den eruierten Parametern abgeschätzt. Im Rahmen dieser Studie fand das Wasserhaushaltsmodell LWFBR00K90 Anwendung. Das eindimensionale, physikalisch basierte Speichermodell modelliert die Evapotranspiration (Pflanzenverdunstung, Interzeption, Bodenverdunstung) und Bodenwasserflüsse inklusive Bodenwassergehalten und Druckhöhen eines mit Vegetation bedeckten Bodenprofils im Tageszeitschritt. Für die beiden Standorte wurden jeweils mehrere Modelle der einzelnen Teilflächen erstellt, um die kleinräumig sehr variablen Standortbedingungen im Modell abbilden zu können. Dabei wurden die Modelle mit den erhobenen und recherchierten Daten parametrisiert. Nachfolgend sind die Modellergebnisse für die Sickerwassermenge und Evapotranspiration beispielhaft anhand von Boxplots dargestellt und erläutert.

Zusammenfassend ist in Abbildung 3 die mittlere jährliche Sickerwassermenge der Forstanbausysteme Bestand und Szenario für die fünf Klimaprojektionen der Vertrauensachthalde gegenübergestellt. Dabei wird der gesamte Zeitraum 1961-2100 betrachtet. Aus den Boxplots kann der Median sowie das obere (75%) und untere Quartil (25%) abgelesen werden.



Ein **Boxplot**, auch *Box-Whisker-plot* genannt, ist eine Diagrammform. Diese standardisierte Methode zeigt die Datenverteilung auf Grundlage einer Zusammenfassung mit fünf Zahlen: „Minimum“, erstes Quartil (25%), Median* (50%), drittes Quartil (75%) und „Maximum“. Bis zum 25%-Quartil liegen 25 % der Werte. Es kann abgelesen werden, ob die Daten symmetrisch sind, wie eng sie gruppiert und ob die Daten verzerrt sind. Somit kann ein schneller Überblick über erste Streuungs- und Lagemaße gewonnen werden. Nebestehende Abbildung verdeutlicht das Prinzip der 5-Punkte-Zusammenfassung. *Ober- und Unterhalb des Medians liegen gleich viele Werte. Er wird auch Zentralwert genannt.

Auf den ersten Blick ist erkennbar, dass die Klimaprojektionen der RCP2.6 und RCP8.5 sich voneinander abheben. Während die Mediane der RCP2.6-Projektionen für die jährliche Sickerwassermenge bei ca. 280 mm/a liegen, beträgt dieser bei den RCP-Projektionen nur ca. 200-245 mm/a. Dies ist insbesondere auf die niedrigeren Niederschläge in der RCP8.5-Projektion zurückzuführen. Es wird jedoch auch deutlich, dass sich die Sickerwassermenge unter Annahme der verschiedenen Forstanbausysteme lediglich minimal in ihrer Verteilung unterscheiden. Im Fall der Vertrauensachthalde reduziert der angepasste klimarobustere Forst im Vergleich zum Bestand die Sickerwassermenge maximal um lediglich ca. 10 mm/a, über den gesamten Zeitraum betrachtet. Die höheren Rückgänge treten eher am Anfang der Zeitreihe auf, wenn das System noch intakt und nicht durch Hitze, Trockenheit oder Krankheiten geschädigt ist. Prinzipiell sind die Auswirkungen des angepassten Forstanbausystems auf die Sickerwassermenge jedoch minimal. Über die Zeit betrachtet, reduziert sich die Sickerwassermenge bis zum Ende des Jahrhunderts (2071-2100) um ungefähr die Hälfte (vgl. Tabelle 4). Daraus kann geschlossen werden, dass die projizierte Niederschlagsabnahme einen größeren Effekt auf die Reduzierung der Sickerwassermenge hat, als die Forstanbausysteme.

Der Vergleich der Referenzperiode 1971-2000 mit den letzten 30 Jahren des Jahrhunderts (2071-2100) in Tabelle 4 unterstreicht die getroffenen Aussagen. Die Sickerwassermenge ist im Bestand nur geringfügig höher als im Szenario.

