

Schlussbericht

Forschungsprojekt

Kontrolliertes Brennen von verbuschten Alpweiden

**Einfluss von Standortfaktoren und Auswirkungen auf Vegetation,
Verbuschung, Brutvögel und Luftqualität**



17. Juni 2026

finale Version

Projektorganisation und Autoren

Projektleitung & -koordination:

Dr. Helen Willems	Büro Alpe, Kapitel 1, 2, 3.1, 3.3, 4, 5
Cornel Werder	Büro Alpe, Kapitel 1, 2, 3.1, 4, 5

Wissenschaftliche Mitarbeit

Dr. Manuel Schneider	Agroscope, Kapitel 3.1, 3.3
Mario Meier	FUB Forschungsstelle für Umweltbeobachtungen, Kapitel 3.2
Dr. Juanita Rausch	Particle Vision GmbH, Kapitel 3.2
Nicolas Schnidrig	Particle Vision GmbH, Kapitel 3.2
Marco Barandun	Agroscope, Kapitel 3.3
Dr. Samuel Schmid	freischaffender Feldbotaniker, Kapitel 3.3
Dr. Alain Jacot	Schweizerische Vogelwarte, Kapitel 3.4
Emmanuel Revaz	Schweizerische Vogelwarte, Kapitel 3.4

Finanzierungspartner

BLW, Bundesamt für Landwirtschaft
 Amt für Strukturverbesserungen Kanton Wallis
 Stiftung Sur-la-Croix
 Burgergemeinde Zermatt
 Einwohnergemeinde Zermatt
 Matterhorn Bergbahnen AG

Eingebundene kantonale Dienststellen

DLW, Dienststelle für Landwirtschaft
 DJFW, Dienststelle für Jagd, Fischerei und Wildtiere
 DWNL, Dienststelle für Wald, Natur und Landschaft
 DUW, Dienststelle für Umwelt
 DZSM, Dienststelle für zivile Sicherheit und Militär mit KAF - kantonales Amt für Feuerwesen

Zitiervorschlag:

Willems, H., Werder, C., Schneider, M., Barandun, M., Schmid, S., Rausch, J., Meier, M., Schnidrig, N., Jacot, A., Revaz, E., 2026. Schlussbericht Forschungsprojekt - Kontrolliertes Brennen von verbuschten Alpweiden: Einfluss von Standortfaktoren und Auswirkungen auf Vegetation, Verbuschung, Brutvögel und Luftqualität. 89 S.

Inhalt

Gesamtzusammenfassung	4
1 Einleitung	7
2 Projektdetails	9
2.1 Projektübersicht.....	9
2.2 Projektziel.....	10
2.3 Projektgebiet.....	10
2.4 Brennflächen	10
2.5 Durchführung kontrolliertes Brennen	11
3 Untersuchungen.....	13
3.1 Standortfaktoren und Brennerfolg.....	13
3.1.1 Material und Methode	13
3.1.2 Resultate	13
3.1.3 Diskussion	23
3.1.4 Zusammenfassung.....	31
3.2 Luftqualität	32
3.2.1 Material und Methode	32
3.2.2 Resultate und Diskussion	35
3.2.3 Zusammenfassung.....	42
3.3 Vegetation / Verbuschung.....	44
3.3.1 Material und Methode	44
3.3.2 Resultate und Diskussion	46
3.3.3 Zusammenfassung / Schlussfolgerungen	67
3.3.4 Anhang Kapitel Vegetation / Verbuschung	68
3.4 Brutvögel.....	71
3.4.1 Material und Methode	71
3.4.2 Resultate und Diskussion	72
3.4.3 Schlussbemerkung.....	83
4 Synthese	85
5 Empfehlungen für Entscheidungsträger	86
6 Literatur	88

Gesamtzusammenfassung

Das Forschungsprojekt in Zermatt über das «Kontrollierte Abbrennen von verbuschten Alpweiden – Einfluss von Standortfaktoren und Auswirkungen auf Vegetation, Verbuschung, Brutvögel und Luftqualität», startete im Jahr 2016 mit der Gesuchstellung und kam im Jahr 2026 nach zehn Jahren zum Abschluss. Neun Brennflächen mit einer Gesamtgrösse von knapp 5 Hektaren und unterschiedlichen Standortfaktoren, vor allem in Bezug auf Hangexposition, Hangneigung, Verbuschungsgrad und Verbuschungsart, wurden auf Alpweiden im Gemeindegebiet von Zermatt ausgewählt, für den kontrollierten Feuereinsatz vorbereitet und in den Jahren 2019 und 2020 kontrolliert abgebrannt. Ziel war einerseits zu prüfen, auf welchen Standorten und mit welchem Brennerfolg das kontrollierte Abbrennen von verwurzelter Verbuschung auf Alpweiden überhaupt machbar ist und andererseits die Auswirkungen auf Vegetation / Verbuschung, Brutvögel und Luftqualität (Feinstaub) zu untersuchen. Die Untersuchungen im Bereich Vegetation und Brutvögel starteten bereits im Jahr vor dem Abbrennen, um Vergleichswerte vor der Massnahme zu erheben.

Das kontrollierte Abbrennen funktionierte auf bestimmten Standorten gut und mit hohem Brennerfolg, auf anderen weniger gut. Als ausschlaggebende Indikatoren für einen hohen **Brennerfolg** konnte der Verbuschungsgrad mit gut brennbarem Zwergwacholder und die potentielle Sonneneinstrahlung auf einer Fläche identifiziert werden. Beide Indikatoren vereinen die Einflüsse von Hangexposition, Hangneigung und Trockenheit des relevanten Brennmaterials. Im Gelände leicht erkennbar, ist die zusammenhängende Verbuschung mit Zwergwacholder. War diese vorhanden, wurde das Feuer nach einmaligem Anzünden in der Regel selbständig hangaufwärts weitergetragen und die Nadeln des Zwergwacholders brannten auch vollständig ab, während die verkohlten Äste überwiegend stehen blieben. Je lückenhafter die Verbuschung war, desto eher wurde das selbständige Weitertragen des Feuers verhindert. Waren weitere Zwergstaucharten vorhanden, wie z. B. Alpenrosen, Bärentraube oder Heidelbeer-Arten, reduzierte das die Brennbarkeit und auch das selbständige Weitertragen des Feuers.

Die **fachgerechte Durchführung** des kontrollierten Abbrennens unter Beachtung von Standort, Zeitpunkt, Wetter, Brennmethode und Sicherheitsvorkehrungen, war essentiell um mögliche negative Auswirkungen so gering wie möglich zu halten und die positiven Auswirkungen bestmöglich zu bündeln. Der passende **Brennzeitpunkt** liegt dabei im Herbst, nach den ersten Bodenfrösten, sodass Flora, Fauna und Bodenlebewesen sich schon für die kalte Jahreszeit zurückgezogen haben respektive in der Winterruhe befinden. Beim **Wetter** braucht es eine wolkenlose, sonnige und stabile Hochdruckwetterlage, bei der die erste Morgensonne eine hangaufwärtsgerichtete Thermik entstehen lässt, die bei der **Brennmethode** der «kalten Mitwindfeuer» genutzt wird, um das Feuer mit kurzer Verweildauer und geringer Eindringtiefe in den Boden rasch von unten nach oben zu tragen. Dabei verbrennt auch ein Teil der vorhandenen Streu- bzw. Rohhumusschicht, was zu einem Mineralisationsschub im Boden führt, die Nährstoffverfügbarkeit für Pflanzen auf dem Standort grundsätzlich verbessert und damit die Wiederbegrünung begünstigt (Videolink zum kontrollierten Abbrennen: <https://www.youtube.com/watch?v=qe-0s2Wpon0>).

Einmal abgebrannter Zwergwacholder trieb nach dem kontrollierten Abbrennen nicht mehr aus, auch wenn die verkohlten Äste zunächst stehen blieben und auch noch elastisch waren. Die **Vegetationszusammensetzung** veränderte sich nach dem kontrollierten Abbrennen deutlich: die holzigen Verbuschungspflanzen wurden erwartungsgemäss deutlich reduziert, während die Futterpflanzen und die Artenvielfalt insgesamt nach dem Brennen deutlich zunahm. Die Wiederbegrünung verlief auf tiefgründigeren und weniger steilen Standorten schneller ab als auf flachgründigeren und steileren Flächen. Stark verbuschte Bereiche, welche in der Nähe von inventarisierten TWW (Trockenwiesen und -weiden) -Flächen lagen, entwickelten sich nach dem kontrollierten Abbrennen deutlich in **Richtung des TWW-Pflanzenbestands**. Eine typische Artenzusammensetzung der TWW konnte aber auch fünf Jahre nach dem Brennen noch nicht erreicht werden. Da der Veränderungsprozess der Vegetationszusammensetzung nach dem Brennen gemäss Forschenden noch andauert, ist eine weitere Annäherung an eine typische TWW-Artenzusammensetzung oder gar Erreichung einer solchen in den kommenden Jahren durchaus noch möglich.

Mehrere **Brutvogelarten** der offenen bis halboffenen alpinen Lebensräume konnten vom kontrollierten Abbrennen profitieren resp. die Reviere beibehalten. So auch das Braunkehlchen (*Saxicola rubetra*), eine Prioritätsart der Artenförderung im Kanton Wallis. Vor allem die senkrechten Strukturen, die nach dem Brennen in Form der verkohlten Zwergwacholderäste übrigblieben und von den Vögeln als Sing- und Sitzwarte genutzt wurden, erhöhten die Attraktivität des Lebensraumes. Das kontrollierte Abbrennen kann zur Öffnung verbuschter Flächen beitragen und damit potenziell geeignete Brutlebensräume für bestimmte Brutvogelarten schaffen oder erhalten.

Was den Aspekt der **Luftbelastung** durch das kontrollierte Brennen angeht, so verteilte sich die deutlich sichtbare Rauchfahne rasch in höhere Luftschichten und wurde dort mit der vorherrschenden Luftbewegung verfrachtet und verdünnt. Aufgrund von Emissionsabschätzungen kann davon ausgegangen werden, dass die Feinstaubkonzentration (PM10-Konzentration) direkt in den Rauchfahnen hoch war. Effektiv gemessen werden konnten während des Abbrennens aber nur geringe bis kurzfristig deutliche Anstiege der PM10 Konzentration. Der PM10-Tagesgrenzwert von $50 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ wurde aber zu keiner Zeit an keiner der Messstationen überschritten. Auch im Dorf Zermatt kam es zu keiner Zeit zu einer Feinstaubbelastung, die auf das Abbrennen zurückzuführen war.

Insgesamt kann geschlussfolgert werden, dass das kontrollierte Abbrennen auf passenden Standorten und bei fachgerechter Durchführung mit hohem Brennerfolg funktioniert und mit der Wiederherstellung strukturreicher Alpweiden nicht nur die Alpwirtschaft durch die Produktionsgrundlage für die Sömmerungstiere profitieren kann, sondern in besonderem Ausmass auch der Natur- und Artenschutz durch ökologisch wertvolle Mosaik- und Lebensräume für viele Pflanzen- und Tierarten. Im Vergleich zum Mulchen lassen sich die Bodenbedingungen durch das kontrollierte Abbrennen für die anschliessende Wiederbegrünung verbessern, weil keine zusätzliche Biomasse auf der Fläche zurückbleibt, die in alpinen Höhenlagen in der Regel zu langsam zersetzt wird und dadurch eher wachstumshemmend auf die Wiederbegrünung wirkt. Die Feinstaubbelastungen lassen sich bei fachgerechter Durchführung mit passendem Brennweather und oberflächlich gut abgetrocknetem

Brennmaterial offenbar in einem «nicht übermässigen Rahmen» halten. Somit kann unter Berücksichtigung aller untersuchten Bereiche insgesamt eine **positive Gesamtbilanz** gezogen werden.

Damit das kontrollierte Abbrennen eine nachhaltige Regulierungs- bzw. Pflegemassnahme gegen die Verbuschung auf Alpweiden sein kann, ist es essentiell, dass der Rahmen und die Voraussetzungen für die Anwendung einer solche Massnahme klar abgesteckt werden. Dazu benötigt es auch die entsprechenden rechtlichen Grundlagen. Das Büro Alpe empfiehlt für einen Einsatz des kontrollierten Brennens zur Regulierung von Verbuschung auf Alpweiden die Einhaltung bestimmter Vorgaben / Voraussetzungen betreffend:

- zukünftiger Bewirtschaftung
- Flächeneignung
- bei grösseren Flächen auch Flächenneigung
- Brennmethode
- Brennzeitraum
- strukturreiche Alpweide als Zielbestand
- Sicherheitskonzept
- Haftungsfrage

Für den Vollzug wird, ähnlich wie beim Mulchen, der Einsatz von kantonalen Bewilligungen empfohlen.

1 Einleitung

Im Jahr 2012 wurde der jährliche Verlust an Sömmerungsfläche durch Verbuschung und Verwaldung in der Schweiz mit 2'400 Hektar beziffert (Brändli, 2012), aktuellere Zahlen liegen derzeit nicht vor. Wenn im Sömmerungsgebiet dort, wo einst Weideflächen waren, Büsche und Bäume als geschlossene Bestände wieder aufwachsen, gehen sowohl wertvolle Futterflächen für die Sömmerungstiere verloren, wie auch ein zentraler Teil der alpinen Kulturlandschaft und charakteristisches Erholungs- und Aktivitätsgebiet (für z. B. Wanderer oder Skifahrer). Zudem kommt es zu erheblichen Biodiversitätsverlusten, sowohl bei Pflanzen- als auch bei Tierarten (Hofer et al., 2013; Koch et al., 2013). Davon betroffen sind auch Trockenwiesen und -weiden (TWW) von nationaler Bedeutung. Der Bund ist durch die Bundesverfassung im Artikel 104, Ziffer 1 beauftragt dafür Sorge zu tragen, «(...) dass die Landwirtschaft durch eine nachhaltige und auf den Markt ausgerichtete Produktion einen wesentlichen Beitrag leistet zur sicheren Versorgung der Bevölkerung, zur Erhaltung der natürlichen Lebensgrundlagen und zur Pflege der Kulturlandschaft sowie zur dezentralen Besiedlung des Landes» (BV, 1999). Die zunehmende Verbuschung der Schweizer Alpweiden gefährdet die Erfüllung dieses Auftrages. Seit 2014 hat der Bund mit weiteren verschiedenen Massnahmen versucht, dem Verbuschungsdruck entgegenzuwirken. Wie diese Massnahmen tatsächlich greifen, ist im Detail nicht bekannt. In der Praxis wird insbesondere auf den aufwendig zu bewirtschaftenden Grenzertragslagen nach wie vor eine zunehmende Verbuschung beobachtet (Agripedia, 2026; Hofer et al., 2013).

Mechanische Formen der Zwergstrauchregulierung wie Mulchen oder Mähen stossen auf Alpweiden vor allem aufgrund des unebenen, steilen und oft mit Steinen und Felsen durchsetzten Geländes an Grenzen. Zudem kann das Mulchen aus naturschutzfachlicher Sicht durchaus kritisch betrachtet werden, weil damit alle auf der Fläche vorhandene tierische und pflanzliche Biomasse zerstört und zerkleinert wird. Zurück bleibt eine Mulchschicht, die sich über den Boden legt und bei mengenmässig viel zerkleinerter Biomasse und entsprechender Mulchschichtdicke einem Aufkommen von Vegetation entgegenwirkt. Denn das zerkleinerte Zwergstrauchmaterial ist in der Regel schwer zersetzbar, was die Bodenversauerung verstärkt, die Bodentätigkeit und Humuszersetzung hemmt (Lichtenegger, 1998), eine weitere Anreicherung der schwer zersetzbaren Rohhumusschicht fördert und den Boden-pH-Wert letztendlich dauerhaft absinken lässt. Diese Bodenbedingungen fördern wiederum die Rückkehr von artenarmen Zwergstrauchbeständen und hemmen gleichzeitig ein Wiederaufkommen anderer, artenreicherer Vegetation (Lichtenegger, 1998).

Ein kontrolliertes Abbrennen von Verbuschung auf Alpweiden ist unabhängig der Geländebedingungen durchführbar, es entsteht dabei keine Mulchschicht und der bereits vorhandene und schwer zersetzbare Rohhumus unten den Zwergsträuchern wird beim kontrollierten Abbrennen teilweise oder sogar vollständig mitverbrannt. Das führt zu einem Mineralisationsschub im Boden, bei dem gebundene Nährstoffe in pflanzenverfügbare Formen überführt werden und entsprechend die Wiederbegrünung beschleunigt wird. Bei fachgerechter

Durchführung was den Standort, die Brennmethode und den Brennzeitpunkt angeht, können sich aus naturschutzfachlicher Sicht also durchaus einige wertvolle Aspekte dieser Zwergstrauchregulierungsmethode ergeben (Huber et al., 2008; Lichtenegger, 1998; Goldammer et al., 1997). Derzeit ist das kontrollierte Abbrennen in der Praxis aber verboten. Die Verbote lassen sich einerseits mit der Luftbelastung und andererseits mit dem Arten- & Lebensraumschutz begründen.

Bei der Luftbelastung geht es vor allem um die Vermeidung von «übermässigen Immissionen» (Luftschadstoffeintrag) (Art.2 Ziff.5 LRV, SR 814.318.142.1), welche durch das kontrollierte Brennen auf Menschen und Umwelt einwirken. Besonderes Augenmerk liegt hierbei auf den Feinstaubemissionen. Beim Arten- & Lebensraumschutz geht es hauptsächlich darum, Verluste von Artenvielfalt, Biodiversität und Lebensräumen zu vermeiden (JSG, SR 992.0; USG, SR 814.01).

Mit dem vorliegenden Forschungsprojekt sollen Grundlagen geschaffen werden, um einerseits die Machbarkeit und den Brennerfolg des kontrollierten Brennens in Abhängigkeit von verschiedenen Standortfaktoren zu testen und zu evaluieren und andererseits den Einfluss des kontrollierten Brennens auf Vegetation, Verbuschung, Brutvögel und Luftqualität zu untersuchen und einzuordnen. Die Ergebnisse sollen als Diskussions- und Entscheidungsgrundlage in diesem Themenbereich dienen und anhand der Ergebnisse sollen Empfehlungen für Entscheidungsträger bezüglich des Einsatzes des kontrollierten Brennens in der Praxis abgeleitet werden.

2 Projektdetails

2.1 Projektübersicht

Tabelle 1 gibt einen Überblick über den gesamten Projektablauf (2015 bis 2026).

Tabelle 1: Überblick Projektablauf.

Jahr	Projektstand
2015	• Kontaktaufnahme Landwirt Zermatt mit Büro Alpe um Prüfung einer möglichen Anwendung des kontrollierten Brennens als Entbuschungsmassnahme • Projektpartnersuche
2016	• Sitzung Sitten mit Vertretern vom Projekt und diverser Dienststellen Kt. Wallis: in Aussichtstellung einer Ausnahmebewilligung für kontrolliertes Brennen im Rahmen eines Forschungsprojektes • Erste Standortbegehung • Einreichen Gesuchstellung inkl. Projektskizze (Willems und Werder, 2016) bei den kantonalen Dienststellen für Landwirtschaft (DLW); Wald, Flussbau und Landschaft (DWFL); Umwelt (DUW); Jagd, Fischerei und Wildtiere (DJFW) und beim kantonalen Amt für Feuerwesen (KAF)
2017	• Erhalt der offiziellen Stellungnahmen zum Gesuch und Integration der Rückmeldungen bis zum Erhalt der positiven Vormeinungen resp. Einverständnisse für die Projektdurchführung • Projektfinanzierung vollständig gesichert durch Bundesamt für Landwirtschaft (BLW), Amt für Strukturverbesserungen Kt. Wallis, Stiftung Sur-la-Croix, Burgergemeinde Zermatt, Einwohnergemeinde Zermatt und Matterhorn Bergbahnen AG • Gemeinschaftlicher Entscheid zum Projektstart mit Einwohnergemeinde und Burgergemeinde Zermatt
2018	• Brennflächenvorbereitung mit Bildung einer Pufferzone • Vorbereitungen und Durchführen erster Forschungsarbeiten: Aufnahme Ist-Zustand von Vegetation, Verbuschung und Brutvögeln • Erteilung feuerpolizeiliche Bewilligung im Juni 2018 für das kontrollierte Brennen durch die Feuerkommission Zermatt • Kontrolliertes Brennen aufgrund des generellen Feuerverbots im gesamten Kanton Wallis nicht möglich
2019	• Brennflächenvorbereitung: Räumen Pufferzone • Kontrolliertes Brennen der Brennflächen A, B, C und D Mitte Oktober 2019 • Forschungsarbeiten: Brennerfolg und Luftqualität
2020	• Brennflächenvorbereitung: Räumen Pufferzone • Forschungsarbeiten 1. Jahr nach dem Brennen (A-D): Vegetation, Verbuschung, Brutvögel • Kontrolliertes Brennen der Brennflächen F, G, I, J im September und Brennfläche E im Oktober 2020 • Forschungsarbeiten: Brennerfolg (E, F, G, I, J), Luftqualität (nur F)
2021	• Ausführlicher Zwischenbericht 2021 (Stand Forschungsprojekt Ende 2020) • Forschungsarbeiten 1. Jahr nach dem Brennen (E-J): Vegetation, Verbuschung, Brutvögel
2022	• Forschungsarbeiten 3. Jahr nach dem Brennen (A-D): Brutvögel, Verbuschung
2023	• Forschungsarbeiten 3. Jahr nach dem Brennen (E-J): Brutvögel, Verbuschung
2024	• Forschungsarbeiten 5. Jahr nach dem Brennen (A-D): Vegetation, Verbuschung
2025	• Forschungsarbeiten 5. Jahr nach dem Brennen (E-J): Vegetation, Verbuschung
2026	• Erstellung Endbericht • Abschlussveranstaltung Zermatt mit allen involvierten AkteurInnen, Dienststellen, Staatsräten, Forschenden, Finanzgebenden, LandwirtInnen / Schafhaltenden

2.2 Projektziel

Ziel des Forschungsprojekts ist es:

- aufzuzeigen, auf welchen verschiedenen Standorten, die sich durch Hangexposition, Verbuschungsgrad und vorkommende Verbuschung unterscheiden, das kontrollierte Brennen technisch machbar ist,
- zu eruieren, welche Standortfaktoren den quantitativen Brennerfolg beeinflussen und
- zu untersuchen, wie die Auswirkungen des kontrollierten Brennens auf Vegetation, Verbuschung, Brutvögel und Luftqualität sind.

Begriffsdefinition: Unter «technischer Machbarkeit des kontrollierten Brennens» wird die Umsetzbarkeit des kontrollierten Abbrennens von im Boden verwurzelten Sträuchern verstanden, und zwar durch Anzünden mittels Gasbrenner und ohne die zusätzliche Verwendung von Materialien, die das Brennen darüber hinaus unterstützen (wie z. B. trockenes Geäst, Holz, Stroh, jegliche Formen von Brandbeschleuniger etc.).

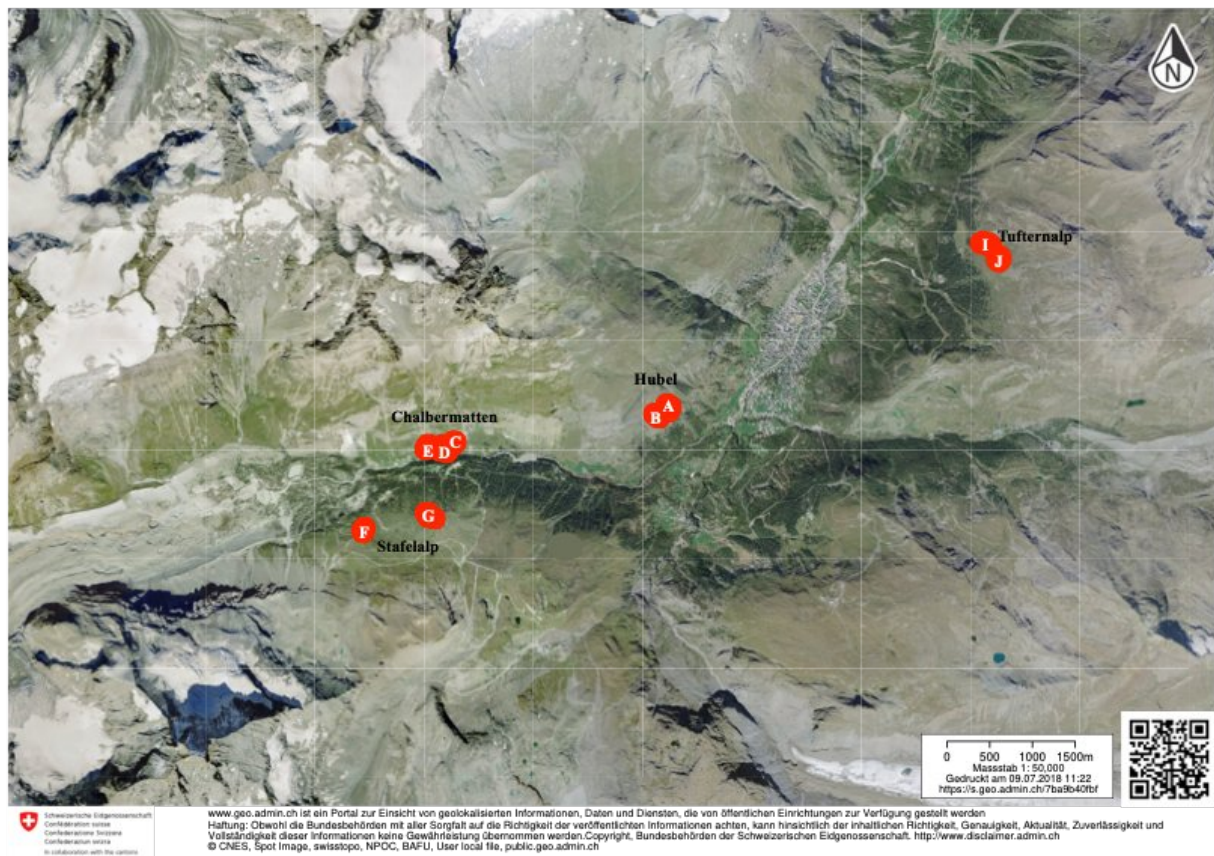
2.3 Projektgebiet

Das Projektgebiet befindet sich auf den mit Sömmerungstieren bewirtschafteten Alpweiden der Burgeralpe Zermatt und umfasst im ost-west-orientierten Zmutt tal, welches südöstlich von Zermatt liegt, Teile des Süd- und Nordhangs, sowie Teile des Westhangs im nord-süd-orientierten Mattertal, welches westnordwestlich von Zermatt liegt (Abbildung 1).

2.4 Brennflächen

Nach Standortbegutachtungen in den Jahren 2016 und 2018 mit Vertretern der Abteilung Sicherheit der Einwohnergemeinde Zermatt, der Projektleitung, Forschungspartnern und eines österreichischen Brennexperten wurden die definitiven neun Brennflächen im Projektgebiet sowie die Vorbereitungs massnahmen, die vor dem kontrollierten Brennen durchgeführt werden müssen, festgelegt. Die Brennflächen unterscheiden sich vor allem in ihrer Hangexposition und Hangneigung, ihrem Verbuschungsgrad und der Arten der vorkommenden Verbuschung (Straucharten). Abbildung 1 zeigt die Lage der Brennflächen im Projektgebiet.

Abbildung 1: Lage der Brennflächen im Projektgebiet.



2.5 Durchführung kontrolliertes Brennen

Das kontrollierte Brennen wurde mit Unterstützung eines österreichischen Brennexterten durchgeführt. Dabei kamen ausschliesslich sogenannte «kalte Mitwindfeuer» zum Einsatz. Das heisst, die Brennflächen werden grundsätzlich am unteren Ende der Brennfläche entflammt und das Feuer wird «mit der hangaufwärtsgerichteten Thermik» nach oben getragen.

Damit sich eine hangaufwärtsgerichtete Thermik entwickelt, ist eine wolkenlose, sonnige und stabile Hochdruckwetterlage notwendig (Kerschbaumer, 2016, mündl. Auskunft). Bei einer solchen bewirkt die Sonne, sobald sie auf die Brennfläche scheint, dass sich diese erwärmt und die bodennah warme Luft dann entlang des Hanges aufwärtssteigt, sich also eine sonneneinstrahlungsbedingte hangaufwärtsgerichtete Thermik entwickelt. Mit der hangaufwärtsgerichteten Thermik wird dann auch das Feuer nach oben getragen. Die Aufwärtsbewegung des Feuers gewährleistet eine verhältnismässig geringe Verweildauer und Eindringtiefe des Feuers in den Boden.

Der Brennzeitpunkt sollte für möglichst geringe ökologische Auswirkungen auf Boden, Flora und Fauna wie auch für möglichst trockenes Brennmaterial so spät wie möglich im Herbst / Winter liegen (Schreiber et al., 2009). Gleichzeitig sollte aber auch vor dem definitiven

Wintereinbruch gebrannt werden, zu einem Zeitpunkt, an dem ein noch ausreichend steiler Sonneneinstrahlungswinkel eine hangaufwärtsgerichtete Thermik entstehen lassen kann. Idealerweise wird nach einer ersten Kälteperiode gebrannt, damit sich die verschiedenen Lebewesen und Pflanzen auf der Brennfläche bereits in ihrer Winterruhe befinden.

In Zusammenarbeit mit der Feuerkommission Zermatt, der Einwohnergemeinde Zermatt und dem österreichischen Brennexterten wurde ein Sicherheitskonzept für das Durchführen des kontrollierten Abbrennens erarbeitet und umgesetzt. Dabei wurden ca. 3 m breite Pufferstreifen seitlich und oberhalb (sofern keine Felsen angrenzten) für jede Brennfläche definiert und vollständig und bodennah freigeschnitten. Jegliches Schnittmaterial wurde aus den Pufferstreifen entfernt, sodass dort kein Brennmaterial zur Verfügung stand und das Feuer an den Pufferstreifen zum Erliegen kam.

Im Juni 2018 wurde die feuerpolizeiliche Bewilligung für das kontrollierte Brennen im Rahmen des Projektes von der Feuerkommission Zermatt erteilt. Aufgrund eines generellen Feuerverbots im Kanton Wallis im Sommer / Herbst 2018 konnte mit dem kontrollierten Brennen aber erst im Herbst 2019 begonnen werden.

Die Feuerwehr Zermatt war bei der Durchführung des kontrollierten Brennens auf jeder Brennfläche vor Ort anwesend. Je nach Standort wurden verschiedene Massnahmen für die Gewährung der Sicherheit gesetzt (Anwesenheit vor Ort / Bereitschaft Angehörige der Feuerwehr (AdF), Löschzug, Brandkontrolle mit Wärmebilddrohne etc.).

Wenn das Feuer – insbesondere aufgrund von nicht zusammenhängender Verbuschung – nicht gut weitergetragen wurde, wurde die Verbuschung auf den Brennflächen teilweise mehrmals angezündet.

3 Untersuchungen

3.1 Standortfaktoren und Brennerfolg

Verfasst von Dr. Helen Willems¹, Cornel Werder¹ und Dr. Manuel Schneider²

¹Büro Alpe ²Agroscope Reckenholz

Ziel der Untersuchungen zu Standortfaktoren und Brennerfolg war zu untersuchen, auf welchen Standorten ein kontrolliertes Brennen überhaupt technisch machbar ist und allenfalls Zusammenhänge zwischen Standortfaktoren und dem quantitativen Brennerfolg zu finden.

3.1.1 Material und Methode

Die Brennflächen wurden per GPS vermessen und die verschiedenen Standortfaktoren (Grösse, Höhenlage, Hangexposition, Hangneigung und Sonneneinstrahlung) mithilfe des digitalen Höhenmodells swissALTI3D und Datenauswertung in QGIS 3.16.4-Hannover berechnet.

Die Flächenanteile an Verbuschung wurden vor dem kontrollierten Brennen je Brennfläche, sowie der quantitative Brennerfolg (abgebrannte Flächenanteile) danach bestimmt. Dazu wurden in den Jahren 2018, 2020 und 2021 Luftbildaufnahmen mit einer Starrflügeldrohne (eBee, senseFly, Cheseaux-sur-Lausanne, Schweiz) durchgeführt. Diese flog in einer Höhe von knapp 100 M. ü. M. und war mit einer RGB Kamera (senseFly S.O.D.A.) ausgestattet. Die Luftbilder wurden mittels Pix4Dmapper (Pix4D SA, Prilly, Schweiz) zu einem Orthomosaik mit einer Auflösung von 3 cm zusammengefügt und mittels markierten Referenzpunkten im Gelände georeferenziert. Aus dem so erzeugten Bildmaterial wurden die verschiedenen Flächenanteile im QGIS berechnet.

Die Trockensubstanz des Brennmaterials (bestehend aus Verbuschung, krautiger Vegetation und Streu) wurde gravimetrisch bestimmt. Dazu wurden pro Brennfläche jeweils fünf Proben von der vorhandenen Verbuschung (umfasst Sträucher und Zwergsträucher), der krautigen Vegetation (umfasst Gräserartige, Kräuter und Leguminosen) und der vorhandenen Streu (von unterhalb der Verbuschung) genommen. Die Proben wurden entlang eines Höhengradienten genommen, und zwar jeweils eine Probe auf Höhenlage einer Untersuchungsfläche der Vegetationskartierungen (vgl. Abschnitt 3.3). Die Proben wurden jeweils am Vortag des kontrollierten Brennens genommen und zu der Tageszeit, zu der das kontrollierte Brennen am Folgetag durchgeführt wurde.

3.1.2 Resultate

3.1.2.1 Standortfaktoren

Tabelle 2 gibt einen Überblick über die Standortfaktoren der Brennflächen.

Tabelle 2: Überblick über Standortfaktoren der Brennflächen.

BF	Gebiet	Grösse (m ²)	Höhenlage (M. ü. M.)		Ø Hangexposition		Hangneigung (Grad)			Beschreibung Gelände	Verbuschungsgrad (%)	Geschätzter Anteil an Straucharten	Beschreibung Verbuschung
			von	bis	Azimuth	entspricht Himmelsrichtung	MW	von	bis				
A	Hubel	6766	2022	2112	119	OSO	33	22	50	«stetig steil»; vertikal verlaufender konvexer Rücken	67	ZW (100 %)	«von kleineren Lücken durchzogen»
B		5045	2035	2121	131	SO	34	26	42	«stetig steil»; vertikal verlaufender konvexer Rücken	66	ZW (85-90 %), SW (10-15 %)	«von kleineren Lücken durchzogen»
C	Chalbermaten	2394	2066	2085	137	SO	21	1	35	«insgesamt eher flach»; unterer Teil ganz eben, dann zunehmend steiler	60	ZW (95-100 %), SW (0-5 %)	ebener Teil: ohne Verbuschung; ansteigender Teil: «von kleineren Lücken durchzogen»
D		8014	2072	2117	148	SSO	21	2	57	«wechselnde Steilheit», horizontal durchquert ein ebener Bereich	65	ZW (95-100 %), SW (0-5 %)	«von Lücken durchzogen»
E		8156	2100	2141	191	S	25	6	45	«stetig steil»	85	ZW (90-95 %), SW (0-5 %), BT (0-5 %)	«flächenhaft und vollverbuscht»
F	Stafelalp	8120	2287	2337	45	NO	29	13	43	«stetig steil»	56	ZW (50-65 %), AR (30-35 %), BT (5-10 %), AA (0-5 %)	«inselartig»
G		5817	2336	2369	296	WNW	20	1	39	ein Teil «stetig steil» & ein Teil «stetig flach ansteigend»	60	ZW (45-60 %), BT (15-20 %), RB (15-20 %), AA (10-15 %)	«inselartig»
I	Tufternalp	2777	2777	2295	249	WSW	19	10	30	«stetig flach ansteigend»	61	ZW (100 %),	«inselartig»
J		2100	2282	2319	276	W	34	21	51	«stetig steil»	62	ZW (85-90 %), BT (10-15 %)	«inselartig»

AA: Alpenazalee; AR: Alpenrose; BF: Brennfläche; BT: Bärentraube; MW: Mittelwert; RB: Rauschbeere; SW: Stinkwacholder; ZW: Zwergwacholder

Von der Hangexposition her lassen sich die Brennflächen grob in drei Kategorien fassen:

- die Brennflächen A bis E mit eher südlicher Ausrichtung,
- die Brennflächen F und G mit Beteiligung nördlicher Himmelsausrichtung und
- die Brennflächen I und J mit eher westlicher Ausrichtung.

Bei der Brennfläche G gibt es einen steilen Bereich, der relativ einheitlich nach Nordwesten hin ausgerichtet ist und einen flacheren Bereich, der überwiegend nach Westen hin ausgerichtet ist. Alle anderen Brennflächen zeigten eine eher homogene Hangexposition.

Von der Hangneigung her gibt es:

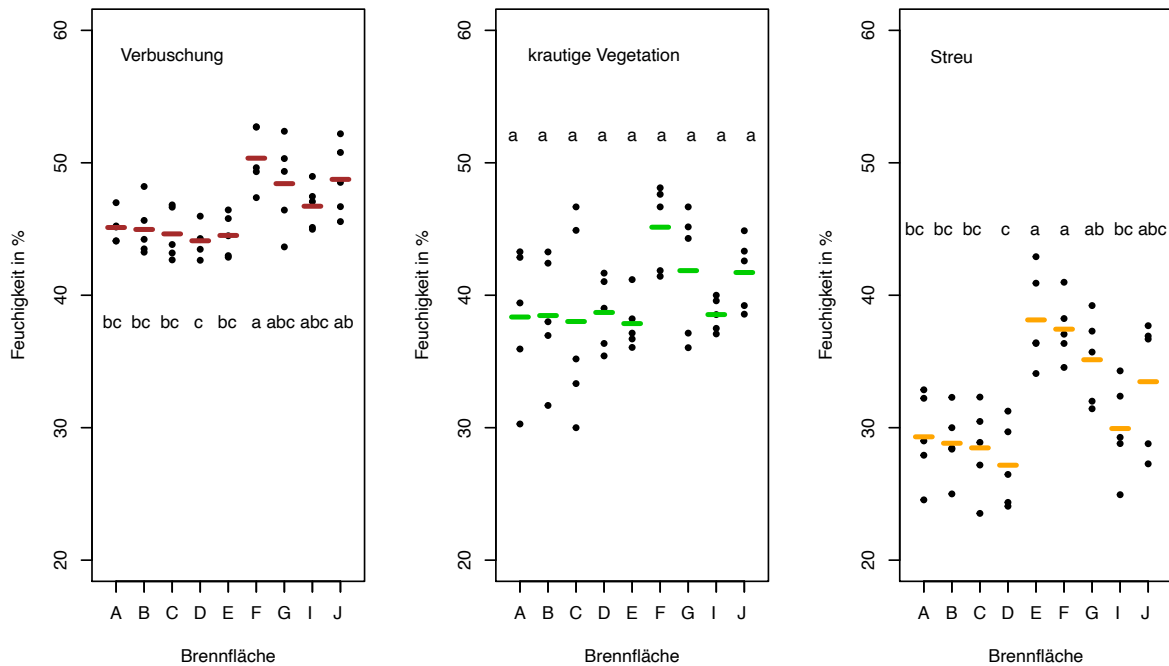
- die Brennflächen A, B, E, F und steiler Teil von G, die insgesamt eher steil sind,
- die Brennfläche D mit wechselnder Steilheit und
- die Brennflächen C, flacher Teil von G und I die insgesamt von der Hangneigung her eher flach sind.

Von der Verbuschung her sind:

- die Brennflächen A bis E, flacher Teil von G und I in den Bereichen, in denen sie verbuscht sind, dominant mit Zwergwacholder verbuscht und
- bei den Brennflächen F, G und J mischen sich zum Zwergwacholder weitere Straucharten wie die Bärentraube, teilweise auch die Alpenrose, Alpenazalee und Rauschbeere hinzu.

Abbildung 2 zeigt die Feuchtigkeitsgehalte von Verbuschung, krautiger Vegetation und Streu auf den Brennflächen zum Zeitpunkt des kontrollierten Abbrennens.

Abbildung 2: Feuchtigkeitsgehalt von Verbuschung, krautiger Vegetation und Streu in % auf den Brennflächen zum Zeitpunkt des kontrollierten Abbrennens. Schwarze Punkte zeigen Einzelwerte, farbige Striche jeweils den Mittelwert pro Brennfläche. Mittelwerte eines Parameters, die einen gleichen Kleinbuchstaben tragen, unterscheiden sich nicht signifikant voneinander ($p < 0.05$).

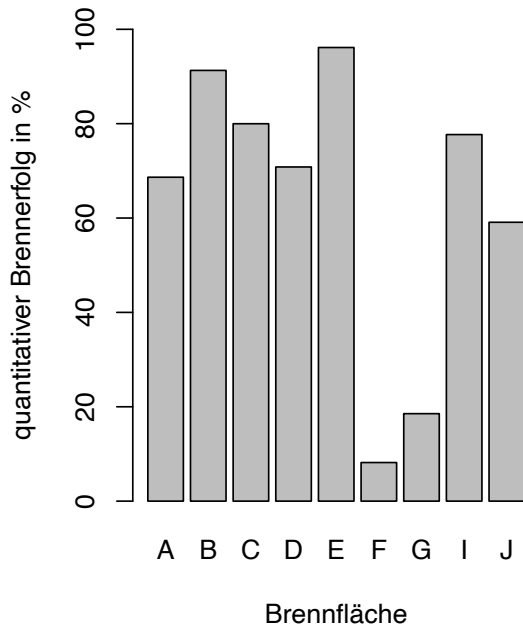


Die Feuchtigkeitsgehalte der Verbuschung (linke Abbildung) lagen bei allen südexponierten Brennflächen (A bis E) insgesamt etwas tiefer als bei den restlichen Brennflächen (F bis J). Die mittleren Feuchtigkeitsgehalte der krautigen Vegetation (mittlere Abbildung) zeigten ein ähnliches Muster wie diejenigen der Verbuschung. Die höchste Feuchtigkeit war auf der Brennfläche F zu finden und die niedrigsten Feuchtigkeitsgehalte auf allen südexponierten Brennflächen A bis E sowie auf der Brennfläche I. Die Streuung der Einzelwerte war bei der krautigen Vegetation aber insgesamt grösser als bei der Verbuschung. Die mittlere Feuchtigkeit der Streu (rechte Abbildung) lag auf den südexponierten Brennflächen A bis D sowie auf der Brennfläche I am niedrigsten. Die ebenfalls südlich exponierte Brennfläche E wies hier jedoch, ebenso wie die restlichen Brennflächen F, G und J, eine eher hohe Feuchtigkeit der Streu auf.

3.1.2.2 Quantitativer Brennerfolg

Abbildung 3 gibt eine Übersicht über den quantitativen Brennerfolg jeder Brennfläche. Hierfür wurde der Anteil der abgebrannten Sträucher an der Gesamtverbuschung je Brennfläche berechnet.

Abbildung 3: Übersicht über quantitativen Brennerfolg je Brennfläche.