Die Evapotranspiration ist in der Referenzperiode vergleichbar und nimmt zum Ende des Jahrhunderts für die RCP8.5-Szenarien stärker für das System Bestand ab. Den größten Effekt erzielt das angepasste Forstanbausystem auf die Interzeption. Diese erreicht im Szenario ca. 5 % höhere Werte als im Bestand. Die Transpiration nimmt aufgrund der steigenden Temperaturen bis 2071-2100 leicht zu.

Die bisher flächengewichtet gemittelt betrachteten Sickerwasserwerte sind in Abbildung 4 für die 6,5 ha große Vertrauensschachthalde für die einzelnen Teilgebiete ausgewiesen. Dargestellt ist die Differenz des Sickerwassers für den Bestand der beiden Zeiträume 1971-2010/2071-2100 anhand der Graustufen sowie die Baumartenverteilung in dem jeweiligen Teilgebiet anhand des Kreisdiagramms. Teilgebiet 1, das zu 75 % mit Weide und Gemeine Birke bewaldet ist, zeigt die höchsten Sickerwasserrückgänge. Teilgebiet 5 mit überwiegend Gemeiner Birke und Roteiche weist die geringsten Rückgänge der Sickerwassermenge in den Teilgebieten aus.

Aufgrund der Tatsache, dass die Vertrauensschachthalde bereits seit mehreren Jahrhunderten bewaldet ist, hat sich ein funktionierendes, vielfältiges Ökosystem eingestellt. Dieses verdunstet bereits effektiv und mindert damit den Sickerwasseranteil, wodurch das klimarobustere Forstanbauszenario einen eher geringen Effekt auf die Minderung der Sickerwassermenge hat. Allerdings hätte es in den kommenden Jahrhunderten wahrscheinlich den Vorteil gegenüber Hitze, Trockenheit und Krankheiten etwas robuster zu sein.

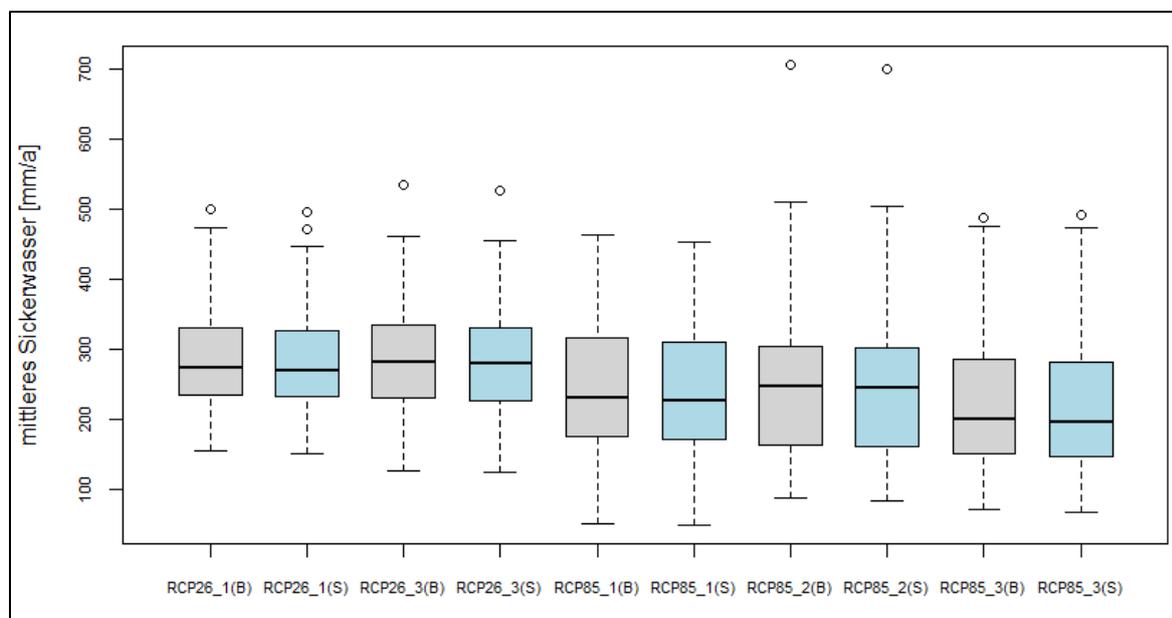


Abbildung 3: mittlere Sickerwassermenge der Vertrauensschachthalde für die Forstanbausysteme Bestand (grau) und Szenario (blau) der fünf Projektionen