Der quantitative Brennerfolg war auf der steilen, südexponierten und flächenhaft mit Zwergwacholder verbuschten Brennfläche E am höchsten (Abbildung 3), gefolgt von den Brennflächen B, C, I, D und A, also all jene Brennflächen, die dominant mit Zwergwacholder verbuscht waren. Bei der Brennfläche A zeigte insbesondere der östlich exponierte Teil der konvexen Brennfläche einen geringeren quantitativen Brennerfolg (Abbildung 4). Bei der Brennfläche D hat vor allem der fehlende Brennerfolg eines Teilbereichs, welcher hinter einem Schmelzwasserlauf lag, zum insgesamt geringeren quantitativen Brennerfolg der Brennfläche im Vergleich zu den anderen südexponierten Brennflächen beigetragen.

Brennfläche F wies den mit Abstand geringsten quantitativen Brennerfolg auf, gefolgt von Brennfläche G und schliesslich J. Bei Brennfläche F konnten nur die einzelnstehenden Zwergwacholder angezündet und abgebrannt werden. Die Brennfläche G zeigte eine klare Zweiteilung mit hohem quantitativem Brennerfolg auf dem flachen Teil und nahezu Fehlendem auf dem steilen Teil der Brennfläche.

Abbildung 4: Luftbildaufnahmen der Starrflügeldrohne nach dem kontrollierten Abbrennen der Brennflächen E, I, A und D.

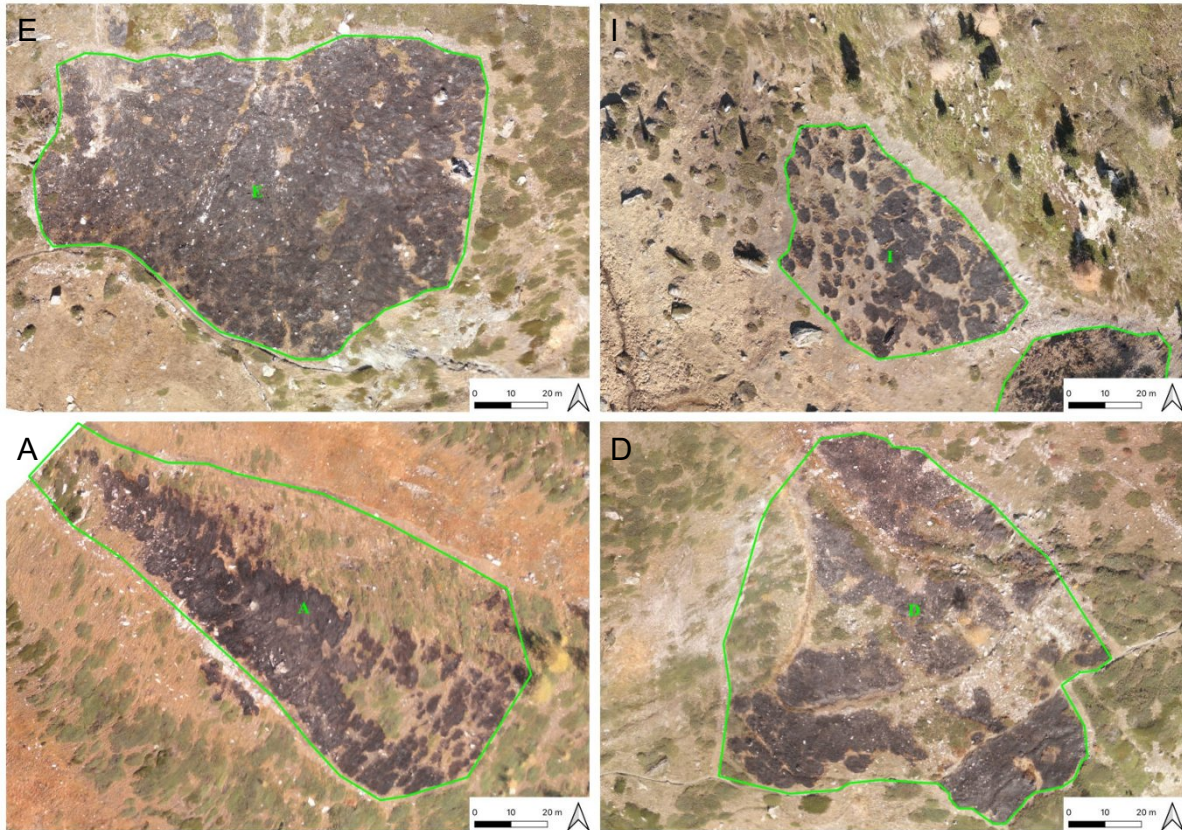


Abbildung 5 zeigt in einer zeitlichen Fotoabfolge anschaulich den Brennerfolg und auch die erste Wiederbegrünung auf Brennfläche D.

Abbildung 5: Brennfläche D kurz vor dem Abbrennen (Oktober 2019, oben), kurz nach dem Abbrennen (Oktober 2019, mitte) und im Juni des Folgejahres (2020, unten).





Abbildung 6 zeigt den quantitativen Brennerfolg in Abhängigkeit der Trockensubstanz des vorhandenen Brennmaterials.

Abbildung 6: Korrelationen zwischen dem quantitativen Brennerfolg und der Trockensubstanz von Verbuschung, krautiger Vegetation und Streu zum Zeitpunkt des Abbrennens.

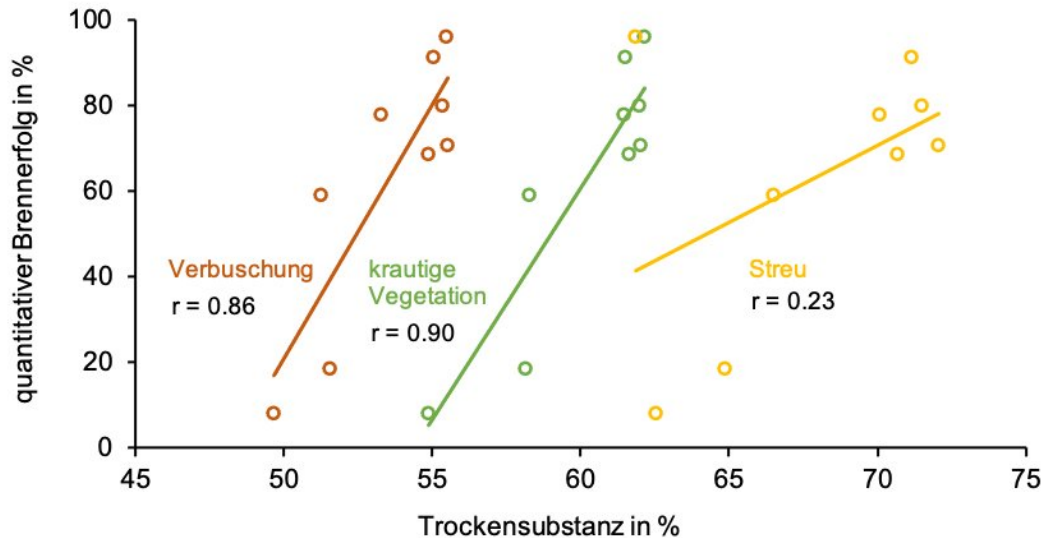


Abbildung 6 zeigt, dass der quantitative Brennerfolg umso geringer war, je feuchter die Verbuschung ($r = 0.86$) und auch die krautige Vegetation ($r = 0.90$) zum Zeitpunkt des Abbrennens war. Die Feuchtigkeit der Streu zeigte hingegen keinen Einfluss auf den quantitativen Brennerfolg ($r = 0.23$).

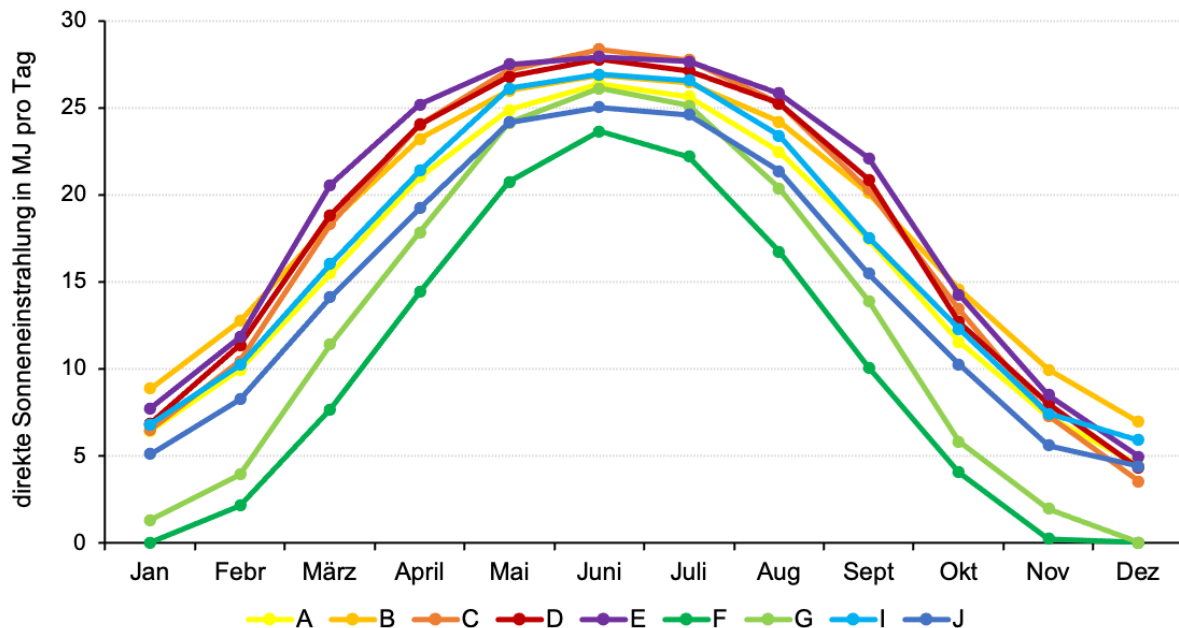
Bei der Hangexposition war auffällig, dass alle südexponierten Flächen, unabhängig ob steil oder flach, einen hohen quantitativen Brennerfolg von knapp 70 % und mehr erreicht haben, während auf den anderen Expositionen jeweils nur die flachen Brennflächen resp. die flachen Bereiche der Brennflächen einen ähnlich hohen quantitativen Brennerfolg erzielen konnten. Entsprechend zeigte die Hangneigung separat betrachtet keinen Zusammenhang zum quantitativen Brennerfolg ($r = 0.03$).

Die Hangneigung in Kombination mit der Hangexposition scheint aber eine wichtige Einflussfaktorenkombination für die technische Machbarkeit und den quantitativen Brennerfolg zu sein. Die potentiell mögliche Sonneneinstrahlung auf einer Fläche beschreibt, wie viel Sonnenenergie auf einer Fläche ankommt und berücksichtigt dabei Hangexposition und Hangneigung wie auch mögliche Beschattungsobjekte (wie Gebäude oder Berge). Entsprechend wurde die potentiell mögliche direkte kurzweilige Sonneneinstrahlung (im Folgenden auch «Sonneneinstrahlung» genannt) auf den einzelnen Brennflächen analysiert.

3.1.2.3 Sonneneinstrahlung

Abbildung 7 zeigt die durchschnittliche Sonneneinstrahlung auf den Brennflächen gemittelt für jeden Monat im Jahresverlauf.

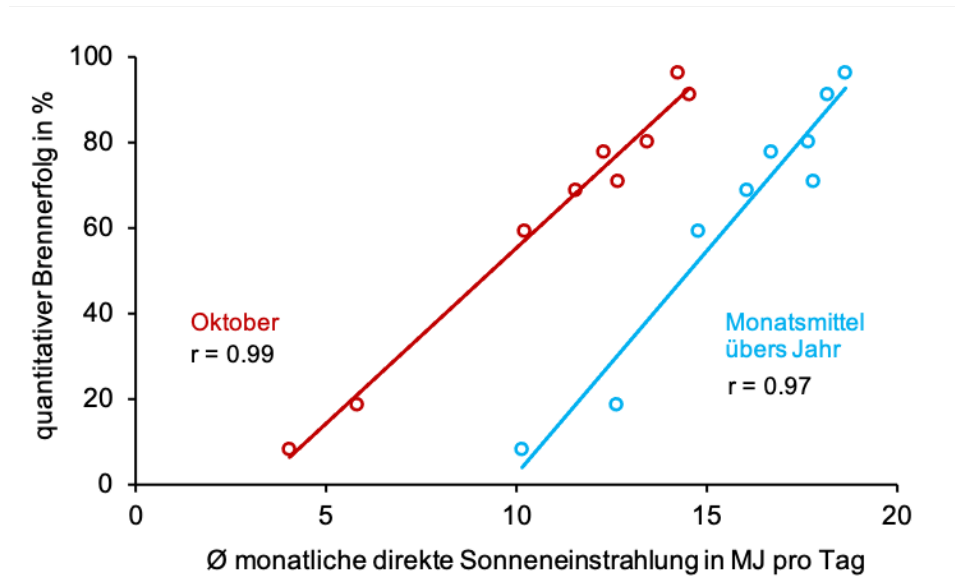
Abbildung 7: Monatsdurchschnittswerte der potentiell möglichen direkten kurzwelligen Sonneneinstrahlung in Kilojoule (MJ) pro Tag je Brennfläche im Jahresverlauf.



Die dunkelgrüne Kurve der Brennfläche F weist im Jahresverlauf durchgehend die geringste potentiell mögliche Sonneneinstrahlung auf. Das heisst, die Brennfläche F bekommt von ihrer Lage her (nordostexponiert, steil und direkt an den steilen Fuss des Matterhorns angrenzend) zu jeder Zeit des Jahres bei angenommen wolkenlosem Himmel von allen Brennflächen am wenigsten Sonneneinstrahlung ab. Betrachtet man die Monatsmittelwerte des Monats September, so fällt auf, dass die Brennflächen B bis E (hellorange, dunkelorange, rot und violett) mit Werten über 20 MJ pro Tag durchschnittlich eine mehr als doppelt so hohe Sonneneinstrahlung erfahren wie die Brennfläche F (dunkelgrün) mit ca. 10 MJ pro Tag. Im Oktober liegt die durchschnittliche Sonneneinstrahlung auf den Flächen B bis E mit Werten über 12 MJ pro Tag zwar deutlich tiefer als im Vormonat, aber immer noch etwa dreimal so hoch wie auf der Brennfläche F mit durchschnittlich nur noch 4 MJ pro Tag. Abbildung 7 verdeutlicht, dass die Brennfläche F sowohl über das gesamte Jahr gemittelt die geringste Sonneneinstrahlung erfährt und auch dass diese speziell im Herbst – zur potentiellen Brennzeit – anteilmässig im Vergleich zu den südexponierten Brennflächen nochmal deutlich reduzierter ist als im Hochsommer.

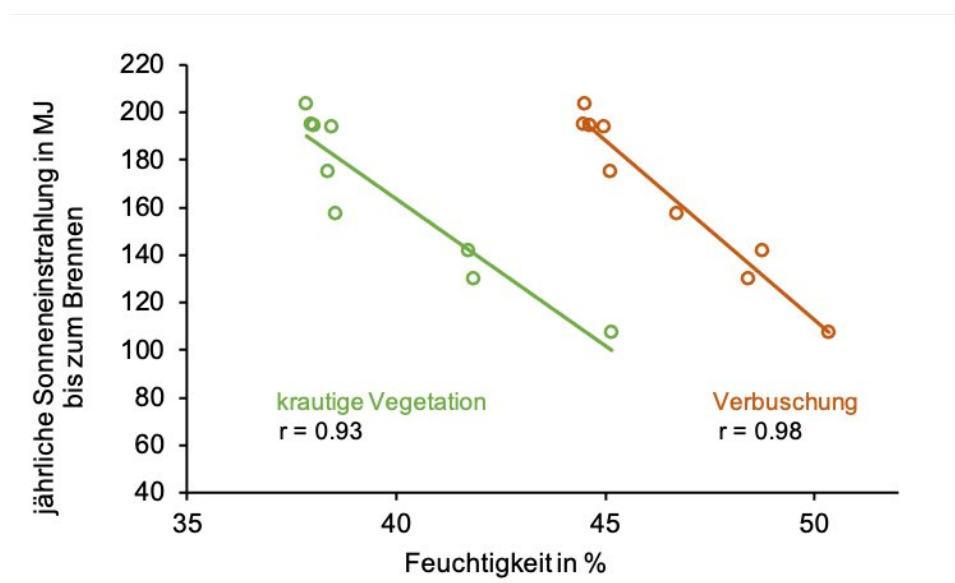
Die durchschnittliche mögliche Sonneneinstrahlung im Monat Oktober (rot) oder auch gemittelt über alle Monate des Jahres (blau) zeigen beide eine deutliche Korrelation ($r=0.99$ resp. $r=0.97$) zum quantitativen Brennerfolg (Abbildung 8).

Abbildung 8: Korrelation zwischen dem quantitativen Brennerfolg und der potentiell möglichen Sonneneinstrahlung (als Mittelwert des Monats Oktober und übers ganze Jahr gemittelt) auf den Brennflächen.



Ebenso bestehen deutliche Korrelationen zwischen der aufsummierten Sonneneinstrahlung übers Jahr bis zum Zeitpunkt des kontrollierten Abbrennens einer Brennfläche und dem Feuchtigkeitsgehalt der dort vorhandenen Verbuschung ($r=0.98$) und krautigen Vegetation ($r=0.93$) (Abbildung 9).

Abbildung 9: Korrelation zwischen der potentiell möglichen direkten Sonneneinstrahlung übers Jahr aufsummiert bis zum Zeitpunkt des kontrollierten Abbrennens und dem Feuchtigkeitsgehalt von Verbuschung und krautigen Vegetation.



3.1.3 Diskussion

Der Einfluss verschiedener Standortfaktoren auf die technische Machbarkeit des kontrollierten Abbrennens und den quantitativen Brennerfolg wie auch auf die ökologischen Brandauswirkungen ist multifaktoriell und komplex. Je nach Standort wiegen unterschiedliche Einflussfaktoren in diesem Wirkungskomplex verschieden schwer.

Im Rahmen des Forschungsprojektes konnten für die Brennflächen auf den Zermatter Alpweiden zwei Indikatoren identifiziert werden, die den multifaktoriellen Einfluss auf die technische Machbarkeit und den quantitativen Brennerfolg schlüssig herunterbrechen.

3.1.3.1 Technische Machbarkeit und quantitativer Brennerfolg

Die Haupteinflussfaktoren im Wirkungskomplex für die technische Machbarkeit des kontrollierten Brennens mittels kalter Mitwindfeuer und auch für den quantitative Brennerfolg sind:

- Verbuschungsart (Strauchart),
- Verbuschungsgrad,
- Hangexposition,
- Hangneigung,
- Trockenheit des Brennmaterials,
- potentielle Sonneneinstrahlung,
- Brennzeitpunkt (Tag im Jahr und Tageszeit)
- Wetterlage am Brenntag und auch an den Tagen davor.

Bevor die einzelnen Einflussfaktoren diskutiert werden, muss zunächst angemerkt werden, dass der erhobene quantitative Brennerfolg nur auf den Brennflächen A, B und E derjenige ist, der nach einmaligem Anzünden und folglich selbständigem Weitertragen des Feuers erreicht wurde. Auf den anderen Brennflächen wurde aufgrund des stockenden Weitertragens des Feuers mehrmals angezündet. Die weniger guten Standortbedingungen für ein selbständiges Weitertragen des Feuers wurden auf diesen Brennflächen durch das mehrmalige Anzünden also teilweise kompensiert. Der quantitative Brennerfolg der so erreicht wurde, ergab sich also nicht ausschliesslich aus den Standortbedingungen der Brennflächen, sondern teils auch aus dem Arbeitsaufwand bei der Brenndurchführung. Der quantitative Brennerfolg wird in der nachfolgenden Diskussion daher nicht ausschliesslich auf seinen Wert hin diskutiert, sondern zum Teil auch auf den Aufwand hin, der für das Erreichen notwendig war.

3.1.3.1.1 Verbuschungsart (Strauchart) / Verbuschungsgrad

Alle Brennflächen, die einen möglichst hohen Verbuschungsgrad mit Zwergwacholder aufwiesen, zeigten einen hohen quantitativen Brennerfolg, der in der Umsetzung auch mehrheitlich durch einmaliges Anzünden, teilweise auch durch wenige Male Anzünden erreicht wurde.

Der Verbuschungsgrad wirkt sich insofern auf die technische Machbarkeit des kontrollierten Brennens aus, als dass ein Weitertragen des Feuers vom unteren Ende ans obere Ende der Brennfläche durch eine flächenhaft deckende Vollverbuschung leichter gewährleistet werden kann, als durch eine lückige bis inselartige Verbuschung. Allerdings wird das Weitertragen des Feuers nicht ausschliesslich vom Verbuschungsgrad bestimmt, sondern von der Kombination aus Verbuschungsgrad und Verbuschungsart.

Die leichte Brennbarkeit des Zwergwacholders ist auf die in den Nadeln und anderen Pflanzenteilen enthaltenen ätherischen Öle und Harze zurückzuführen. Der Zwergwacholder verliert in alpinen Höhenlagen in den Wintermonaten (beginnend etwa ab September) zudem natürlicher Weise an Wassergehalt (Mayr et al., 2006). Das begünstigt seine Brennbarkeit in den Wintermonaten zusätzlich. Der Zwergwacholder bevorzugt grundsätzlich trockene und sonnige Lagen (Dietl und Jorquera, 2007). Daher ist er auf Alpweiden oft an Südhängen zu finden, wo er häufig flächenhaft vorkommt. Man findet ihn aber auch auf anderen Expositionen. In diesen Fällen ist er häufig in Kombination mit anderen Arten von Verbuschung anzutreffen. Flächenhaft kommt er auf südabgewandten Expositionen in der Regel nur vor, wenn er an diesen Standorten viel Sonne abbekommt. Das ist eher auf flachen Standorten der Fall, weil auf diesen die Sonneneinstrahlung im Gegensatz zu steilen und gleichzeitig südabgewandten Standorten erhöht ist (vgl. auch Abbildung 7).