Tabelle 4: Flächengewichtete Mittelwerte der Wasserhaushaltsgrößen für die Referenzperiode 1971-2000 sowie der Periode 2071-2100 der Vertrauen-Schacht-Halde für die Forstanbausysteme (FAS) Bestand und Szenario

Wasserhaushaltsgröße (mm/a)	Klimaszenario/ Modelllauf	FAS Bestand		FAS Szenario	
		1971-2000	2071-2100	1971-2000	2071-2100
Evapo- transpiration	RCP2.6, Lauf 1	334	327	332	328
	RCP2.6, Lauf 3	326	333	322	333
	RCP8.5, Lauf 1	338	300	336	306
	RCP8.5, Lauf 2	329	288	326	296
	RCP8.5, Lauf 3	327	267	326	274
Interzeption	RCP2.6, Lauf 1	53	50	66	63
	RCP2.6, Lauf 3	53	50	66	63
	RCP8.5, Lauf 1	55	40	68	51
	RCP8.5, Lauf 2	55	37	68	48
	RCP8.5, Lauf 3	53	36	66	46
Potenzielle Transpiration	RCP2.6, Lauf 1	231	264	227	265
	RCP2.6, Lauf 3	226	264	219	262
	RCP8.5, Lauf 1	232	353	228	369
	RCP8.5, Lauf 2	226	352	220	368
	RCP8.5, Lauf 3	228	369	224	387
Transpiration	RCP2.6, Lauf 1	209	217	200	209
	RCP2.6, Lauf 3	203	221	190	212
	RCP8.5, Lauf 1	210	218	200	216
	RCP8.5, Lauf 2	203	210	192	211
	RCP8.5, Lauf 3	205	195	194	195
Sickerwasser- menge	RCP2.6, Lauf 1	309	281	306	277
	RCP2.6, Lauf 3	323	269	321	265
	RCP8.5, Lauf 1	336	156	332	152
	RCP8.5, Lauf 2	336	150	333	146
	RCP8.5, Lauf 3	326	132	323	127

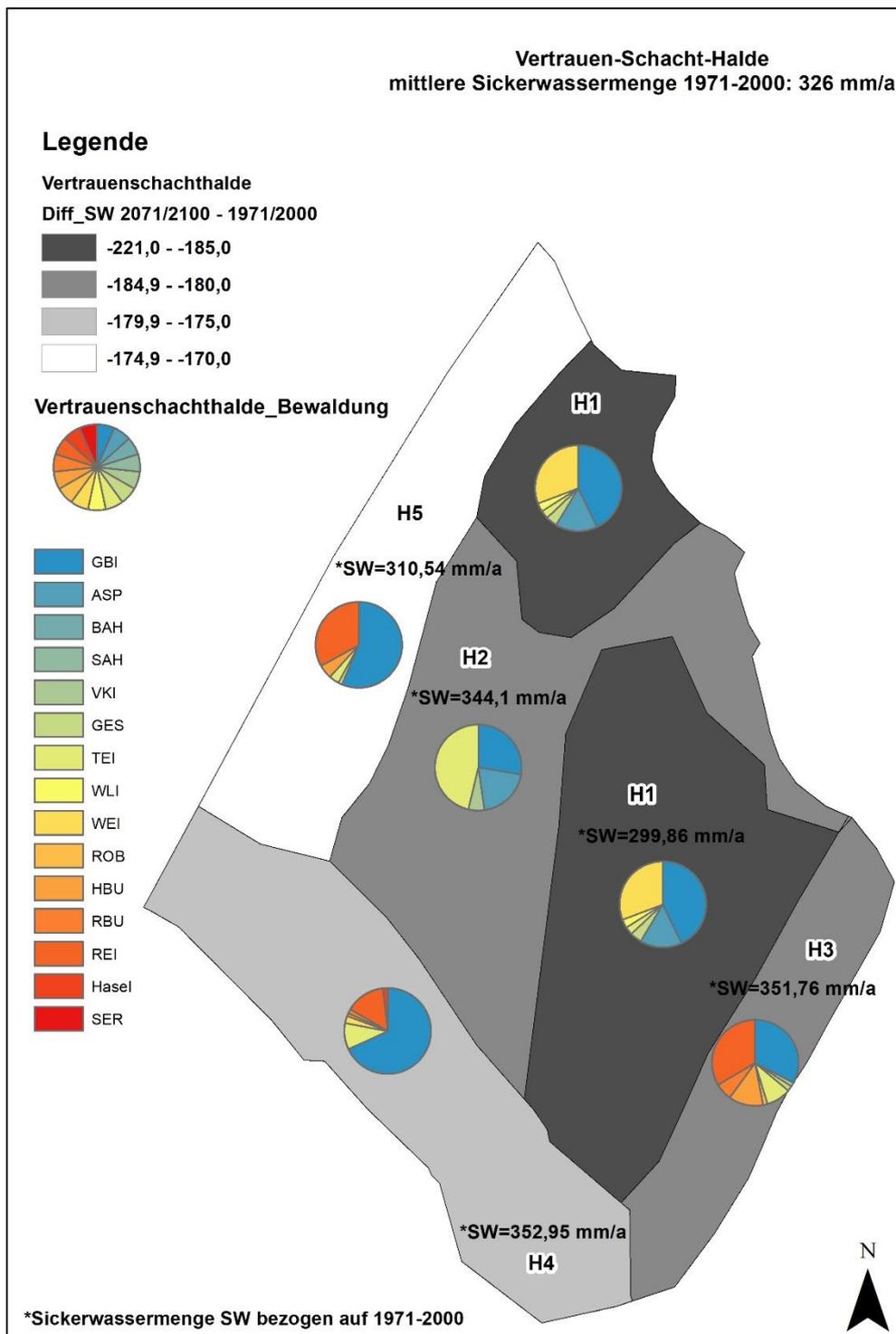


Abbildung 4: Entwicklung der Sickerwassermenge auf den Teilgebiet (H) der Vertrauensschacht-Halde. Vergleich der 30-jährigen Zeiträume 1971-2000 und 2071-2100. Im Kreisdiagramm sind die Baumartenzusammensetzungen auf den Teilflächen dargestellt. (GBI: Gemeine Birke, ASP: Aspe, BAH: Bergahorn, SAH: Spitzahorn, VKI: Vogelkirsche, GES: Gemeine Esche, TEI: Traubeneiche, WLI: Winterlinde, WEI: Weide, ROB: Robinie, HBU: Hainbuche, RBU: Rotbuche, REI: Roteiche, Hasel: Haselnuss, SER: Schwarzerle)

Der betrachtete Teil der Kippe Nochten ist gegenwärtig noch unbewaldet. Erst das geplante Forstanbausystem und Szenario gehen von einer Bewaldung aus. In den folgenden Analysen wird das Szenario betrachtet, da es von einem abwechslungsreichen und klimarobusten Wald ausgeht. In Abbildung 5 ist bereits zu erkennen, dass die Verteilung der Werte des Sickerwassers für den aktuellen Zustand sich von denen des Szenarios unterscheiden. Die Mediane sowie die unteren und oberen Werte sind für das Szenario geringer, und damit auch die Sickerwassermengen. Die Sickerwassermengen können für den Zeitraum 1961-2010 durch die Änderung der Bewirtschaftung (Getreide zu Wald) der Kippe im Mittel um 30-40 mm/a reduziert werden. Weiterhin ist deutlich, dass auch die Klimaänderungen, insbesondere die Niederschlagsabnahme, sich positiv auf die Minderung der Sickerwassermengen auswirkt.