Wenn die Verbuschung mit Zwergwacholder nicht flächendeckend war, sondern eher lückenhaft bis inselartig und entsprechend Brücken aus Zwergwacholder zwischen den einzelnen Verbuschungsbereichen gefehlt haben, dann war ein selbständiges Weitertragen des Feuers häufig nicht gegeben. In diesen Fällen (Brennflächen C, D, F, G, I und J) wurde die Verbuschung auf den Brennflächen mehrmals erneut angezündet. Der so erreichte quantitative Brennerfolg auf den Brennflächen C, D, F, G, I und J wurde entsprechend durch eine arbeitsaufwändigere Brenndurchführung erreicht.

Die anderen Straucharten auf den Brennflächen abseits des Zwergwacholders waren: Bärentraube, Alpenrose, Rauschbeere und Alpenazalee. Diese erwiesen sich zum jeweiligen Brennzeitpunkt der Brennflächen als wenig gut brennbar. Sie konnten einerseits beim direkten Anzünden nicht erfolgreich entflammt werden und andererseits konnten sie das Feuer in der Regel auch nicht aktiv weitertragen. Sie brannten nur in solchen Fällen, in denen genügend umgebender Zwergwacholder dem Feuer ausreichend Energie und Dynamik für ein Weiterbrennen zur Verfügung stellte. Abbildung 10 zeigt eine ungebrannte Bärentraube umgeben von abgebranntem Zwergwacholder, an der das Feuer stoppte. Ein häufiges Vorkommen dieser Straucharten auf den Brennflächen (F und G) resultierte trotz mehrmaligem Anzünden, immer in einem niedrigen quantitativen Brennerfolg.

Abbildung 10: Abgebrannter Zwergwacholder und angrenzend ungebrannte Bärentraube auf Brennfläche E.



3.1.3.1.2 Hangexposition, Hangneigung

Die Untersuchungen zur Hangexposition und Hangneigung haben gezeigt, dass der Einfluss auf die technische Machbarkeit des kontrollierten Brennens und auch auf den quantitativen Brennerfolg für die beiden Faktoren separat betrachtet nicht eindeutig war. Vielmehr hängen beide Standortfaktoren zusammen und beeinflussen sich in ihrer Wirkungsweise.

So zeigten bei den südexponierten Brennflächen die «stetig Steilen» (A, B und E) einen hohen quantitativen Brennerfolg, der durch nur einmaliges Anzünden erreicht wurde, während auf den südexponierten «flacheren» Brennflächen (C und D) ähnliche quantitative Brennerfolge nur durch mehrmaliges Anzünden erreicht wurde.

Bei den südabgewandten Expositionen war der Einfluss von Hangexposition und Hangneigung eher umgekehrt. Hier zeigte westexponiert die «flach ansteigende» Brennfläche I einen höheren quantitativen Brennerfolg, der auch durch weniger häufiges Anzünden erreicht wurde, als derjenige der «stetig steilen» Brennfläche J.

Gemäss Strahler und Strahler (2009) hängt die potentiell mögliche direkte Sonneneinstrahlung an einem Ort vom Einfallswinkel der Sonne ab und berücksichtigt damit neben der geographischen Breitenlage auch die Hangexposition und Hangneigung sowie die Tages- und Jahreszeit. Die höchst signifikanten Korrelationen ($p < 0.001$) zwischen der möglichen Sonneneinstrahlung auf einer Brennfläche und dem jeweiligen quantitativen Brennerfolg (vgl. Abbildung 8) zeigen, dass die mögliche Sonneneinstrahlung auf einer Fläche die für ein

kontrolliertes Brennen relevanten Einflüsse von Hangexposition und Hangneigung gut in sich vereint und abbildet. Sie stellt also einen passenden Indikator für die Brennflächen dar, um auf den möglichen quantitativen Brennerfolg einer Fläche und entsprechend auch auf die technische Machbarkeit zu schliessen.

3.1.3.1.3 Trockenheit Brennmaterial, Brennzeitpunkt

Auch die Trockenheit des Brennmaterials spielt beim kontrollierten Abbrennen eine wichtige Rolle. Obwohl zwischen der Trockenheit der Verbuschung wie auch der krautigen Vegetation jeweils eine Korrelation zum quantitativen Brennerfolg zu finden war (vgl. Abbildung 6), war beim Abbrennen der Zermatter Alpweiden vor allem die Trockenheit der Verbuschung relevant. Denn es verbrannten hier vor allem die vorhandenen Sträucher und weniger die krautige Vegetation, was vor allem nach dem Brennen von inselartiger Verbuschung (Brennfläche I) deutlich sichtbar war (vgl. Abbildung 4). Beim Anzünden von Zwergwacholderverbuschung beginnen immer zunächst die Nadeln zu brennen, welche dann auch erstprioritär abbrennen. So sind die Äste des Zwergwacholders zumeist auch nach dem kontrollierten Abbrennen nicht vollständig verbrannt, sondern bleiben zunächst in verkohlter Form stehen (Abbildung 11).

Abbildung 11: Abgebrannter Zwergwacholder mit noch vorhandenen, verkohlten Ästen auf der Brennfläche D.



Die gemessenen Feuchtigkeitsgehalte der Verbuschung waren Mitte Oktober (11.-19. Oktober; Brennflächen A bis E) durchwegs etwas niedriger als Anfang September (03.-04. September; Brennflächen F, G, I und J) (Abbildung 2). Zwergwacholder kann im alpinen Gebiet im Winter stark austrocknen, ohne dabei abzusterben (Mayr et al., 2006). Diese Strategie erlaubt ihm, auch mit trockenen Bedingungen im alpinen Gebiet klarzukommen. Obwohl die gemessenen Feuchtigkeitsgehalte der Verbuschung auf den Brennflächen A bis E und I (alle dominant mit Zwergwacholder verbuscht) sich nicht signifikant voneinander unterschieden, so deuten sie doch die winterliche Austrocknung des Zwergwacholders an, wie sie Mayr et al. (2006) beschreiben. Es ist davon auszugehen, dass auch die Feuchtigkeitsgehalte der anderen immergrünen Straucharten auf den Zermatter Alpweiden im Winter weiter abnehmen. Intensität und Zeitpunkt eines allfälligen Feuchtigkeitsrückganges könnten sich dabei aber von demjenigen des Zwergwacholders unterscheiden. Darauf lassen zumindest die insgesamt höheren gemessenen Feuchtigkeitswerte der Verbuschung auf den Brennflächen F, G und J schliessen, die nicht ausschliesslich mit Zwergwacholder verbuscht waren (Abbildung 2).

Auch bei der Trockenheit der Verbuschung erwies sich die potentielle Sonneneinstrahlung als passender Indikator. Das zeigten die höchst signifikanten Korrelationen zwischen den Feuchtigkeitsgehalten von Verbuschung resp. krautiger Vegetation (beide $p < 0.001$) zum Zeitpunkt des kontrollierten Brennens und der bis dahin aufsummierten Sonneneinstrahlung übers Jahr. Das heisst, je mehr Sonne im Jahresverlauf bis zum kontrollierten Brennen auf einer Fläche potentiell ankommen konnte, desto trockener war dort auch die Verbuschung und auch

die krautige Vegetation. Daraus lässt sich weiter ableiten, dass der Brennzeitpunkt zwar zu einem möglichst späten Zeitpunkt im Herbst / Winter liegen sollte, also wenn die Pflanzen nicht mehr im Saft stehen und dadurch trockener sind, aber auch genügend früh liegen sollte, damit noch ausreichend Sonne auf der Fläche ankommt. Dies gewährleistet neben der ausreichenden Trockenheit von Verbuschung und krautiger Vegetation auch die Entstehung der notwendigen hangaufwärtsgerichteten Thermik auf der Fläche (vgl. Abschnitt 0). In Jahren mit extremer Sommertrockenheit kann sich die Trockenheit insbesondere der krautigen Vegetation, eventuell auch der Verbuschung etwas anders darstellen und es kann möglicherweise schon zu einem früheren Zeitpunkt im Sommer bereits sehr trocken sein.

Die Trockenheit allfälliger Streu ist vor allem von Niederschlagsereignissen (Regen, Schnee, Tau) in den Tagen vor dem kontrollierten Brennen abhängig. Sie ist für die technische Machbarkeit und den quantitativen Brennerfolg bei vorwiegend Zwergwacholderverbuschung weniger ausschlaggebend. Sie spielt eher für die Eindringtiefe des Feuers in den Boden und damit für die konkreten Brandauswirkungen eine Rolle (vgl. auch nachfolgender Abschnitt).

3.1.3.2 Indikatoren für technische Machbarkeit und quantitativen Brennerfolg

Aus dem kontrollierten Abbrennen der Verbuschung auf den Zermatter Alpweiden hat sich die potentiell mögliche direkte kurzweilige Sonneneinstrahlung auf den einzelnen Brennflächen als passender Indikator für die technische Machbarkeit des kontrollierten Brennens und für den quantitativen Brennerfolg identifizieren lassen. Dieser Indikator vereint die Einflüsse sowohl von Hangexposition und Hangneigung wie auch von der Trockenheit des relevanten Brennmaterials in sich und bildet deren Relevanz im Wirkungskomplex gut ab.

Im Gelände hat sich der Verbuschungsgrad mit Zwergwacholder als passender und leicht zu identifizierender Indikator für die technische Machbarkeit des kontrollierten Brennens und den quantitativen Brennerfolg auf den Zermatter Alpweiden herauskristallisiert. Da der Zwergwacholder grundsätzlich trockene (Dietl und Jorquera, 2007) und sonnige Lagen bevorzugt, deutet er – zumindest im vorliegenden Fall – auch eine hohe potentielle Sonneneinstrahlung auf einer Fläche an. Auf anderen Alpweidestandorten muss es aber nicht zwingend der Zwergwacholder sein, der für ein erfolgreiches kontrolliertes Brennen notwendig ist. So können je nach Lage auch andere Straucharten auf sonnigen Standorten vorkommen. Auf verbuschten Alpweiden in Kärnten (Österreich) konnten auch flächenhafte Heidekrautverbuschungen (Kerschbaumer, 2007) wie auch Verbuschungskombinationen von Zwergwacholder mit Alpenrosen und Grünerlen (Kerschbaumer 2021, mündl. Auskunft) erfolgreich und mit hohem quantitativem Brennerfolg kontrolliert abgebrannt werden. Zumindest bei der Heidekrautverbuschung war nicht der Verbuschungsgrad mit Zwergwacholder ausschlaggebend für die technische Machbarkeit und den quantitativen Brennerfolg. Es wird angenommen, dass die potentiell mögliche direkte Sonneneinstrahlung auf einer Fläche derjenige Indikator ist, der eher auch bei anderen Standorten anwendbar ist.

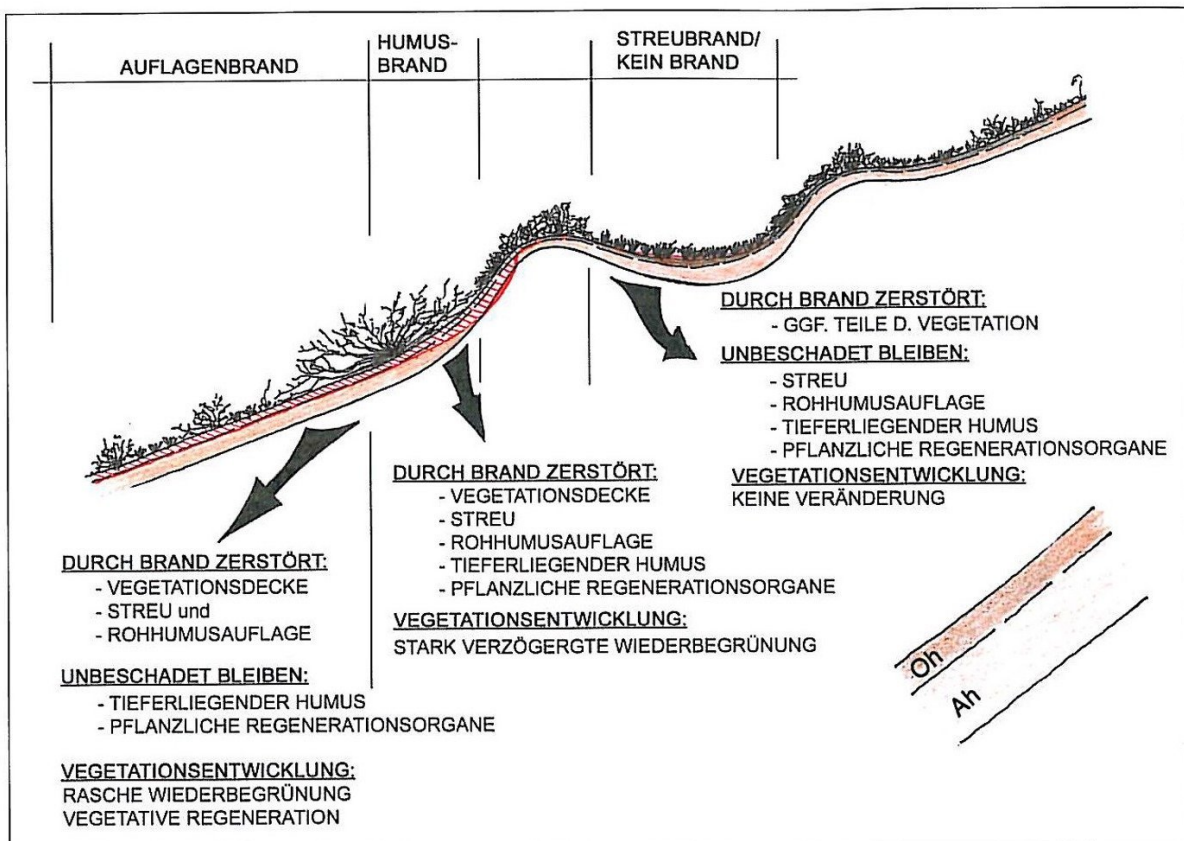
3.1.3.3 Ökologischen Brandauswirkungen des Feuers

Die hier identifizierten Indikatoren «potentielle Sonneneinstrahlung» und «Verbuschungsgrad mit Zwergwacholder» weisen auf die grundsätzliche Eignung eines Standortes für ein kontrolliertes Brennen hin, Stichwort «technische Machbarkeit».

Ob dieser Standort auch was die direkten ökologischen Brandauswirkungen angeht für eine kontrolliertes Brennen «geeignet» ist, wird durch die beiden Indikatoren nicht ausreichend berücksichtigt. Unter «direkten ökologische Brandauswirkungen» werden die unmittelbaren negativen Auswirkungen des Feuers durch seine Hitze auf den Boden und damit auch alle im Boden lebenden Tiere und Pflanzen(-teile) verstanden, wie auch Emissionen durch den Verbrennungsprozess. Um die direkten ökologischen Brandauswirkungen eines Feuers auf einem bestimmten Standort abzuschätzen, muss das Geländere relief und die Gründigkeit des Bodens betrachtet werden. Zudem müssen Brennzeitpunkt und Brennwetterlage fachkundig beobachtet und bei der Durchführung des Brennens miteinbezogen werden (Kerschbaumer, 2007).

In Abbildung 12 fasst Kerschbaumer (2007) anhand eines Geländeschnittes im Bereich eines Viehtrittweges mit kleinräumig stark wechselnder Neigung die reliefabhängigen Brandauswirkungen zusammen.

Abbildung 12: Reliefabhängige Brandwirkungen: Auflagenbrand, Humusbrand und Streubrand (Quelle: Kerschbaumer, 2007).



Darin ist ersichtlich, dass die Eindringtiefe des Feuers in den Boden von der wechselnden Hangneigung auf einer Fläche abhängt. Bei heterogener Hangneigung kann die hangaufwärts gerichtete Thermik das Feuer und die Hitze in Bereichen die steiler sind als die durchschnittliche Hangneigung zunehmend in Richtung Boden und Vegetation drücken und somit lokal die Eindringtiefe des Feuers in den Boden erhöhen. In solchen Bereichen kann es zu sogenannten «Humusbränden» kommen, bei denen neben der Vegetation, der Streu und der Rohhumusaufgabe auch tieferliegender Humus und pflanzliche Erneuerungsorgane verbrennen. Bei solchen Humusbränden ist die Wiederbegrünung stark verzögert. Humusbrände können sich lokal insbesondere bei horizontal verlaufenden Geländekanten oder an Geländewölbungen ergeben. Um Humusbrände nach Möglichkeit zu vermeiden, ist es empfehlenswert, Brennflächen mit möglichst gleichmässiger Hangneigung auszuwählen. Daraus ergibt sich häufig auch eine Beschränkung der Brennflächengrösse. Am oberen Rand einer Brennfläche ist eine Geländekante mit deutlicher Geländeabflachung (oder auch eine Felswand) für die einfache Begrenzung des Feuers ideal.

Was die Gründigkeit eines Bodens angeht, so gilt: je flachgründiger ein Boden ist, desto weniger Bodenmaterial ist vorhanden. Pflanzliche Überdauerungsorgane liegen hier in der Regel nahe an der Bodenoberfläche und erfahren somit schnell eine grosse Hitzeeinwirkung durch das Feuer. Die Wiederbegrünung benötigt daher oftmals längere Zeit. Auf flachgründigen Standorten ist das Risiko von negativen ökologischen Brandauswirkungen auf den Boden insgesamt erhöht.

Was die konkrete Brenndurchführung angeht, so ist insbesondere der Brennzeitpunkt für möglichst geringe negative ökologische Brandauswirkungen mit Bedacht zu wählen. Das Brennen eines grundsätzlich geeigneten Standortes zu einer zu frühen Zeit im Frühherbst / Spätsommer bewirkt:

- einen erhöhten Arbeitsaufwand, weil aufgrund der noch laufenden Vegetationsperiode die Verbuschung und die krautige Vegetation noch nicht gut trocken sind und daher mehrfach angezündet werden müssen;
- negative Auswirkungen auf Flora, Fauna und Bodenlebewesen, weil sie noch nicht in der Winterruhe sind und durch das Feuer somit direkt beeinträchtigt werden können und
- erhöhte Emissionen, weil diese umso geringer sind, je trockener das Brennmaterial ist und je vollständiger die Verbrennung abläuft (BAFU, 2021).

Die Gefahr eines zu späten Brennzeitpunktes im Herbst / Winter ergibt sich in der Regel nur auf Flächen, die für ein kontrolliertes Brennen wenig geeignet resp. ungeeignet sind (wie Brennfläche F). Denn hier flacht der Sonneneinstrahlungswinkel im Spätherbst rasch ab und die Entstehung einer sonneneinstrahlungsbedingten hangaufwärtsgerichteten Thermik kann dann unter Umständen nicht mehr gewährleistet werden (vgl. Abschnitt 0) und auch erster Schnee kann aufgrund der fehlenden Sonneneinstrahlung nicht mehr wegtauen. Solche Standorte sollten bereits bei einer Standorteinschätzung bzgl. technischer Machbarkeit nicht weiter berücksichtigt werden.

Was die Brennweatherlage angeht, so hat dies vor allem Einfluss auf das Verhalten des Feuers und assoziierte Sicherheitsaspekte. Bei keiner ausreichend stabilen Hochdruckweatherlage (über mindestens 2-3 Tage; vgl. Abschnitt 0) bergen zusätzliche Winde insbesondere im Hinblick auf unvorhersehbares Feuerverhalten eine erhöhte Sicherheitsgefahr. Niederschläge wenige Tage vor dem Brennen erhöhen die Feuchtigkeit des bodennahen Brennmaterials und reduzieren damit die Eindringtiefe des Feuers in den Boden. Keine Niederschläge wenige Tage vor dem Brennen können hingegen zu einer vollständigeren und entsprechend emissionsärmeren Verbrennung führen.

3.1.4 Zusammenfassung

Um neben der technischen Machbarkeit und dem quantitativen Brennerfolg auch die optimale Brenndurchführung aufgrund des Standortes mit möglichst geringen direkten ökologischen Brandauswirkungen abschätzen zu können, ist eine genaue Standortbegutachtung im Gelände und ganzheitliche Einschätzung für jede potentielle Brennfläche zwingend.

Dabei sind neben den Indikatoren

- potentielle Sonneneinstrahlung und
- Verbuschungsgrad mit Zwergwacholder (resp. anderer gut brennbarer Verbuschung)

auch

- das Geländere Relief und die Gründigkeit des Bodens

zu berücksichtigen und bei der Planung und Durchführung des kontrollierten Brennens auch

- der Brennzeitpunkt (im Herbst / Winter) und die konkrete Brennweatherlage.

3.2 Luftqualität

Verfasst von Mario Meier¹, Nicolas Schnidrig², Dr. Juanita Rausch²

¹FUB Forschungsstelle für Umweltbeobachtungen ²Particle Vision GmbH

Als separater Bericht vorhanden (Meier et al., 2020)

Ziel der Untersuchungen zur Luftqualität war zu messen, welche Feinstaubemissionen beim kontrollierten Brennen auftreten und ob es allenfalls zu einer Feinstaubbelastung im Dorf Zermatt kommt.

Nachfolgend werden die Luftqualitätsmessungen vorgestellt, die beim kontrollierten Abbrennen der Brennflächen A, B, C, D und F in den Jahren 2019 und 2020 erhoben wurden. Witterungsbedingt konnten im Jahr 2019 nur vier Brennflächen (A bis D) abgebrannt und entsprechend untersucht werden. Basierend auf den Ergebnissen des Jahres 2019 wurde in Absprache mit der Sektion «Umweltbelastungen und Labor» der kantonalen Dienststelle für Umwelt (DUW) entschieden, dass im Jahr 2020 nur noch während des kontrollierten Abbrennens der Brennfläche F Luftqualitätsmessungen vorgenommen und auf die Messstation im Dorf Zermatt verzichtet wird.

3.2.1 Material und Methode

Die Luftuntersuchungen umfassten Feinstaubmessungen (PM₁₀) vor, während und nach dem kontrollierten Brennen. Bei jedem kontrollierten Abbrennen wurde über 24 Stunden gemessen, um einen Tagesmittelwert errechnen zu können. Weiter sollte der Partikeleintrag in Hauptwindrichtung ermittelt werden und es sollte abgeklärt werden, ob die Brennvorgänge Auswirkungen auf die Luftqualität im Dorf Zermatt mit sich bringen. Die DUW war bei der Messstrategieentwicklung massgeblich einbezogen. Die PM₁₀ Messungen wurden von der Particle Vision GmbH an vorgängig und in Abstimmung mit der DUW ausgewählten Standorten durchgeführt.

3.2.1.1 Brenneinheiten

Von den vier im Jahr 2019 abgebrannten Brennflächen A, B, C und D lagen jeweils zwei Flächen nahe beieinander. Diese wurden jeweils zu einer Brenneinheit zusammengefasst. So gehören die Brennflächen A und B zur Brenneinheit 1 und die Brennflächen C und D zur Brenneinheit 2.

Im Jahr 2020 wurden die Brennflächen F und G abgebrannt. Diese lagen ca. 600 m voneinander entfernt und bildeten zusammen die Brenneinheit 3.

3.2.1.2 Zeitlicher Ablauf

Die Flächen einer Brenneinheit wurden jeweils nacheinander an demselben Tag abgebrannt. Die Flächen der Brenneinheit 1 wurde am 11.10.2019 abgebrannt, diejenigen der Brenneinheit 2 am 14.10.2019 und diejenigen der Brenneinheit 3 am 3.9.2020.

3.2.1.3 Messstandorte

Für das Abbrennen der Versuchsflächen von Brenneinheit 1 und Brenneinheit 2 (Versuch 2019) wurden jeweils vier Messstationen für PM₁₀-Messungen eingerichtet. Für die Brenneinheit 1 befanden sich zwei Stationen in der Nähe der Brennfläche, wobei eine in der erwarteten Windrichtung (Station +50m) und eine entgegen der erwarteten Windrichtung (Station -50m) positioniert wurde. Eine dritte Station befand sich in deutlicher Distanz in Richtung der erwarteten Windrichtung (Station +500m) und eine vierte Station im Dorf Zermatt beim Gemeindehaus (Station Zermatt).

Ein ähnliches Setup kam auch für die Brenneinheit 2 zum Einsatz, wobei aufgrund der Topografie auf die Station +500 verzichtet wurde. Dafür kam eine zusätzliche Station zum Einsatz (Station -500), welche sich in etwas grösserer Entfernung zwischen Zermatt und der Brenneinheit befand. Die Lage der Brennflächen und Messstandorte der Brenneinheiten 1 und 2 können den Abbildungen 13 und 14 entnommen werden.

Für das Abbrennen der Versuchsfläche F von Brenneinheit 3 (Versuch 2020) wurden zwei Messstationen für PM₁₀-Messungen installiert. Eine Station befand sich in der unmittelbaren Nähe der Brennfläche (Station +20m), in der erwarteten Hauptwindrichtung (Westen). Die zweite Station wurde als Backup in der zweitmöglichen Verfrachtungsrichtung installiert (Station +50m), welche im Fall einer starken Thermik als Hauptverbreitungsrichtung der Rauchfahne zu erwarten war. Für das Abbrennen der Versuchsfläche G wurde keine spezifische Luftqualitätsmessung durchgeführt. Da diese Fläche in Luftlinie ca. 600 m östlich von der Fläche F lag, ist es nicht auszuschliessen, dass die letzte Probenahme während des Brennversuches der Fläche F von den PM₁₀-Emissionen der Fläche G, welche im Anschluss abgebrannt wurde, leicht beeinflusst wurde. Die Lage der Brennflächen und Messstandorte der Brenneinheit 3 kann der Abbildung 15 entnommen werden.

3.2.1.4 Konzept der Probenahme

Um die Resultate mit dem PM₁₀-Tagesgrenzwert ($50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) vergleichen zu können wurden die Proben jeweils über 24 h erhoben (Tabelle 3). An den Stationen Zermatt und +500 der Brenneinheit 1 wurden dazu jeweils eine Filterprobe über 24 h erhoben. An den Stationen +50 und -50, sowie an der Station -500 der Brenneinheit 2 wurden jeweils 3 Proben über 24 h verteilt genommen, wobei jeweils eine Probe die Stunden vor, während und nach dem Brennversuch abdeckte. Zusätzlich zu den Probenahmen an den Tagen der Experimente wurde zwischen dem 12. Und 13.10.2019 eine zusätzliche Probe während 24 h an der Station Zermatt erhoben, um die Hintergrundkonzentration in Zermatt ohne Brennaktivitäten zu ermitteln.

Im Brennversuch 2020 wurde das gleiche Messkonzept wie im Jahr 2019 gefolgt, um die Resultate mit dem PM10-Tagesgrenzwert ($50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) und mit den Messwerten von 2019 vergleichen zu können. An der Station +20 der Brenneinheit 3 wurden jeweils 3 Proben über 24 h verteilt genommen, wobei jeweils eine Probe die Stunden vor, während und nach dem Brennversuch abdeckte. Bei der Station +50 der gleichen Brenneinheit wurde nur eine Probe während des Abbrennens genommen, da es sich um eine zusätzliche Backup Probe handelte, die ursprünglich nicht eingeplant war.

Tabelle 3: Zeiten der Probenahmen während den Brennexperimenten für die Brenneinheit 1, Brenneinheit 2 und Brenneinheit 3, sowie für die Zusatzmessung in Zermatt. Die Proben 2 sind jeweils die Proben, welche spezifisch während dem Abbrennen genommen wurden. Es muss beachtet werden, dass die Proben 1 an den Stationen +500 und Zermatt jeweils 24 h abdecken.

Brenneinheit 1						
	Probe 1		Probe 2		Probe 3	
	<i>Probenahme Beginn</i>	<i>Probenahme Ende</i>	<i>Probenahme Beginn</i>	<i>Probenahme Ende</i>	<i>Probenahme Beginn</i>	<i>Probenahme Ende</i>
Station +500	10.10.2019 23:59	11.10.2019 23:59	-	-	-	-
Station +50	10.10.2019 23:59	11.10.2019 08:59	11.10.2019 09:03	11.10.2019 14:43	11.10.2019 14:46	11.10.2019 23:59
Station -50	10.10.2019 23:59	11.10.2019 09:17	11.10.2019 09:19	11.10.2019 15:06	11.10.2019 15:08	11.10.2019 23:59
Station Zermatt	10.10.2019 23:59	11.10.2019 23:59	-	-	-	-
Zusatzmessung						
	Probe 1		Probe 2		Probe 3	
	<i>Probenahme Beginn</i>	<i>Probenahme Ende</i>	<i>Probenahme Beginn</i>	<i>Probenahme Ende</i>	<i>Probenahme Beginn</i>	<i>Probenahme Ende</i>
Station Zermatt	12.10.2019 09:00	13.10.2019 09:00	-	-	-	-
Brenneinheit 2						
	Probe 1		Probe 2		Probe 3	
	<i>Probenahme Beginn</i>	<i>Probenahme Ende</i>	<i>Probenahme Beginn</i>	<i>Probenahme Ende</i>	<i>Probenahme Beginn</i>	<i>Probenahme Ende</i>
Station +50	13.10.2019 23:59	14.10.2019 09:48	14.10.2019 09:48	14.10.2019 15:39	14.10.2019 15:39	14.10.2019 23:59
Station -50	13.10.2019 23:59	14.10.2019 09:25	14.10.2019 09:25	14.10.2019 15:31	14.10.2019 15:35	14.10.2019 23:59
Station -500	13.10.2019 23:59	14.10.2019 09:30	14.10.2019 09:37	14.10.2019 16:20	14.10.2019 16:20	14.10.2019 23:59
Station Zermatt	13.10.2019 23:59	14.10.2019 23:59	-	-	-	-
Brenneinheit 3						
	Probe 1		Probe 2		Probe 3	
	<i>Probenahme Beginn</i>	<i>Probenahme Ende</i>	<i>Probenahme Beginn</i>	<i>Probenahme Ende</i>	<i>Probenahme Beginn</i>	<i>Probenahme Ende</i>
Station +20	02.09.2020 23:59	03.09.2020 09:58	03.09.2020 10:12	03.09.2020 13:29	03.09.2020 13:35	03.09.2020 23:59
Station +50	-	-	03.09.2020 10:47	03.09.2020 13:29	-	-

3.2.1.5 Probenahmemethode

Die PM10-Proben wurden in Abhängigkeit der vorhandenen Infrastruktur mit zwei unterschiedlichen Sammelssystemen erhoben. Am Standort Zermatt, wo eine konstante Stromversorgung gegeben war, kam ein Mini-Volume-Sampler der Firma Leckel in Kombination mit einem PM10 Impaktor desselben Herstellers zum Einsatz. Bestückt wurde dieser jeweils mit einem 47 mm Quarzfaserfilter. Die Proben wurden mit einem Durchfluss von 3.33 l/min genommen.

An den restlichen Messstationen kamen mit Bleiakкумуляtoren betriebene Pumpen des Typs Gilair Plus von Sensodyne in Kombination mit PEM (Personal Environmental Monitor) PM10-Impaktoren und 37 mm Filterkassetten zum Einsatz. Diese wurden mit passenden vortarierten Teflonfiltern bestückt. Die Probenahme erfolgte mit einem Durchfluss von 4 l/min.

3.2.1.6 Analyse

Die PM10-Werte wurden mittels gravimetrischer Analyse vom Labor der Fachstelle Umwelt- und Gesundheitsschutz der Stadt Winterthur erhoben. Dazu wurden die Filter vor und nach der Exposition gewogen und aus der Differenz die Massenkonzentration ermittelt, wobei die Filter jeweils vor einer Wägung konditioniert wurden. An den Stationen, an welchen mehrere Proben über 24 h genommen wurden, wurde aus den jeweiligen 3 Proben ein zeitlich gemittelt Tagesmittel für PM10 berechnet. Zur Qualitätskontrolle wurden 7 Transportblindproben für die Probenahme mittels Teflonfilter erhoben. Diese ergaben nach Ausschluss eines deutlichen Ausreissers Resultate zwischen -0.3 und 11.8 μg . Daraus wurden Nachweis- bzw. Bestimmungsgrenzen ermittelt. Diese liegen für eine Probenahme von 24 h bei 2.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respektive bei 7.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Für kürzere Sammelperioden nehmen diese Grenzen umgekehrt proportional zu.

3.2.2 Resultate und Diskussion

Die ermittelten PM10-Werte lagen zwischen 1.0 und 138.1 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (Tabelle 4). Die vorliegenden Messwerte zeigen Resultate an den spezifischen Standorten und unter den spezifischen Windbedingungen zum Zeitpunkt der Messung.

Tabelle 4: Ermittelte PM10-Werte der einzelnen Proben und der zeitgewichteten Tagesmittelwerte. Die Proben 2 sind jeweils die Proben, welche spezifisch während dem Abbrennen genommen wurden. Es soll beachtet werden, dass die Proben 1 an den Stationen +500 und Zermatt jeweils 24 h abdecken. Werte über der Bestimmungsgrenze werden grün dargestellt, jene unter der statistischen Nachweisgrenze rot. Werte zwischen Nachweisgrenze und Bestimmungsgrenze schwarz. Davon ausgenommen sind die Tagesmittel.

Brenneinheit 1				
	Probe 1 <i>PM10 ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)</i>	Probe 2 <i>PM10 ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)</i>	Probe 3 <i>PM10 ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)</i>	Tagesmittel <i>PM10 ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)</i>
Station +500	1.04	-	-	1.04
Station +50	6.94	12.50	4.52	8.72
Station -50	5.38	7.93	16.95	10.27
Station Zermatt	3.13	-	-	3.13

Zusatzmessung				
	Probe 1 <i>PM10 ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)</i>	Probe 2 <i>PM10 ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)</i>	Probe 3 <i>PM10 ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)</i>	Tagesmittel <i>PM10 ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)</i>
Station Zermatt	4.17	-	-	4.17

Brenneinheit 2				
	Probe 1 <i>PM10 ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)</i>	Probe 2 <i>PM10 ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)</i>	Probe 3 <i>PM10 ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)</i>	Tagesmittel <i>PM10 ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)</i>
Station +50	17.83	36.32	14.50	21.18
Station -50	5.30	12.30	6.94	7.66
Station -500	24.52	10.55	13.62	17.10
Station Zermatt	5.73	-	-	5.73

Brenneinheit 3

	Probe 1 <i>PM10 ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)</i>	Probe 2 <i>PM10 ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)</i>	Probe 3 <i>PM10 ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)</i>	Tagesmittel <i>PM10 ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)</i>
Station +20	2.88	138.07	18.27	28.40
Station +50	-	19.91	-	-

3.2.2.1 Brenneinheit 1

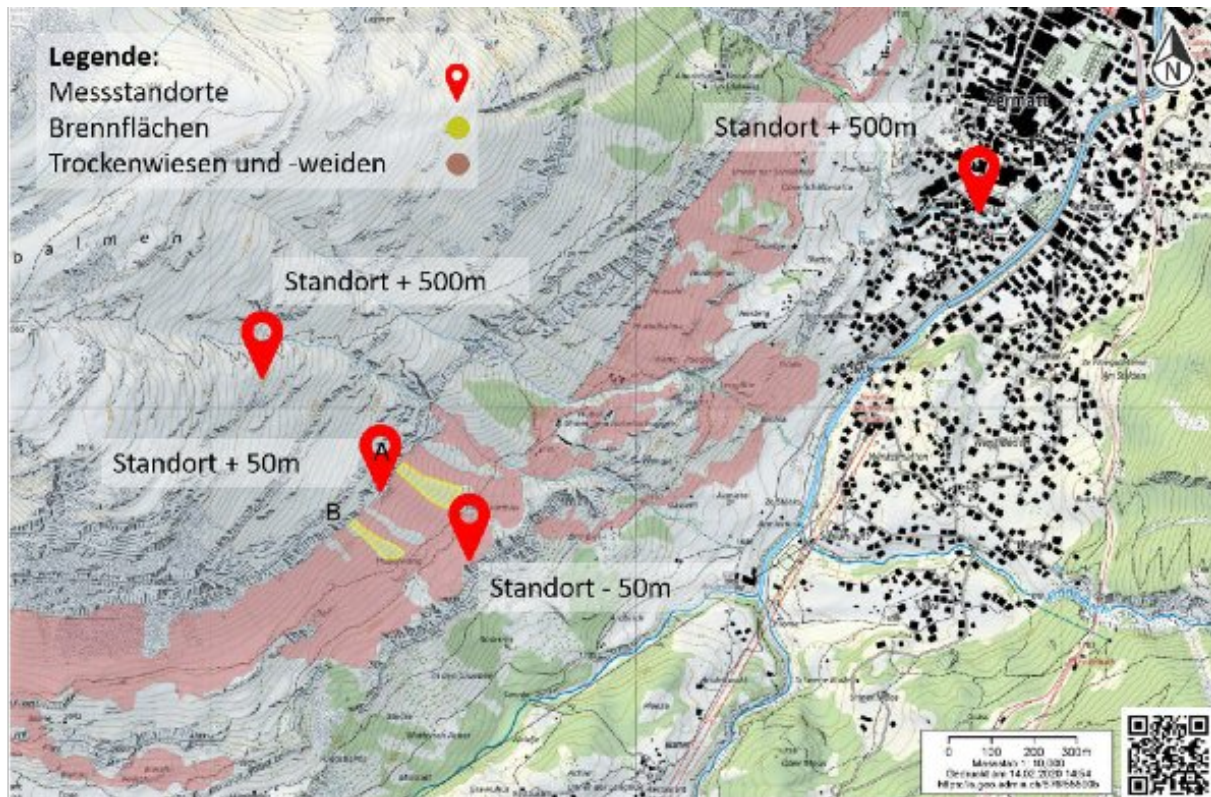
Der tiefste aller gemessenen Werte ($1.04 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) war jener an der Station +500m der Brenneinheit 1. Dieser Wert zeigt, dass diese Station einem hochalpinen Hintergrundstandort entspricht und nicht durch das Abrennen der Brennflächen A und B beeinflusst wurde. Im Gegensatz dazu ist an der Station +50m der Brenneinheit 1 ein gewisser Einfluss des Abbrennens sichtbar (Abbildung 13). Probe 2, welche während des Abbrennens genommen wurde, weist einen Wert von $12.5 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ auf, die Probe davor $6.94 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ und die Probe danach $4.52 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Somit ist von einem kurzzeitigen Einfluss der Rauchfahne auf die Station +50m auszugehen. Dies entspricht auch dem visuellen Eindruck vor Ort und der Kamerabilder (vgl. mitgelieferte Dateien), sowie den ermittelten Windrichtungen, welche unregelmässig innerhalb des Wind-Sektors Osten (90°) bis Süden (180°) schwankten.

Generell war zu beobachten, dass der Rauch bei Erreichen der Felswand am oberen Ende der Brennflächen senkrecht hochstieg und in einer Höhe von mehreren Dutzend Metern in eine andere Richtung verfrachtet wurde.

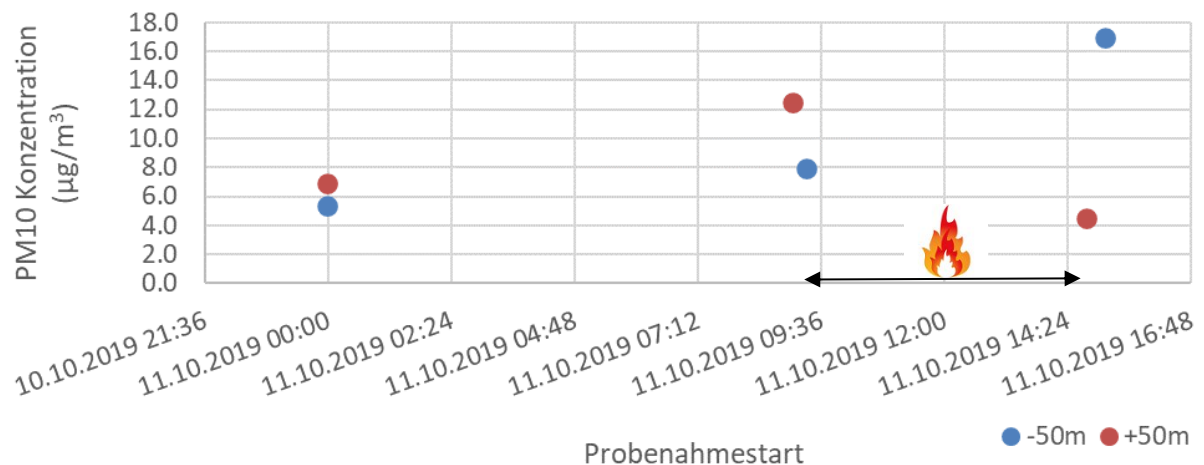
Die Station -50m zeigt auf dem ersten Blick einen eher unerwarteten Verlauf, indem die Werte von Probe 1 bis Probe 3 kontinuierlich von $5.38 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ auf $16.95 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ zunahmen. Das heisst, die Feinstaubkonzentrationen waren nicht während den 6 Stunden (ca. 9-15 Uhr, vgl. Tabelle 3), die den Zeitraum des Abbrennens (Probe 2) abdeckten am höchsten, sondern in den 9 Stunden (ca. 15-24 Uhr, vgl. Tabelle 3) danach (Probe 3). Als wahrscheinlichste Erklärung wird der Einfluss des Helikopterfluges eingeschätzt, welcher zwischen 16 und 17 Uhr mit Lande- und Abflugplatz in unmittelbarer Umgebung (40-60m) der Station -50m stattfand, um die Feuerwehrleute vom Einsatzort zurückzubringen. Zum einen emittiert der für den Transport verwendete «Ecureuil AS 350» der Air Zermatt ungefähr 28.5 g nichtvolatile PM pro Stunde (BAZL, 2020). Zum anderen wird bei Landung und Abflug des Helikopters sehr viel Bodenmaterial - darunter auch PM10 - aufgewirbelt. Dieser Effekt wird als Haupteinfluss für den hohen Wert der Probe 3 an der -50m Station angesehen.

Der Wert für die Station Zermatt war mit $3.13 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ gering, so dass von keinem Einfluss durch das Brennexperiment ausgegangen wird.

Abbildung 13: Lage der Brennflächen der Brenneinheit 1 und der vier Standorte der Messstationen (oben) mit den jeweiligen PM10-Konzentrationen vor, während und nach den Brennversuchen (unten). Die Punkte sind jeweils beim Probenahmestart positioniert.



Brennversuch Flächen A und B



3.2.2.2 Brenneinheit 2

Die Station +50m verhielt sich für die Brenneinheit 2 ähnlich wie die Station +50m bei der Brenneinheit 1, indem ein Anstieg des PM10-Wertes während des Abbrennens festgestellt werden konnte. Während sich die Werte vor und nach dem Abbrennen auf $17.83 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ und $14.50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ beliefen, stieg der Wert während des Brennens auf $36.32 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ an (Abbildung

14). Auch hier ist der Verhalt konsistent mit den visuellen Beobachtungen und den Windrichtungen.