In Tabelle 5 sind die flächengewichteten Mittelwerte der Wasserhaushaltskomponenten für die Referenzperiode 1971-2010 und des Projektionszeitraums 2071-2100 aufgeführt. Daraus wird deutlich, dass die Verdunstungskomponenten für das Szenario im Vergleich zum Bestand deutlich zunehmen und die Sickerwassermenge stark sinkt. Die Evapotranspiration, Interzeption und Sickerwassermenge nehmen in der Periode 2071-2100 ab. Lediglich die Transpiration steigt am Ende des Jahrhunderts.

Auf jeden Fall wird die positive Wirkung des angepassten, klimarobusten Forstanbausystems auf die Sickerwassermenge deutlich. Diese reduziert sich ca. um die Hälfte.

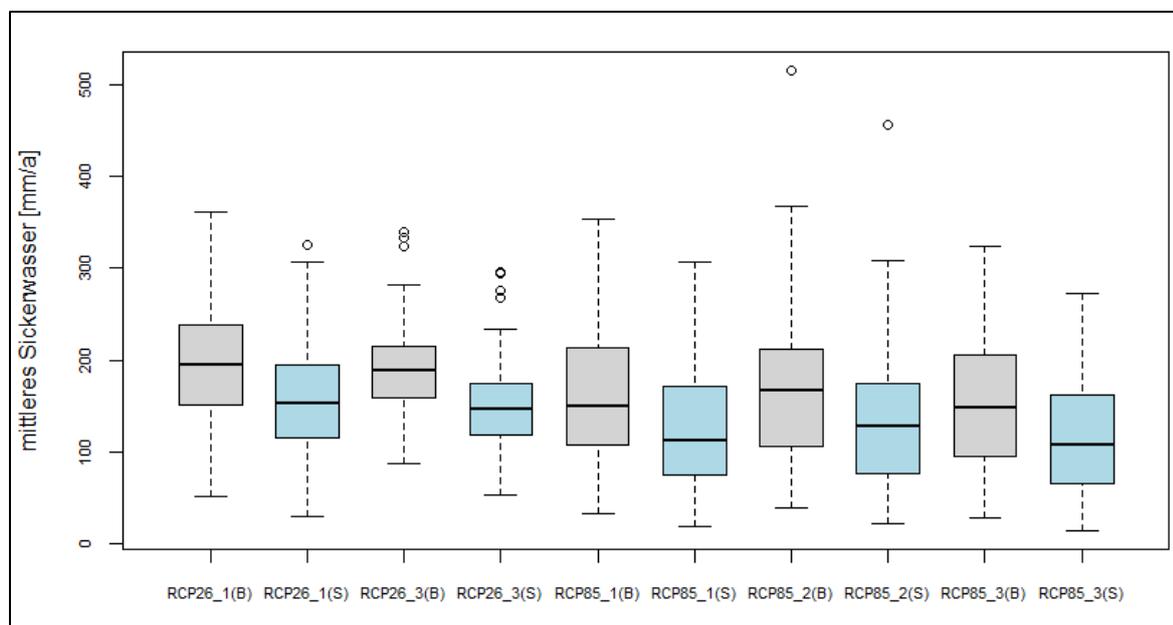


Abbildung 5: mittlere Sickerwassermenge der Teilkippe Nochten für die Forstanbausysteme Bestand (grau) und Szenario (blau) der fünf Projektionen

Tabelle 5: Flächengewichtete Mittelwerte der Wasserhaushaltsgrößen für die Referenzperiode 1971-2000 sowie der Periode 2071-2100 der Kippe Nochten für die Forstanbausysteme (FAS) Bestand und Szenario