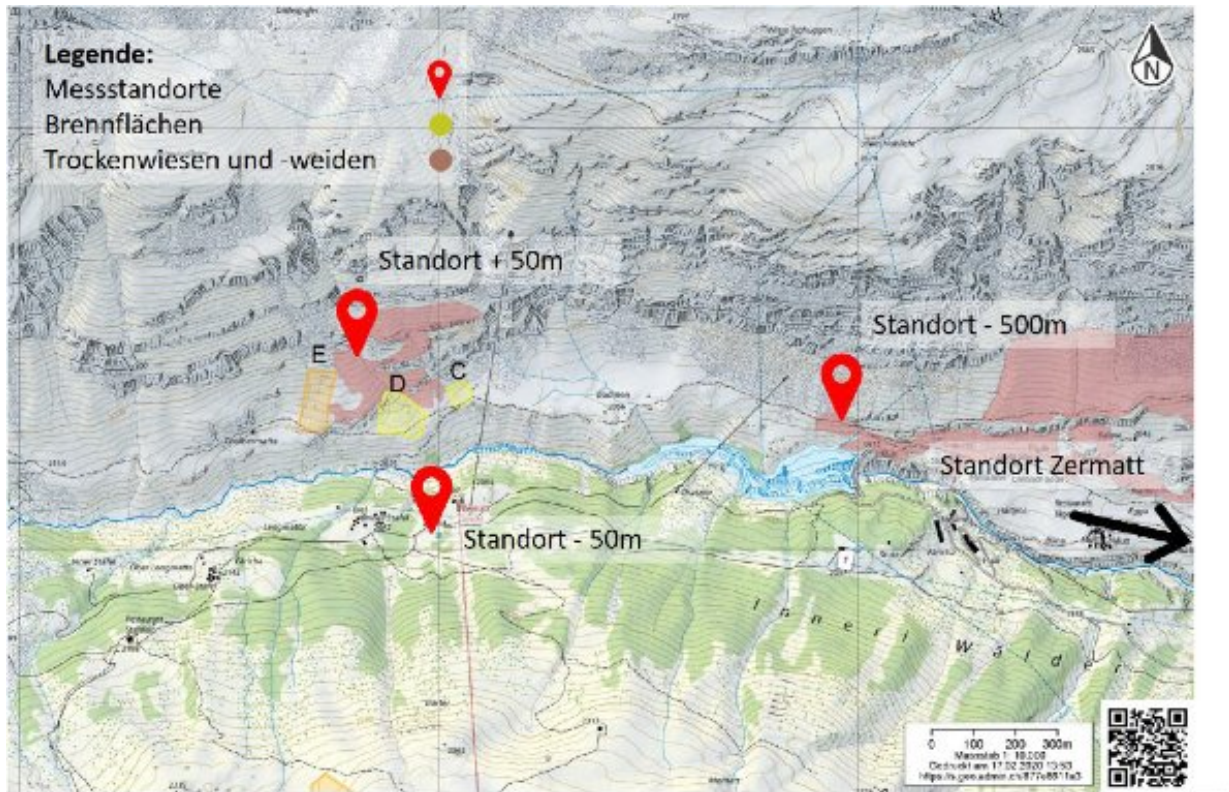
Im Allgemeinen war es so, dass der Rauch hauptsächlich talauswärts (nach Westen), also in die entgegengesetzte Richtung von Zermatt verfrachtet wurde. Gelegentlich wurde diese Windrichtung durch die Thermik übersteuert mit der Konsequenz, dass der Rauch dann senkrecht hochstieg und in einer Höhe von mehreren Dutzend Metern in westliche Richtung verfrachtet wurde. Es gilt zu beachten, dass die Werte vor aber auch nach dem Abbrennen deutlich höher sind als jene der typischen Hintergrundstandorte. Somit ist eindeutig von zusätzlichen Feinstaubquellen auszugehen. Es ist davon auszugehen, dass auch hier die Helikopterflüge für den Transport von Material und Feuerwehrleuten zur Gewährung der Sicherheit während des Brennens, massgeblich verantwortlich sind. In der Zeit von 7-9 Uhr fanden fünf Helikopterflüge mit Lande- und Startpositionen im Bereich 50-100 m von der +50m Station entfernt statt. Ausserdem erfolgte die Flugroute im Luftraum über die -500m Station. Diese Feinstaubquelle findet sich aller Wahrscheinlichkeit nach in den erhöhten Werten der Probe 1, also vor dem Brennen an der Station +50m wieder.

Diese eher hohen Werte, welche vor dem Brennen und damit eindeutig nicht durch das Abbrennen selbst zustande kamen, konnten auch an der Station -500m mit einem Wert von $24.52 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ für die Periode vor dem Abbrennen (Probe 1) festgestellt werden. Zusätzlich ist davon auszugehen, dass Bauarbeiten mit diversem Maschinen- und Helikoptereinsatz auf der gegenüberliegenden Talseite, einen Haupteinfluss für diesen erhöhten Wert darstellen.

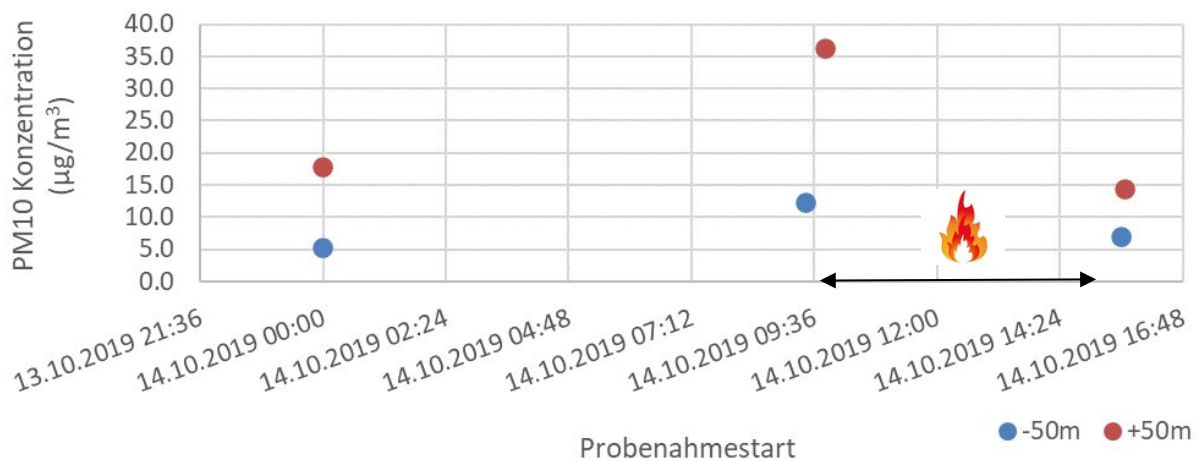
Im Vergleich zu den Stationen +50m und -500m wies die Station -50m vor und nach dem Abbrennen mit $5.30 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ und $6.94 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ geringere Werte auf, was auf keine starke zusätzliche Belastung durch weitere Feinstaubquellen hindeutet. Lediglich die Probe 2 zeigte in den Stunden während des Abbrennens einen etwas erhöhten Wert ($12.30 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) auf. Da der Wind in dieser Zeit vorwiegend talauswärts und damit in westlicher Richtung ausgerichtet war, ist nicht von einem wesentlichen Einfluss der Rauchfahne auf die Station -50m auszugehen. Dies würde bedeuten, dass die knappe Verdopplung der Werte nicht unbedingt auf das Abbrennen an sich zurückzuführen ist, sondern womöglich das Resultat der Bau- / Revisionstätigkeiten bei der nahegelegenen Seilbahnstation sein könnte.

Die Station Zermatt wies an diesem Tag einen Tagesmittelwert von $5.73 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ auf, weshalb auch hier von keinem Einfluss der Brennexperimente ausgegangen werden kann.

Abbildung 14: Lage der Brennflächen der Brenneinheit 2 und der vier Standorte der Messstationen (oben) mit den jeweiligen PM10-Konzentrationen vor, während und nach den Brennversuchen. Die Punkte sind jeweils beim Probenahmestart positioniert.



Brennversuch Flächen D und C



3.2.2.3 Brenneinheit 3

Bei der Station +20 der Brenneinheit 3 wurde eine besonders hohe PM10 Konzentration ($138.07 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) während des Abbrennens der Fläche F gemessen. Die Werte vor und nach dem Abrennen waren dagegen deutlich tiefer ($2.88 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ resp. $18.27 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) (Abbildung 15). Dieser Verhalt ist konsistent mit den visuellen Beobachtungen und den Windrichtungen. Während praktisch des gesamten Brennversuches wurde die Rauchfahne nach Westen, also

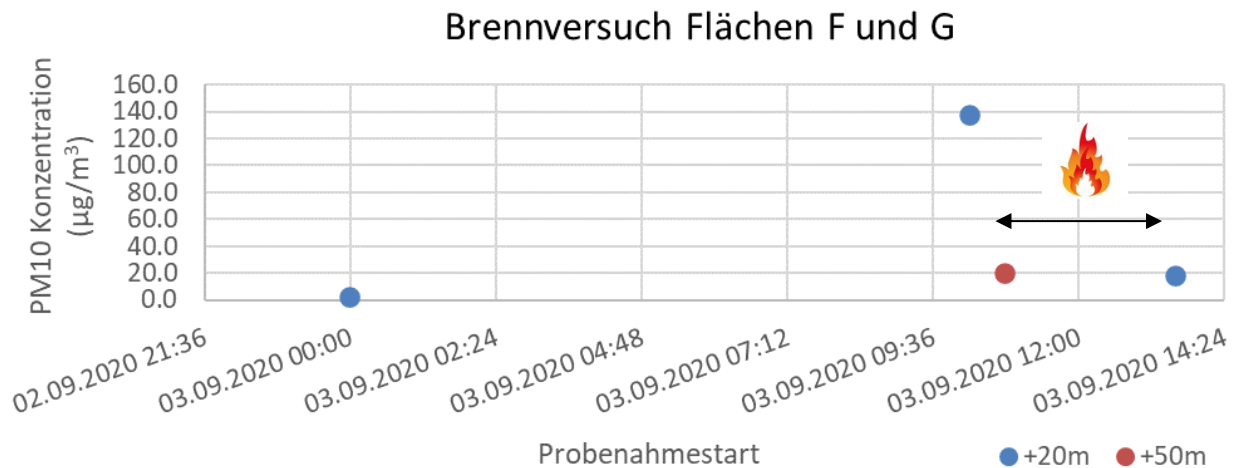
direkt Richtung Messstation verfrachtet. Somit stand die Messstation +20 mehrheitlich in der Rauchfahne. Dies bedeutet, dass der gemessene Messwert an dieser Station tendenziell einem maximalen Immissionswert für die spezifische Situation entspricht. Sehr selten wurde diese Windrichtung durch die Thermik übersteuert mit der Konsequenz, dass der Rauch dann kurzzeitig senkrecht hochstieg. Diese Situation dauerte nur wenige Sekunden bis Minuten an, so dass die konzentrierte Rauchfahne nie eine grössere Höhe und somit kaum die Messstation +50 erreichte. Dieser Verhalt erklärt die tiefere PM10 Konzentration an der Station +50 im Vergleich zu der Station +20.

Es gilt zu beachten, dass an der Station +20 der Wert nach dem Abbrennen der Fläche F deutlich höher als jene vor dem Abbrennen war. Dies könnte in Verbindung mit dem darauffolgenden Abbrennen der Fläche G stehen, da die Station +20 sich ca. 600 m westlich, und somit in Hauptwindrichtung, von der Fläche G befand.

Trotz hoher PM10 Konzentration während des Abbrennens an der Station +20, konnte festgestellt werden, dass diese kurzzeitige Staubbelastung nicht ausreichend war, um eine Überschreitung des PM10 Tagesmittelwertes von $50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ zu verursachen. Aus den drei Beprobungen an dieser Station liess sich einen zeitgewichteten PM10 Tagesmittelwert von $28.40 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ berechnen (Abbildung 15 und Tabelle 4).

Abbildung 15: Lage der Brennflächen der Brenneinheit 3 und der zwei Standorte der Messstationen (oben) mit den jeweiligen PM10-Konzentrationen vor, während und nach den Brennversuchen. Die Punkte sind jeweils beim Probenahmestart positioniert.





3.2.2.4 Emissionsabschätzung

Mit einer Abschätzung der verbrannten Biomasse und entsprechendem Emissionsfaktor aus der Literatur lassen sich die Emissionen von Brennflächen abschätzen. Dazu wurde die Trockenmasse von einem Quadratmeter mit Zwergwacholderverbuschung, sowie die effektiv abgebrannten Flächen mit Zwergwacholderverbuschung erhoben. Die ermittelte frische Biomasse pro Quadratmeter ergab einen Wert von 4.86 kg/m^2 , was einer Trockenmasse von 2.69 kg/m^2 entspricht. Die abgebrannten Flächen, welche mittels Drohnenaufnahmen erhoben wurden, lagen für die Brenneinheit 1 bei $4'228 \text{ m}^2$, für die Brenneinheit 2 bei $4'817 \text{ m}^2$ und für die Brenneinheit 3 bei $1'027 \text{ m}^2$. Daraus resultieren für die drei Brenneinheiten maximal ca. $11'370 \text{ kg}$, $12'960 \text{ kg}$ und $2'760 \text{ kg}$ abgebrannte trockene Biomasse. Der PM10-Emissionsfaktor für Wacholderverbuschungen liegt gemäss der U.S. EPA, respektive der Europäischen Umweltagentur bei 10 g/kg . Somit ergibt die Abschätzung der PM10-Emissionen ca. 114 kg für die Brenneinheit 1, 130 kg für die Brenneinheit 2 und 28 kg für die Brenneinheit 3. Es gilt zu beachten, dass diese Abschätzung viele Unsicherheiten enthält. Zum einen weist der Emissionsfaktor selbst eine grosse Unsicherheit auf und zum anderen muss von Abweichungen zu den getroffenen Annahmen ausgegangen werden. Es ist zum Beispiel belegt, dass nicht 100% der Biomasse verbrannt ist, sondern ein Grossteil der Zwergwacholderäste stehen geblieben ist (Abbildung 16). Wieviel Biomasse von der vorhandenen Zwergstrauchverbuschung letztendlich tatsächlich verbrannt ist, lässt sich nicht abschliessend sagen. Somit handelt es sich bei der vorliegenden Abschätzung, abgesehen von den Unsicherheiten des Emissionsfaktors, um einen theoretischen Maximalwert, der im Rahmen des Versuches mit Sicherheit nicht erreicht wurde.

Abbildung 16: Teil der abgebrannte Brennfläche D. Deutlich sichtbar ist, dass das organische Material nicht komplett verbrannt wurde.



3.2.3 Zusammenfassung

Die Erkenntnisse der Messkampagne 2019 und 2020 werden z.T. separat diskutiert, da aufgrund der Orientierung der Flächen das Brennverhalten sich deutlich unterschieden hat.

Die wesentlichen Beobachtungen und Messungen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Entwicklung Rauchfahne bei Süd gerichteten Hängen (Versuch 2019):

- Das Abbrennen führt zu einer deutlichen Rauchfahne, welche teilweise über einen Zeitraum von mehreren Stunden sichtbar war. Die beobachtete Tendenz der Rauchfahnen war schnell in hohe Höhen aufzusteigen und sich in höheren Luftschichten entsprechend der dort vorherrschenden Luftbewegungen zu verteilen.

Entwicklung Rauchfahne bei Nord gerichteten Hängen (Versuch 2020):

- Bei dem Versuch 2020 entwickelte sich eine deutlich kleinere und weniger zusammenhängende Rauchfahne. Dies stand direkt mit der schlechteren Brennbarkeit der Büsche auf diesen Flächen in Verbindung. Die beobachtete Tendenz der Rauchfahne war, schnell mit dem Wind nach Westen verfrachtet zu werden. Die Thermik hat nur über kurze Zeiträume eine Rolle bei der Verteilung des Rauches gespielt.

Einschätzung Emissionswerte Rauchfahne:

- Aufgrund der Emissionsabschätzung, welche unter Annahme von verbuschten Flächen maximale PM10-Emissionen von 114 kg für die Brenneinheit 1, 130 kg für die Brenneinheit 2 und 28 kg für die Brenneinheit 3 ergaben (falls alle vorhandene Biomasse verbrannt wäre, was aber nicht der Fall war), kann insgesamt davon ausgegangen werden, dass die PM10-Konzentrationen direkt in den Rauchfahnen hoch sind. Die Rauchfahne ist allerdings bereits nach kurzer Transportdistanz entweder nicht mehr in Bodennähe und/oder scheint schnell verdünnt zu werden.

Gemessene PM10 Immissionswerte:

- In mittlerer bis geringer Distanz zur Rauchfahne, also an den Stationen +50m waren verhältnismässig nur geringe und zeitlich sehr begrenzte Anstiege der PM10-Werte zu beobachten. Diese Anstiege liegen im Bereich von anderen lokalen Feinstaubquellen wie Helikopterflüge, Baustellen etc. In der unmittelbaren Nähe der Rauchfahne, also an der Station +20m des Brennversuches 2020, wurde ein deutlicher Anstieg der PM10-Konzentration kurzzeitig festgestellt.
- Tagesgrenzwert: Trotz des hohen PM10 Wertes an der Station +20m während des Brennens der Fläche F, wurde der PM10-Tagesgrenzwert von $50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ zu keiner Zeit an keiner der Messstationen überschritten.
- PM10 Konzentrationen im Dorf Zermatt: Im Dorf Zermatt kam es zu keiner Zeit zu einer Feinstaubbelastung, die auf das Abbrennen zurückzuführen ist.

3.3 Vegetation / Verbuschung

Verfasst von Dr. Samuel Schmid¹, Marco Barandun², Dr. Manuel Schneider² und Dr. Helen Willems³

¹freischaffender Feldbotaniker, ²Agroscope Reckenholz, ³Büro Alpe

Ziel der Vegetationsuntersuchungen war es, die Auswirkungen des kontrollierten Brennens auf die Entwicklung der Vegetation (Artenzusammensetzung und Vegetationsstruktur) zu untersuchen. Die Entwicklung der Gesamtverbuschung wurde dabei zusätzlich mittel Luftbildaufnahmen erfasst.

Die Vegetationsuntersuchungen wurden auf allen Brennflächen durchgeführt. Nachfolgend werden die Daten der Brennflächen präsentiert und diese mit den Daten der Kontrollflächen, die nicht gebrannt wurden, verglichen. Auf die Vegetation am Südhang (Brennflächen A bis E) wird detaillierter eingegangen. Die in diesem Kapitel erwähnten Pflanzenarten werden mit ihrem wissenschaftlichen und deutschen Namen in Tabelle 8 im Anhang dieses Kapitels (Abschnitt 3.3.4) aufgeführt.

3.3.1 Material und Methode

Innerhalb jeder Brennfläche wurden fünf Untersuchungsflächen eingerichtet, auf denen die Auswirkung des Feuers auf die Vegetation untersucht wurde. Als Untersuchungsfläche diente jeweils eine quadratische 2 m × 2 m Fläche der Brennfläche. Ausserhalb der Brennflächen wurden zusätzlich einzelne Untersuchungsflächen eingerichtet, welche als Kontrolle dienten. Bei der Auswahl der Untersuchungsflächen wurde darauf geachtet, dass diese möglichst regelmässig auf der Brennfläche verteilt waren und einen unterschiedlichen Verbuschungsgrad aufwiesen. Die Untersuchungsflächen wurden mit Bodenankern markiert und mittels GPS eingemessen, um sie in den folgenden Jahren wieder aufzufinden.

Auf allen Untersuchungsflächen wurden Vegetationsdaten mittels Vegetationsaufnahmen vor dem Abbrennen (2018), ein Jahr nach dem Abbrennen (2020 resp. 2021) und fünf Jahre nach dem Abbrennen (2024 resp. 2025) erhoben. Die zeitliche Abfolge von Vegetationsaufnahmen ermöglicht die Beschreibung der Entwicklung der kurzzeitig dem Feuer ausgesetzten Vegetation. Mit den Vegetationsaufnahmen vor dem Abbrennen wird der Ausgangszustand der Pflanzenbestände erfasst. Vegetationsaufnahmen ein Jahr nach dem Abbrennen erfassen einen Übergangszustand der Pflanzenbestände, welcher die kurzfristige Auswirkung des Feuers auf die ursprünglich verbuschten Alpweiden aufzeigt. Ausgehend davon, dass sich die Pflanzenbestände fünf Jahre nach dem kontrollierten Abbrennen wieder in einem relativ stabilen Zustand befinden, erfassen die Vegetationsaufnahmen zu diesem Zeitpunkt den vorläufigen Endzustand der Pflanzenbestände. Damit kann die mittel- bis längerfristige Auswirkung des Feuers auf die ursprünglich verbuschten Alpweiden aufgezeigt werden.

Bei der Durchführung einer Vegetationsaufnahme wurden sämtliche auf der Untersuchungsfläche vorkommenden Pflanzenarten erhoben und deren Deckungsgrad visuell ermittelt. Zudem wurden der Deckungsgrad von Streu und Steinen sowie der prozentuale Anteil des offenen Bodens auf der Untersuchungsfläche visuell bestimmt. Vegetationsaufnahmen nach dem Abbrennen umfassten auch die visuelle Ermittlung des Deckungsgrads von Totholz der abgebrannten Sträucher auf der Untersuchungsfläche. Beim Deckungsgrad handelt es sich um den Anteil der mit einer bestimmten Pflanzenart bzw. mit Streu, Steinen oder Totholz bedeckten Bodenoberfläche an der gesamten Untersuchungsfläche in Prozent. Eine Überlagerung wird nicht berücksichtigt, das heisst, die verschiedenen Deckungsgrade je Untersuchungsfläche addieren sich zu 100 %.

Nachfolgende Tabelle 5 zeigt auf, wann die Vegetationsaufnahmen auf den Brennflächen (BF) durchgeführt wurden.

Tabelle 5: Durchführungszeitpunkt der Vegetationsaufnahmen.

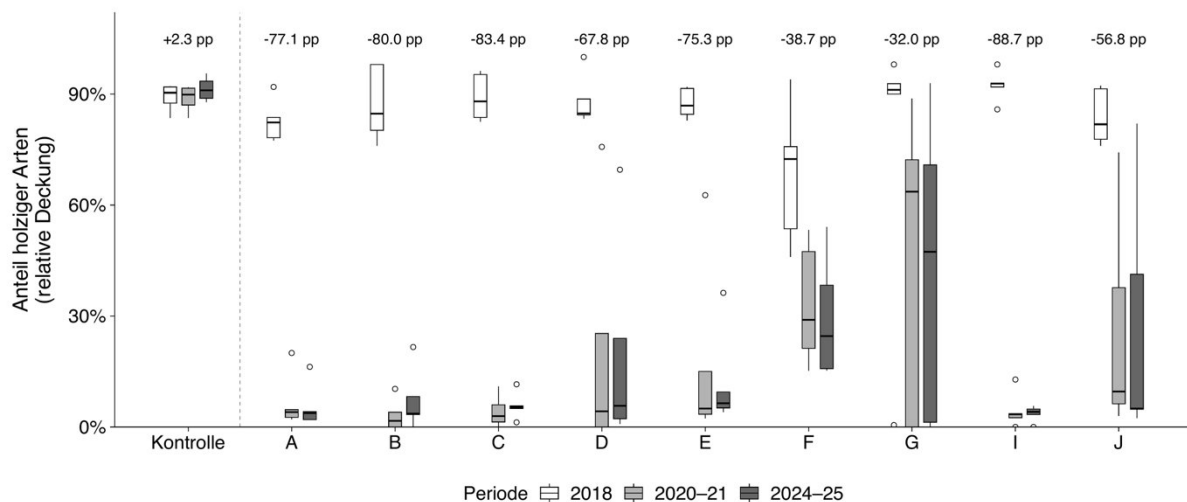
BF	vor dem kontrollierten Abbrennen	ein Jahr nach dem kontrollierten Abbrennen	fünf Jahre nach dem kontrollierten Abbrennen
A	Sommer 2018	Sommer 2020	Sommer 2024
B	Sommer 2018	Sommer 2020	Sommer 2024
C	Sommer 2018	Sommer 2020	Sommer 2024
D	Sommer 2018	Sommer 2020	Sommer 2024
E	Sommer 2018	Sommer 2021	Sommer 2025
F	Sommer 2018	Sommer 2021	Sommer 2025
G	Sommer 2018	Sommer 2021	Sommer 2025
I	Sommer 2018	Sommer 2021	Sommer 2025
J	Sommer 2018	Sommer 2021	Sommer 2025

Für die Untersuchung der Gesamtverbuschungsentwicklung wurden die Luftbilddaufnahmen der Starrflügeldrohne (eBee, senseFly, Cheseaux-sur-Lausanne, Schweiz) aus den Jahren 2018, 2020 und 2021 (von den Untersuchungen zu Standortfaktoren und Brennerfolg – vgl. Material & Methode Abschnitt 3.1.1) mit Luftbilddaufnahmen einer Kopter-Drohne (DJI Mavic Pro, DJI Inc, Shenzhen, China) mit RGB Kamera aus dem Jahr 2025 ergänzt. Diese Luftbilder wurden mit Agisoft Photoscan (Agisoft LLC, St. Petersburg, Russland) zu einem Orthomosaik mit einer Auflösung von 3 cm zusammengefügt und mittels markierten Referenzpunkten im Gelände georeferenziert. Aus dem so erzeugten Bildmaterial wurden die Verbuschungsanteile im QGIS 3-40-0 Bratislava berechnet.

3.3.2 Resultate und Diskussion

3.3.2.1 Entwicklung der Strauchdeckung

Abbildung 17: Entwicklung der Deckung holziger Arten (relativer Deckungsgrad) über die drei Aufnahmeperioden (2018, 2020-21, 2024-25), getrennt nach Kontrollflächen und den Brennflächen A-J. Boxplots zeigen die Verteilung der Untersuchungsflächen je Brennfläche und Periode; die Werte über den Boxplots geben die absolute Veränderung des Mittelwerts zwischen 2018 und 2024-25 in Prozentpunkten (pp) an. Die gestrichelte vertikale Linie trennt die Kontrollflächen von den Brennflächen.

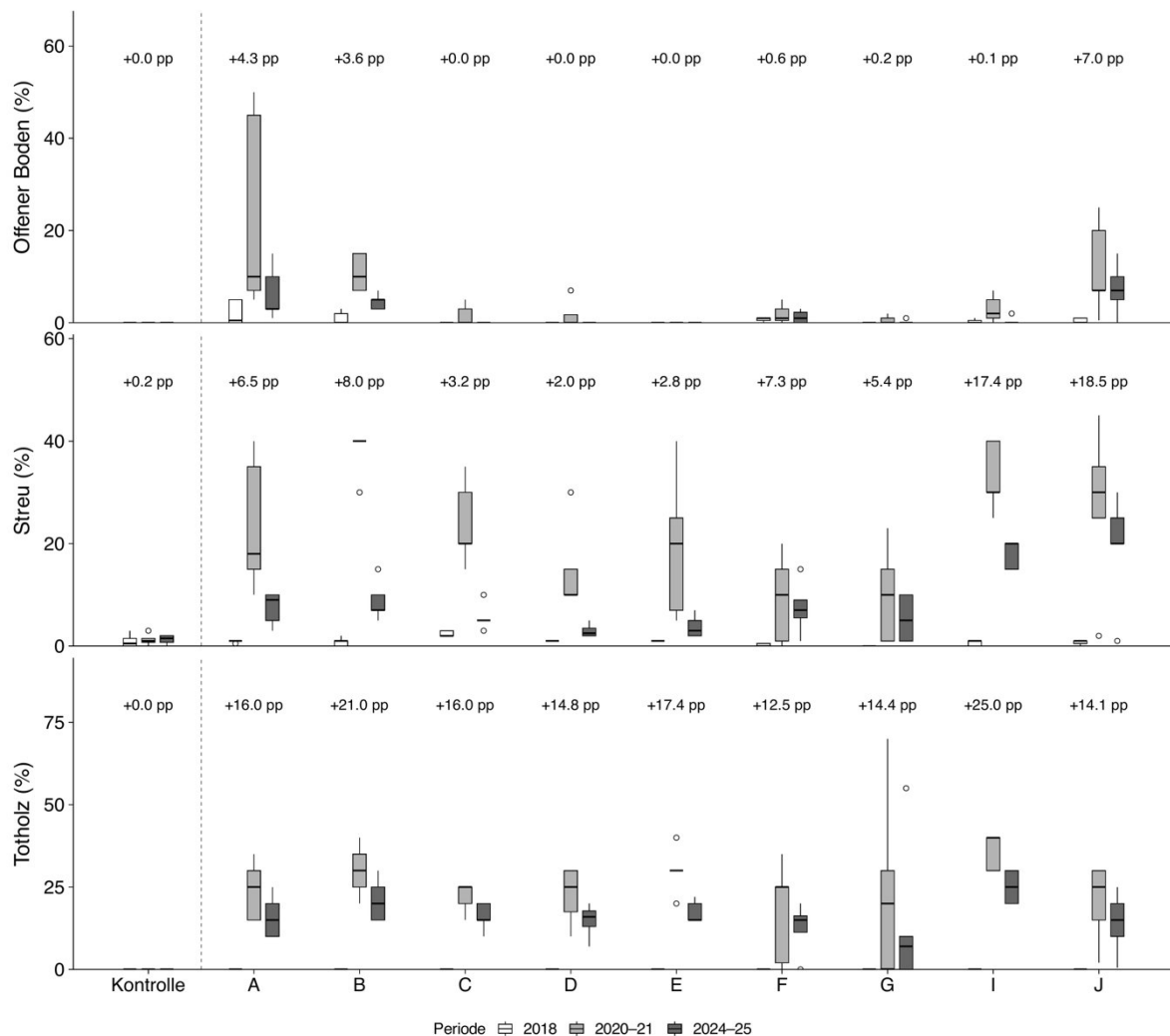


Auf sechs der neun Brennflächen (A-E und I) wurde die Deckung holziger Arten innerhalb der Untersuchungsflächen durch das kontrollierte Abbrennen beinahe vollständig reduziert (Abbildung 17). Auf zwei Flächen (F und J) war die Reduktion substanziell, auf einer Fläche (G) gering.

Auf allen Flächen blieb die Reduktion bis zur letzten Aufnahmeperiode (2024-25) bestehen, ohne dass eine deutliche Wiederbesiedlung durch holzige Arten zu beobachten war. Im Gegensatz dazu blieb die Deckung holziger Arten auf den Kontrollflächen über den gesamten Untersuchungszeitraum konstant bis leicht zunehmend.

3.3.2.2 Abiotische Deckungsanteile

Abbildung 18: Entwicklung der abiotischen Deckungsanteile (offener Boden, Streu und Totholz, jeweils in Prozent pp) über die drei Aufnahmeperioden (2018, 2020-21, 2024-25), getrennt nach Kontrollflächen und den Brennflächen A-J. Boxplots zeigen die Verteilung der Untersuchungsflächen je Brennfläche und Periode; die Werte über den Boxplots geben die absolute Veränderung des Mittelwerts zwischen 2018 und 2024-25 in Prozentpunkten (pp) an. Die gestrichelte vertikale Linie trennt die Kontrollflächen von den Brennflächen.



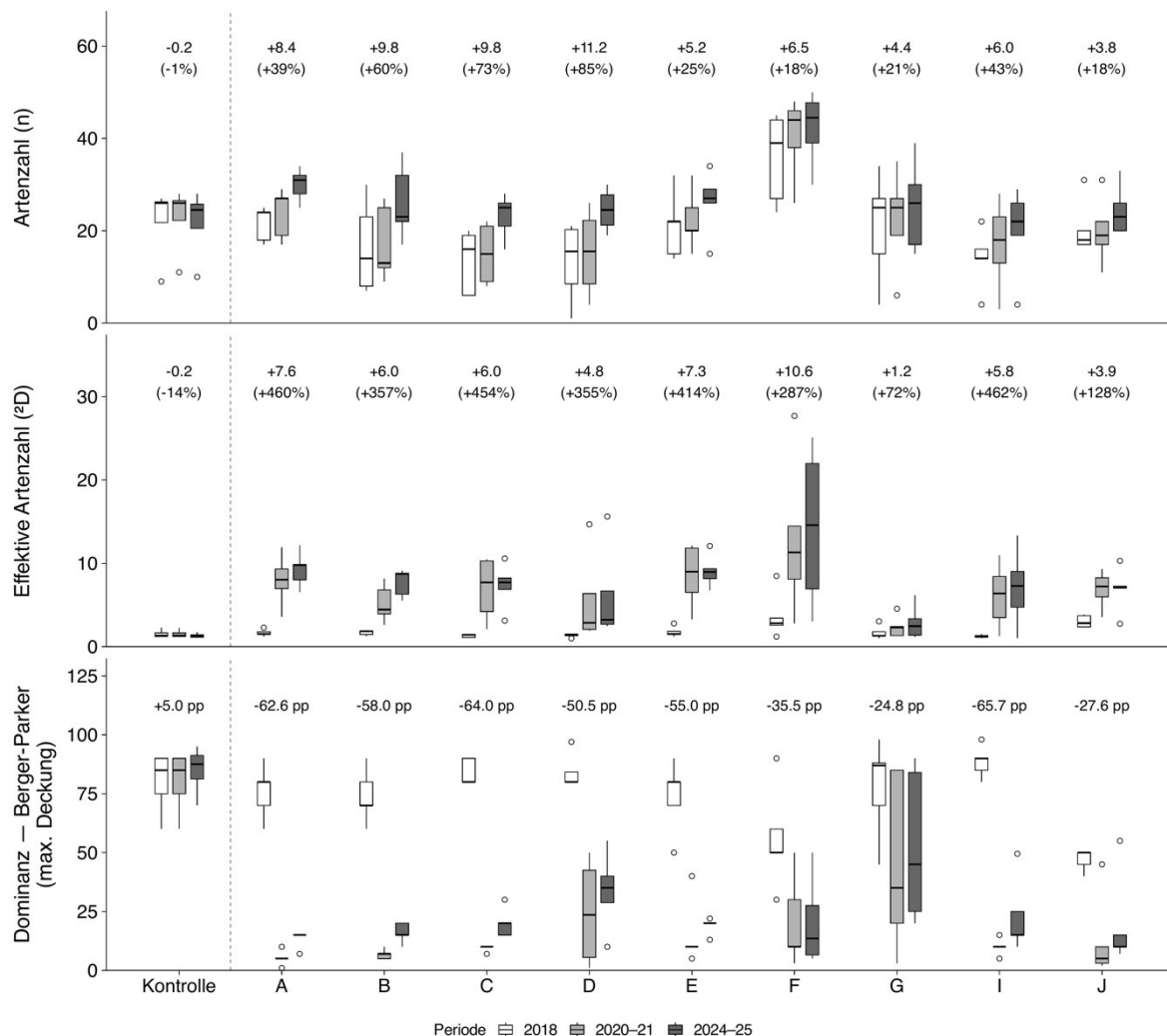
Offener Boden. Auf der Mehrheit der Untersuchungsflächen führte das kontrollierte Abbrennen unmittelbar nach dem Brand (2020-21) zu einem leichten Anstieg des Anteils an offenem Boden, der jedoch in den meisten Untersuchungsflächen nur wenige Prozentpunkte betrug (Abbildung 18). Bereits in der dritten Aufnahmeperiode (2024-25) war der offene Boden auf den meisten Flächen wieder weitgehend verschwunden, was auf eine rasche Wiederbesiedlung durch die krautige Vegetation hindeutet. Die Brennfläche J zeigte mit +7.0 pp die deutlichste verbleibende Erhöhung. Auf den Kontrollflächen blieb der Anteil an offenem Boden über den gesamten Untersuchungszeitraum unverändert (+0.0 pp).

Streu. Die Streudeckung nahm auf allen Untersuchungsflächen unmittelbar nach dem Brand markant zu, was auf die durch das Feuer verursachte Anhäufung von verkohltem Pflanzenmaterial (v. a. Nadeln der beiden Juniperus-Arten) und absterbender Vegetation zurückzuführen ist (Abbildung 18). Da bei der Deckungsschätzung keine Überlagerungen berücksichtigt wurden, wird die reale Zunahme der Streudeckung nach dem Brand vermutlich leicht überschätzt. Ursprünglich durch Sträucher überdeckte Streu kam erst nach dem Abbrennen zum Vorschein und wurde erst dann durch die Deckungsschätzung erfasst. Bis zur letzten Aufnahmeperiode (2024–25) reduzierte sich die Streudeckung auf den meisten Untersuchungsflächen wieder, blieb jedoch durchgehend über dem Ausgangsniveau (+2.0 bis +18.5 pp). Besonders ausgeprägt war die persistente Erhöhung auf den Brennflächen I und J. Auf den Kontrollflächen blieb die Streudeckung erwartungsgemäss praktisch konstant (+0.2 pp).

Totholz. Das kontrollierte Abbrennen führte auf allen Untersuchungsflächen zu einer markanten Zunahme des Totholzanteils (+12.5 bis +25.0 pp), bedingt durch die verbrannten, aber stehen gebliebenen Juniperus-Sträucher (Abbildung 18). Diese Erhöhung blieb bis 2024–25 weitgehend bestehen - der langsame Abbau verholzter Strukturen unter den trockenen, kontinentalen Klimabedingungen führt dazu, dass das Totholz mehrere Jahre nach dem Brand persistiert und einen markanten Strukturanteil der Vegetationsdecke bildet. Auf den Kontrollflächen war erwartungsgemäss keine Veränderung zu beobachten (+0.0 pp).

3.3.2.3 Diversität und Dominanz der Pflanzengemeinschaft

Abbildung 19: Entwicklung der pflanzlichen Artenvielfalt (Artenzahl und effektive Artenzahl 2D nach Jost 2006) sowie der Dominanz über die drei Aufnahmeperioden (2018, 2020-21, 2024-25), getrennt nach Kontrollflächen und Brennflächen A-J. Boxplots zeigen die Verteilung der Untersuchungsflächen je Brennfläche und Periode. Die Werte über den Boxplots geben die Veränderung des Mittelwerts zwischen 2018 und 2024-25 an: für Artenzahl und effektive Artenzahl als absolute Differenz mit relativer Veränderung in Klammern, für die Dominanz in Prozentpunkten (pp). Die gestrichelte vertikale Linie trennt die Kontrollflächen von den Brennflächen.



Artenzahl. Auf allen Brennflächen nahm die Artenzahl nach dem Brennen zu, teilweise mit einer erheblichen Zunahme von bis zu +85 % (Abbildung 19). Im Gegensatz dazu blieb die Artenzahl auf den Kontrollflächen konstant bis leicht rückläufig. Die Artenzahl veränderte sich kurz nach dem Brennen (2018 bis 2020 resp. 2021) wenig und stieg erst danach an.

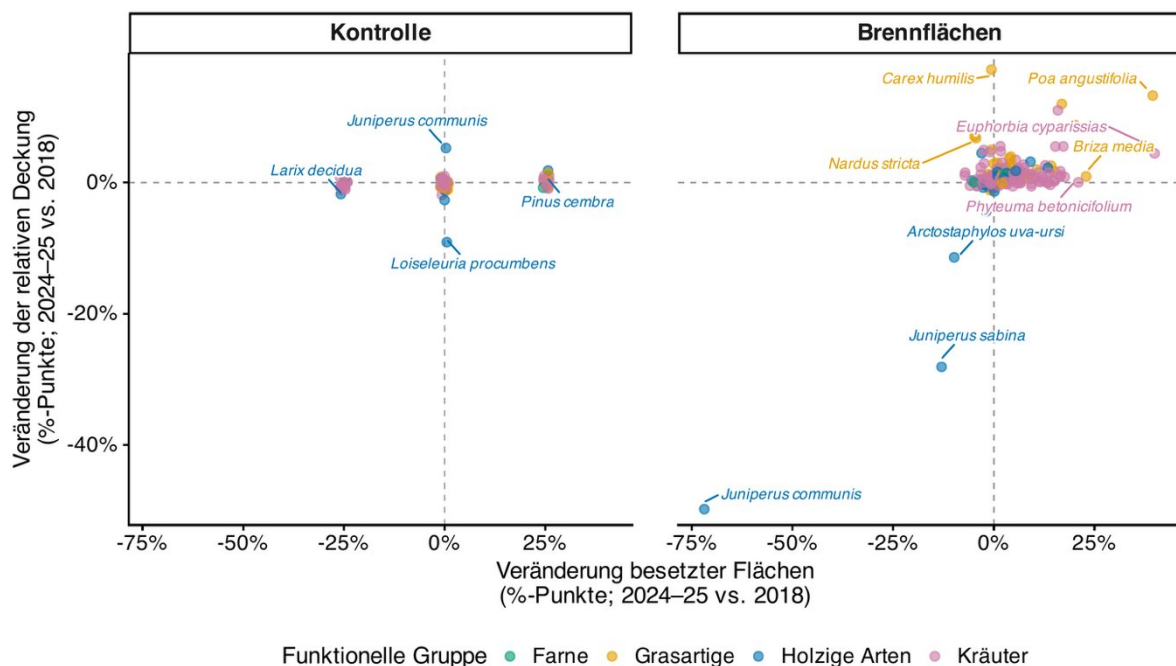
Artenvielfalt. Als Indikator für die Artenvielfalt wurde der Inverse Simpson-Index (2D , sensu Jost 2006) gewählt, der als effektive Artenzahl interpretiert werden kann. Im Gegensatz zur reinen Artenzahl, die jede Art unabhängig von ihrer Häufigkeit gleich gewichtet, berücksichtigt

der Inverse Simpson-Index zusätzlich die relative Deckung der einzelnen Arten. Er reagiert dadurch weniger empfindlich auf seltene Arten und bildet vor allem die Vielfalt der dominanten Arten ab: Eine Gemeinschaft mit zehn gleich häufigen Arten erreicht einen Wert von 10, während eine Gemeinschaft mit zehn Arten, von denen eine stark dominiert, deutlich tiefere Werte aufweist. Die Auswirkungen des Brennens auf den inversen Simpson-Index sind noch ausgeprägter als auf die Artenzahl: Der Index nimmt auf allen Brennflächen markant zu (mindestens +72 %), während die Kontrollflächen im selben Zeitraum mit -14 % verarmen (Abbildung 19). Im Gegensatz zur Artenzahl nahm der Inverse Simpson-Index bereits kurz nach dem Brennen deutlich zu, anschliessend war die Zunahme abgeschwächt.

Dominanz. Ein weiterer wichtiger Indikator für die Vielfalt eines Pflanzenbestands ist die Dominanz der häufigsten Art (z. B. ausgedrückt als relative Deckung). Das Brennen hat die einseitige Dominanz in der ersten Aufnahmeperiode nach dem Brand deutlich reduziert (Abbildung 19). In der dritten Aufnahmeperiode ist jedoch eine erneute Zunahme der Dominanz erkennbar. Auf den Kontrollflächen blieb die Dominanz hingegen konstant bis leicht zunehmend (+6 pp über die drei Aufnahmeperioden).

3.3.2.4 Gewinner und Verlierer

Abbildung 20: Artspezifische Veränderungen im Anteil besetzter Flächen (x-Achse, Prozentpunkte) und in der mittleren relativen Deckung (y-Achse, Prozentpunkte) zwischen 2018 und 2024-25, getrennt für Kontrollflächen und gepoolte Brennflächen (A-J). Jeder Punkt entspricht einer Pflanzenart; dargestellt sind beobachtete Differenzen (2024-25 minus 2018) der Vorkommenshäufigkeit (Anzahl besetzter Flächen) und der mittleren relativen Deckung pro Aufnahmefläche, eingefärbt nach funktioneller Gruppe (Grasartige, Kräuter, Holzige Arten, Farne). Gestrichelte Linien teilen die Arten in vier Reaktionsmuster: expandierend (oben rechts), lokal verdichtend (unten rechts), kolonisierend (oben links) und rückläufig (unten links). Die 5 % am stärksten verschobenen Arten je Panel sind mit Artnamen beschriftet.