Wasserhaushaltsgröße (mm/a)	Klimaszenario/Modelllauf	FAS Bestand		FAS Szenario	
		1971-2000	2071-2100	1971-2000	2071-2100
Evapotranspiration	RCP2.6, Lauf 1	195	187	299	293
	RCP2.6, Lauf 3	191	184	295	286
	RCP8.5, Lauf 1	200	180	303	268
	RCP8.5, Lauf 2	200	175	304	261
	RCP8.5, Lauf 3	192	163	296	239
Interzeption	RCP2.6, Lauf 1	2,4	2,1	50	45
	RCP2.6, Lauf 3	2,3	2,1	50	44
	RCP8.5, Lauf 1	2,5	1,7	52	35
	RCP8.5, Lauf 2	2,5	1,5	54	33
	RCP8.5, Lauf 3	2,4	1,4	51	29
Potenzielle Transpiration	RCP2.6, Lauf 1	28	31	228	254
	RCP2.6, Lauf 3	28	31	222	253
	RCP8.5, Lauf 1	28	39	227	331
	RCP8.5, Lauf 2	27	40	221	330
	RCP8.5, Lauf 3	28	41	225	346
Transpiration	RCP2.6, Lauf 1	28	30	208	214
	RCP2.6, Lauf 3	28	31	204	210
	RCP8.5, Lauf 1	28	39	206	211
	RCP8.5, Lauf 2	27	40	205	207
	RCP8.5, Lauf 3	28	41	204	192
Sickerwassermenge	RCP2.6, Lauf 1	343	313	169	137
	RCP2.6, Lauf 3	343	304	168	130
	RCP8.5, Lauf 1	352	223	178	68
	RCP8.5, Lauf 2	359	216	184	63
	RCP8.5, Lauf 3	355	198	182	56

Zusammenfassung und Ausblick

Mit der Studie konnte gezeigt werden, dass besonders für unbewaldete Kippen bzw. Halden mit einer standortangepassten Aufforstung eine deutliche Minderung der Sickerwassermenge erzielt werden kann. Ein gesundes Waldökosystem erzielt deutlich höhere Transpirationen als beispielsweise eine landwirtschaftliche Nutzung. Unter der Annahme, dass eine geringere Sickerwassermenge mit einer Minderung des Schadstoffaustrages einhergeht, bedeutet eine Aufforstung in Abhängigkeit des Schadstoffpotentials im Kippenmaterial auch einen deutlichen Rückgang des Stoffaustrages. Ohne Stofftransportmodellierung und detaillierten Kenntnissen der komplexen chemischen Wechselwirkungen im Halden-/Kippeninneren kann allerdings keine Aussage hinsichtlich der Größe der Reduzierung des Stoffaustrages aus Halden/Kippen getroffen werden. Aber dem

Ziel, die Verringerung der Stoffeinträge in die Grund- und Oberflächengewässer abschätzen zu können, wird die Modellierung gerecht.

Die Aufforstung ist eine mögliche Maßnahme um den Schadstoffaustrag aus Halden/Kippen zu reduzieren. Dabei handelt es sich um eine passive Maßnahme, bei der die Schadstoffminderung allerdings schwer steuerbar ist. Sie bietet aber den Vorteil nur einmalig durchgeführt werden zu müssen, um über Jahrzehnte ihre Wirkung zu entfalten. Aus den erarbeiteten Grundlagen und Modellergebnissen der zwei Beispielgebiete lassen sich einige grundsätzliche Schlussfolgerungen und Empfehlungen zur Bewirtschaftungsstrategie von Halden und Kippen ableiten.

- Mit der Aufforstung von Kippen und Halden kann die Sickerwassermenge erheblich reduziert werden.
- Die Auswahl der Baumarten muss standortspezifisch erfolgen.
- Die Reaktion der Baumarten auf die modellierten Klimaprognosen ist bei der Aufforstungsplanung zu berücksichtigen.
- Die Aufforstung von Bergbauhinterlassenschaft ist möglich, aber nicht immer einfach.
- Die Etablierung von Haldenwäldern ist eine effiziente Maßnahme zum Schutz des Wassers.

Die Baumarten sollten anhand ihrer Eigenschaften für die jeweiligen Standortbedingungen ausgewählt werden. Die Baumarten unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Trockenheits-, Kälte- und Hitzetoleranz.

Tabelle 6 bewertet die Toleranzen der für die Rekultivierung von Kippen- und Halden relevanter Baumarten. In Anbetracht des sich ändernden Klimas sind vor allem hitze- und trockenheitstolerante Baumarten zu bevorzugen. Die Kiefer ist beispielsweise zwar trockenheitstolerant, aber empfindlich gegenüber Hitzeperioden über 35 °C. Die Anzahl der Tage, an denen diese Bedingungen eintreten, steigt jedoch an und wird im Szenario RCP8.5 zukünftig regelmäßig zu erwarten sein. Bereits heute steht die Kiefer in der Lausitz durch Hitze, Trockenheit und nachfolgende Kalamitäten erheblich unter Druck.

Eine forstliche Umstrukturierung ist jedoch immer eine Kosten-Nutzen-Frage. Deshalb müssen die Kosten bzw. eine Wirtschaftsbetrachtung im Vorfeld durchgeführt werden. Ein wesentlicher Faktor, den es zu berücksichtigen gilt, ist die Zeit. Erst ab einem Alter von 50 Jahren (Stadium der maximalen Interzeptions-Speicherkapazität) bewirken die Bäume den wünschenswerten Nutzen der Sickerwasserminderung. Bei bereits bewaldeten Objekten stellt sich die Frage, ob eine Waldumstrukturierung wirtschaftlich ist. Wie am Beispiel der Vertrauensschachthalde gezeigt wurde, hat die Änderung der Baumartenzusammensetzung minimale Effekte auf die Sickerwassermenge. Allerdings steht die Funktionstüchtigkeit des Waldes für die projizierten Klimaverhältnisse in Frage. Ein Absterben standortungeeigneter Baumarten ist wahrscheinlich. Abbildung 6 gibt einen Hinweis auf die Kosten für die Verjüngung und Umstrukturierung eines bestehenden Waldes.

Tabelle 6: Bewertung von Standortansprüchen, Eigenschaften und klimatischer Zukunftstauglichkeit (KLAM) von 37, für die Rekultivierung von Kippen- und Haldenflächen, relevante Baumarten. Hierbei gilt für die KLAM: erste Ziffer = Trockenheitstoleranz, zweite Ziffer = Winterhärte, in der Abstufung 1 = sehr geeignet, 2 = geeignet, 3 = problematisch, 4 = sehr eingeschränkte Eignung. Für die weiteren Spalten gilt: 1 = sehr niedrig, 2 = niedrig, 3 = mittel, 4 = hoch, 5 = sehr hoch; verändert nach Roloff, A. und Gillner, S. 2009 (KLAM) und Härdtle, W. u. a. 2006. * Werte wurden anhand verschiedener Quellen eigens eruiert.

Hauptwirtschaftsbaumarten	Einstufung nach KLAM	Spätfrost-Resistenz	Trockenheits-Toleranz	Nährstoff-mangel-Toleranz	Kälte-Toleranz
Europ. Lärche	2.2*	4	4	4	5
Fichte	3.2	3	3	4	5
Gemeine Birke	2.1	5	4	5	5
Gemeine Esche	2.2	1	3	1	3
Gemeine Kiefer	1.1	5	5	5	5
Hainbuche	2.1	3	3	3	3
Rot-Buche	3.2	2	3	4	3
Schwarz-Erle	4.2	4	1	3	3
Silber-Weide	3.1	3	2	2	4
Stiel-Eiche	3.1	3	3	4	4
Trauben-Eiche	2.2	3	4	4	3
Weiß-Tanne	3.1*	4	2	4	4
Winter-Linde	2.1	4	3	3	4
Zirbel-Kiefer	1.3*	5	4	4	5
Mischbaumarten					
Aspe	2.1	5	3	5	5
Berg-Ahorn	4.1	4	2	2	4
Berg-Kiefer	2.1	5	4	5	5
Berg-Ulme	4.1	4	2	1	4
Eberesche	3.1	5	4	5	5
Eibe	2.2*	4	2	3	2
Elsbeere	1.2	5	4	3	1
Feld-Ahorn	1.1	3	4	2	2
Feld-Ulme	2.3*	4	2	1	4
Flatter-Ulme	2.3*	4	2	1	4
Grau-Erle	1.1	5	2	4	4
Mehlbeere	1.1	5	4	4	3
Moor-Birke	3.1	5	2	5	5
Sal-Weide	2.1	3	2	3	4
Sommer-Linde	3.2	3	3	2	3
Speierling	1.2	5	4	1	1
Spitz-Ahorn	2.1	4	2	2	3
Wild-Apfel	2.3	3	3	2	3
Wild-Birne	2.2	2	3	2	2
Wild-Kirsche	k.A.	4	4	2	1
Flaum-Eiche	1.2	3	5	2	3
Rot-Eiche	2.2	2	5	4	2
Robinie	1.1	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.

Forstanbausysteme in Bergbaugebieten (TP 1.10)

Baumart	Arbeitsschritte	Mengen/ha	Kosten/ha
Eiche	Pflanzen + Pflanzung	8.000 Stk.	5.300 - 8.400 Euro
Buche	Pflanzen + Pflanzung	9.000 Stk.	5.500 - 9.000 Euro
Ahorn	Pflanzen + Pflanzung	5.000 Stk.	3.700 - 6.300 Euro
Erle	Pflanzen + Pflanzung	3.000 Stk.	1.800 - 2.200 Euro
Tanne	Pflanzen + Pflanzung	3.000 Stk.	1.600 - 2.900 Euro
Douglasie	Pflanzen + Pflanzung	3.000 Stk.	1.400 - 3.000 Euro
Lärche	Pflanzen + Pflanzung	3.000 Stk.	1.400 - 2.500 Euro
Fichte	Pflanzen + Pflanzung	2.500 Stk.	1.000 - 2.200 Euro
Kiefer	Pflanzen + Pflanzung	8.000 Stk.	3.200 - 5.600 Euro
	Flächenvorbereitung	1 ha	300 - 500 Euro
	Kulturpflege	1 ha	350 - 500 Euro
	Zaunbau	400 Meter	1.000 - 2.800 Euro
	Zaunkontrolle	400 Meter	400 - 800 Euro
	Zaunabbau	400 Meter	400 - 800 Euro
	chem. Verbißschutz	1 ha	300 - 600 Euro

Abbildung 6: Übersicht über die Verjüngungskosten eines bereits bestehenden Forstes. Bei einer Erstaufforstung ist mit höheren Kosten zu rechnen. (Staatsbetrieb Sachsenforst, 2016).

Literatur

Bräunig, A. (2001). Entwicklung forstlich rekultivierter sowie renaturierter Böden und Simulation ihres Wasserhaushaltes in der Mitteldeutschen Braunkohlen-Bergbaufolgelandschaft. Freiburger Forschungshefte.

Staatsbetrieb Sachsenforst. (2016). Walderneuerung und Erstaufforstung - Hinweise für Waldbesitzer.

Impressum

Herausgabe:

Dieser Steckbrief wurde im Rahmen des Projekts Vita-Min erstellt. Das Projekt Vita-Min wurde aus Mitteln des europäischen Fonds für regionale Entwicklung im Kooperationsprogramms SN-CZ 2014-2020 finanziert. Die Projektpartner sind das sächsische Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (Leadpartner), die Stadtverwaltung Oelsnitz/Erzgeb. und die Verwaltungsbehörde des Bezirks Ústecký kraj.

Alle Teilprojekte des LfULG tragen zum Leitprojekt „Für saubere Gewässer in Sachsen“ bei.

Für Fragen und weitere Informationen zu diesem Teilprojekt kontaktieren Sie:

Ansprechpartner

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie

Ansprechpartner: Kathleen Lünich

Telefon: +49 351 89284420

E-Mail: kathleen.luenich@smul.sachsen.de

Bearbeitung:

Die Ergebnisse dieses Teilprojekts wurden im Rahmen einer Vergabe vom LfULG durch die Firma **Forschungsinstitut für Bergbaufolgelandschaften e.V.** erarbeitet.

Titelfoto:

LfULG (2019): Haldenstandort im Erzgebirge

Redaktionsschluss:

30.09.2020

Weitere Informationen finden Sie unter
www.vitamin-projekt.eu