Um zu untersuchen, wie sich einzelne Pflanzenarten auf den Brennflächen im Vergleich zu den Kontrollflächen entwickelt haben, wurden zwei voneinander unabhängige Aspekte ihrer Reaktion zwischen 2018 und 2024-25 ausgewertet. Die Veränderung im Vorkommen beschreibt, auf wie vielen Untersuchungsflächen einer Behandlungsgruppe eine Art überhaupt anzutreffen war: Eine Art mit positivem Wert hat sich auf zusätzlichen Standorten etabliert, während eine Art mit negativem Wert von Standorten verschwunden ist, an denen sie zuvor noch vorkam. Die Veränderung in der Deckung beschreibt hingegen, wie viel Bodenfläche eine Art an den Standorten ihres Vorkommens einnimmt. Diese zweite Kennzahl ist von der ersten weitgehend unabhängig: Eine Art kann beispielsweise auf vielen neuen Flächen erscheinen, dort aber nur kleine Bestände bilden, oder umgekehrt, von wenigen Standorten verschwinden, an den verbleibenden Standorten jedoch deutlich expandieren.

Beide Kennzahlen wurden für Kontroll- und Brennflächen getrennt berechnet. Das Vorkommen einer Art wurde dabei als Anteil der besetzten Flächen pro Behandlungsgruppe und Jahr quantifiziert; die Deckung als mittlerer Anteil einer Art an der gesamten Vegetationsdeckung jener Flächen, auf denen sie tatsächlich vorhanden war. Die in der Abbildung dargestellten Werte entsprechen jeweils der Differenz zwischen 2024-25 und 2018 und sind in Prozentpunkten ausgedrückt. Durch die Trennung der beiden Achsen - Häufigkeit der Vorkommen einerseits, Deckung an besetzten Standorten andererseits - lassen sich vier qualitativ unterschiedliche Reaktionsmuster unterscheiden:

- a. Arten oben rechts haben sowohl an Vorkommen als auch an Deckung gewonnen und werden als expandierend bezeichnet.
- b. Arten oben links treten auf neuen Flächen auf, bilden dort jedoch noch geringe Deckungen - typische Kolonisten.
- c. Arten unten rechts kommen auf weniger Flächen vor, haben aber dort, wo sie verbleiben, an Deckung zugenommen; sie verdichten lokal ihre Bestände.
- d. Arten unten links schliesslich verlieren an beiden Achsen und sind insgesamt rückläufig.

Arten, die ausschliesslich in einer der beiden Aufnahmen vorkamen - also zwischen 2018 und 2024-25 entweder vollständig von den Flächen verschwunden sind oder diese neu besiedelt haben - sind getrennt für Kontroll- und Brennflächen in Tabelle 6 aufgeführt.

Kontrollflächen. Auf den Kontrollflächen hat sich das Vorkommen der einzelnen Arten kaum verändert, ihre Deckung jedoch deutlich (Abbildung 20). Die einzige Art, deren Deckung zugenommen hat, ist *Juniperus communis ssp. alpina*, während alle übrigen Arten in der Deckung konstant oder rückläufig sind. Dies zeigt, dass die Verbuschung mit *Juniperus communis ssp. alpina* während der Untersuchungsperiode fortgeschritten ist. Zusätzlich sind einzelne Arten aus den Kontrollflächen verschwunden und einzelne andere neu aufgetaucht.

Brennflächen. Auf den Brennflächen sind ausgeprägte Veränderungen sowohl im Vorkommen als auch in der Deckung erkennbar (Abbildung 20). Holzige Arten werden zurückgedrängt:

Insbesondere *Juniperus communis ssp. alpina* verliert stark an Vorkommen und Deckung. Andere holzige Arten wie *Juniperus sabina* und *Arctostaphylos uva-ursi* verlieren ebenfalls stark an Vorkommen und Deckung. Die meisten Arten konnten im Vorkommen zunehmen: Vor allem auf stark verbuschten Flächen siedelten sich nach dem Brand viele Arten neu an, was an der dichten Punktwolke im oberen rechten Quadranten erkennbar ist. Erwähnenswert ist, dass die Arten, die am stärksten von Vorkommen und Deckung profitieren konnten, überwiegend Grasartige wie *Poa angustifolia*, *Carex humilis* und *Briza media* sind, die sich als Futterpflanzen für die Sömmerungstiere gut eignen.

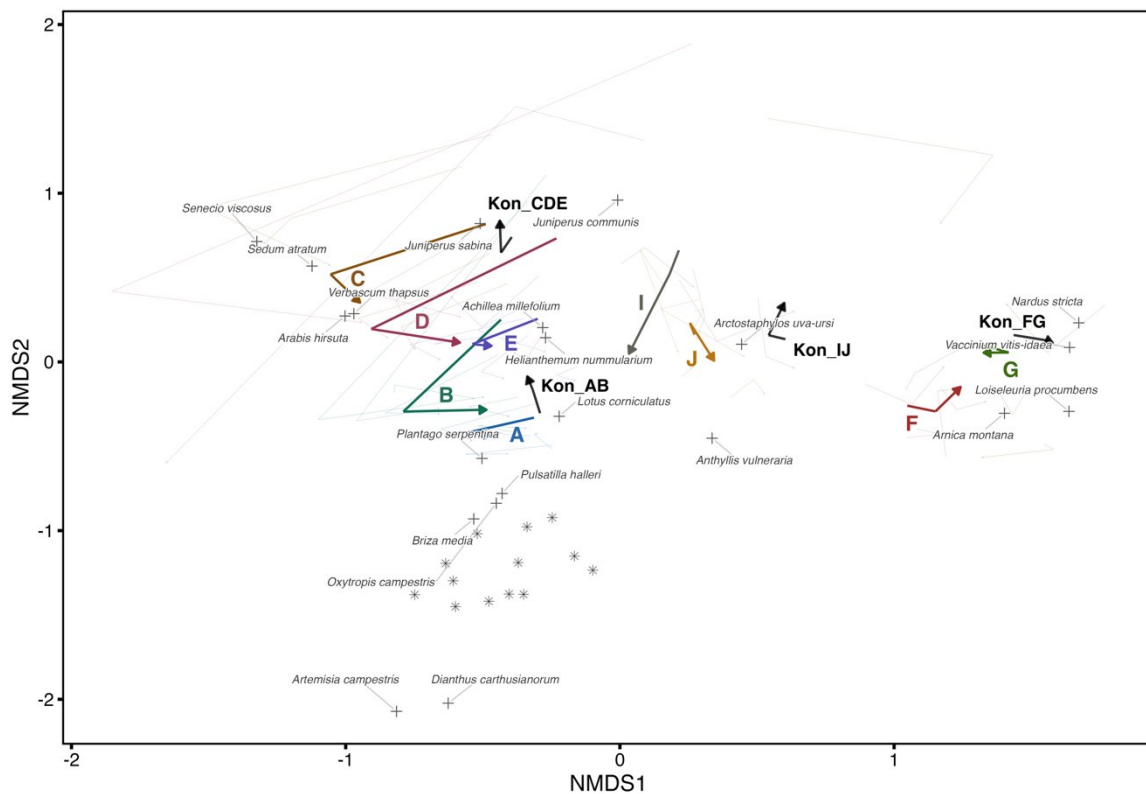
Tabelle 6: Pflanzenarten, die zwischen den beiden Aufnahmen 2018 und 2024-25 in der jeweiligen Behandlungsgruppe einen vollständigen Wechsel ihres Vorkommens zeigten - also entweder ausschliesslich 2018 oder ausschliesslich 2024-25 auf mindestens einer Untersuchungsfläche nachgewiesen wurden. Persistente Arten, die zu beiden Zeitpunkten vorkamen, sind nicht aufgeführt. Für jede Art sind die Behandlungsgruppe (Kontrolle oder gepoolte Brennflächen A-J), das Vorkommensmuster sowie die Anzahl der besetzten Untersuchungsflächen für beide Aufnahmezeitpunkte angegeben.

Behandlung	Art	Vorkommen	Anzahl Flächen	
			2018	2024-25
Brennflächen	<i>Juniperus sabina</i>	nur 2018	6	0
Brennflächen	<i>Saxifraga paniculata</i>	nur 2018	3	0
Brennflächen	<i>Carum carvi</i>	nur 2018	1	0
Brennflächen	<i>Larix decidua</i>	nur 2018	1	0
Brennflächen	<i>Nigritella rhellicani</i>	nur 2018	1	0
Brennflächen	<i>Phyteuma orbiculare</i>	nur 2018	1	0
Brennflächen	<i>Salix herbacea</i>	nur 2018	1	0
Brennflächen	<i>Urtica dioica</i>	nur 2018	1	0
Brennflächen	<i>Carlina acaulis ssp. caulescens</i>	nur 2024-25	0	7
Brennflächen	<i>Verbascum thapsus ssp. montanum</i>	nur 2024-25	0	7
Brennflächen	<i>Teucrium montanum</i>	nur 2024-25	0	6
Brennflächen	<i>Viola calcarata</i>	nur 2024-25	0	6
Brennflächen	<i>Arabis hirsuta</i>	nur 2024-25	0	4
Brennflächen	<i>Galeopsis ladanum</i>	nur 2024-25	0	3
Brennflächen	<i>Sedum atratum</i>	nur 2024-25	0	3
Brennflächen	<i>Senecio viscosus</i>	nur 2024-25	0	3
Brennflächen	<i>Laserpitium latifolium</i>	nur 2024-25	0	2
Brennflächen	<i>Pyrola minor</i>	nur 2024-25	0	2
Brennflächen	<i>Veronica fruticans</i>	nur 2024-25	0	2
Brennflächen	<i>Alchemilla pentaphyllea</i>	nur 2024-25	0	1
Brennflächen	<i>Androsace obtusifolia</i>	nur 2024-25	0	1
Brennflächen	<i>Campanula cenisia</i>	nur 2024-25	0	1
Brennflächen	<i>Carex atrata ssp. atrata</i>	nur 2024-25	0	1
Brennflächen	<i>Dryas octopetala</i>	nur 2024-25	0	1
Brennflächen	<i>Equisetum arvense</i>	nur 2024-25	0	1
Brennflächen	<i>Euphrasia minima</i>	nur 2024-25	0	1
Brennflächen	<i>Gnaphalium norvegicum</i>	nur 2024-25	0	1
Brennflächen	<i>Minuartia recurva</i>	nur 2024-25	0	1

Brennflächen	<i>Polygala chamaebuxus</i>	nur 2024-25	0	1
Brennflächen	<i>Rumex scutatus</i>	nur 2024-25	0	1
Brennflächen	<i>Tragopogon pratensis ssp. orientalis</i>	nur 2024-25	0	1
Brennflächen	<i>Trisetum distichophyllum</i>	nur 2024-25	0	1
Kontrolle	<i>Campanula barbata</i>	nur 2018	1	0
Kontrolle	<i>Carex parviflora</i>	nur 2018	1	0
Kontrolle	<i>Carex sempervirens</i>	nur 2018	1	0
Kontrolle	<i>Draba dubia</i>	nur 2018	1	0
Kontrolle	<i>Globularia cordifolia</i>	nur 2018	1	0
Kontrolle	<i>Larix decidua</i>	nur 2018	1	0
Kontrolle	<i>Lotus corniculatus var. hirsutus</i>	nur 2018	1	0
Kontrolle	<i>Phyteuma betonicifolium</i>	nur 2018	1	0
Kontrolle	<i>Saxifraga exarata ssp. exarata</i>	nur 2018	1	0
Kontrolle	<i>Thesium alpinum</i>	Nur 2018	1	0
Kontrolle	<i>Anthyllis vulneraria ssp. valesiaca</i>	nur 2024-25	0	1
Kontrolle	<i>Arnica montana</i>	nur 2024-25	0	1
Kontrolle	<i>Carlina acaulis ssp. caulescens</i>	nur 2024-25	0	1
Kontrolle	<i>Euphrasia minima</i>	nur 2024-25	0	1
Kontrolle	<i>Gentiana verna</i>	nur 2024-25	0	1
Kontrolle	<i>Geranium rivulare</i>	nur 2024-25	0	1
Kontrolle	<i>Juncus jacquinii</i>	nur 2024-25	0	1
Kontrolle	<i>Molinia caerulea</i>	nur 2024-25	0	1
Kontrolle	<i>Pinus cembra</i>	nur 2024-25	0	1
Kontrolle	<i>Poa angustifolia</i>	nur 2024-25	0	1
Kontrolle	<i>Saxifraga bryoides</i>	nur 2024-25	0	1
Kontrolle	<i>Selaginella selaginoides</i>	nur 2024-25	0	1
Kontrolle	<i>Silene vulgaris ssp. glareosa</i>	nur 2024-25	0	1
Kontrolle	<i>Solidago virgaurea ssp. minuta</i>	nur 2024-25	0	1

3.3.2.5 Vegetationsentwicklung im Vergleich zu Trockenwiesen und -weiden

Abbildung 21: NMDS-Ordination der Artenzusammensetzung (Bray-Curtis-Dissimilarität, $k = 2$, Stress = 0.19). Pfeile zeigen die Trajektorien der Untersuchungsflächen vom Ausgangszustand 2018 über 2020-21 bis 2024-25; dünne farbige Pfeile entsprechen einzelnen Brennflächen, dicke Pfeile den Gruppenzentroiden je Brennfläche (A-J). Kontrollflächen (Kon) sind als einzelne schwarze Pfeile mit Standortbezeichnung dargestellt. Sterne (*) kennzeichnen umliegende Trockenwiesen- und -weiden-Aufnahmen aus dem TWW-Inventar (Umkreis 1 km um die aufgenommenen Flächen) als Referenz für die ursprüngliche Zielvegetation. Graue Kreuze markieren die Position ausgewählter Indikatorarten im Ordinationsraum.



Um die Entwicklung der Pflanzenbestände als Ganzes zu beurteilen - also nicht nur einzelne Arten oder Strukturmerkmale, sondern die gesamte Artenzusammensetzung jeder Untersuchungsfläche - wurde eine sogenannte NMDS-Ordination (Non-Metric Multidimensional Scaling) durchgeführt. Dieses Verfahren übersetzt die komplexe Information aus Hunderten von Pflanzenarten und ihren Deckungswerten in eine zweidimensionale Karte: Untersuchungsflächen mit ähnlicher Artenzusammensetzung liegen auf der Karte nahe beieinander, während Flächen mit unterschiedlicher Artenzusammensetzung weit voneinander entfernt sind. Die Distanz zwischen zwei Punkten misst also die ökologische Ähnlichkeit der dort wachsenden Pflanzengemeinschaften. Als Distanzmass wurde der Bray-Curtis-Index verwendet, der besonders gut für Vegetationsdaten geeignet ist, weil er sowohl die Anwesenheit als auch die relative Häufigkeit der Arten berücksichtigt.

Wenn eine Untersuchungsfläche mehrmals erhoben wird (in unserem Fall 2018, 2020-21 und 2024-25), entsteht für jede Fläche eine Bewegung im Ordinationsraum - eine Trajektorie, die zeigt, in welche Richtung sich die Artenzusammensetzung verändert. Diese Trajektorien sind in der Abbildung als Pfeile dargestellt. Um die Veränderung der ursprünglich verbuschten Alpweiden mit der Zielvegetation vergleichen zu können, wurden zusätzlich Vegetationsaufnahmen aus dem nationalen Inventar der Trockenwiesen und -weiden (TWW) im Umkreis von einem Kilometer um die Untersuchungsflächen in die Ordination miteinbezogen. Diese sind als schwarze Sterne dargestellt und repräsentieren die ökologische Zielposition, in deren Richtung sich eine erfolgreiche Wiederherstellung bewegen sollte.

Zur Orientierung im Ordinationsraum sind ausserdem ausgewählte Arten als graue Kreuze eingezeichnet. Ihre Position zeigt an, welche ökologischen Bedingungen in welchem Bereich der Karte vorherrschen: Bestände, die nahe an einer dieser Arten liegen, weisen typischerweise eine ähnliche Artenzusammensetzung auf wie ein von dieser Art mitgeprägter Lebensraum. Eingezeichnet sind unter anderem Arten der noch verbuschten Bestände (*Juniperus communis* ssp. *alpina*, *Juniperus sabina*), Arten der Windkuppen (*Loiseleuria procumbens*, *Nardus stricta*), charakteristische Arten artenreicher Trockenwiesen und -weiden (*Helianthemum nummularium* ssp. *grandiflorum*, *Briza media*, *Lotus corniculatus* var. *hirsutus*, *Pulsatilla halleri*, *Dianthus carthusianorum* ssp. *carthusianorum*, *Artemisia campestris* ssp. *alpina*) sowie typische Pionierarten auf frisch geöffnetem Boden (*Senecio viscosus*, *Sedum atratum*, *Verbascum thapsus* ssp. *montanum*, *Arabis hirsuta*).

Kontrollflächen. Während des Untersuchungszeitraums haben sich die Kontrollflächen zunehmend in entgegengesetzter Richtung zum Zielzustand TWW bewegt (Abbildung 21). Diese Flächen blieben in der Nähe von oder näherten sich weiter an *Juniperus communis* ssp. *alpina*- bzw. *Vaccinium vitis-idaea*-Beständen an.

Brennflächen. Die Brennflächen lassen sich in Abhängigkeit von ihrer Ausgangsvegetation in zwei klar unterscheidbare Gruppen einteilen: die F-G-Gruppe und die übrigen Flächen (Abbildung 21). Die F-G-Gruppe weist einen weniger stark von *Juniperus communis* ssp. *alpina* dominierten Pflanzenbestand auf und entspricht eher einer Windkuppen-Vegetation mit *Loiseleuria procumbens*, *Vaccinium vitis-idaea* und *Nardus stricta*. Diese Gruppe reagierte nur schwach auf das Brennen, während die übrigen Flächen deutlich stärker reagierten. Bei den übrigen Flächen war in der zweiten Aufnahmeperiode eine starke Verschiebung in Richtung annueller Arten (z. B. *Senecio viscosus* und *Sedum atratum*) zu beobachten, die sich in der dritten Aufnahmeperiode wieder zurückbildete.

Insgesamt bewegten sich die übrigen Flächen über die fünf Jahre hinweg mehrheitlich in Richtung des Zielzustands, d. h. einer TWW-typischen Artenzusammensetzung. Sie sind allerdings nach fünf Jahren immer noch von diesen Beständen entfernt.

3.3.2.6 Beschreibung der Vegetation am Südhang

3.3.2.6.1 Allgemeine Bemerkungen

Aufgrund des guten Brennerfolgs am Südhang wird die dortige Vegetation und deren Reaktion auf das kontrollierte Abbrennen mit Fokus auf die einzelnen Pflanzenarten und die funktionellen Gruppen hier detaillierter beschrieben. Der Südhang umfasst die fünf Brennflächen A, B, C, D und E. Auf allen neun Brennflächen (A, B, C, D, E, F, G, I und J) wurden mit den Vegetationsaufnahmen in den Jahren 2018, 2020, 2021, 2024 und 2025 insgesamt 174 Pflanzenarten, davon 13 Sträucher, 36 Grasartige, 116 Kräuter und 9 Leguminosen festgestellt. Die fünf Brennflächen am Südhang enthielten in den Vegetationsaufnahmen insgesamt 102 Pflanzenarten, davon 4 Sträucher, 23 Grasartige, 67 Kräuter und 8 Leguminosen. Knapp 60 % des mit den Vegetationsaufnahmen erfassten Artenspektrums wurde somit durch die Vegetation am Südhang abgedeckt.

Auffällig ist, dass die Strauchvielfalt am Südhang eher gering war: Es kamen nur gerade 4 als Sträucher erfasste Pflanzenarten vor. Vorherrschend war *Juniperus communis ssp. alpina*, seltener kam *Juniperus sabina* und *Arctostaphylos uva-ursi* vor. *Larix decidua* (kleinwüchsig, deshalb als Strauch erfasst) war nur auf einer Untersuchungsfläche mit schwacher Deckung vorhanden. Die Strauchvielfalt auf den Brennflächen F, G, I und J war deutlich höher: Es kamen insgesamt 12 als Sträucher erfasste Pflanzenarten vor. Ebenfalls vorherrschend war *Juniperus communis ssp. alpina*. Zudem kamen *Arctostaphylos uva-ursi*, *Rhododendron ferrugineum*, *Loiseleuria procumbens*, *Vaccinium gaultherioides*, *Vaccinium vitis-idaea*, *Salix retusa*, *Salix serpyllifolia*, *Salix herbacea*, *Cotoneaster integerrimus*, *Larix decidua* und *Pinus cembra* (letztere beiden ebenfalls kleinwüchsig, deshalb als Sträucher erfasst) vor. *Juniperus sabina* fehlte auf den Brennflächen F, G, I und J. Während des Abbrennens wurde ersichtlich, dass diese beiden *Juniperus*-Arten ausgesprochen gut abbrannten. Eine Regeneration nach dem Abbrennen wurde anhand der Vegetationsaufnahmen ein und fünf Jahre nach dem Abbrennen zudem nicht beobachtet. Die weiteren Straucharten auf den Brennflächen F, G, I und J hatten deutlich schlechter gebrannt und konnten sich auch teilweise nach dem Abbrennen erholen.

3.3.2.6.2 Vegetation im Ausgangszustand

Auf den Untersuchungsflächen der beiden Brennflächen A und B dominierte als Strauchart *Juniperus communis ssp. alpina*. Vereinzelt war auch *Juniperus sabina* vorhanden. Die Sträucher wiesen einen hohen durchschnittlichen Deckungsgrad von 81 % auf. Auf zwei Untersuchungsflächen wiesen sie sogar einen Deckungsgrad von 98 % auf. Die Verbuschung war somit auf den beiden Brennflächen stark fortgeschritten.

Neben den Sträuchern bestand die Vegetation aus krautigen Pflanzen. Die Grasartigen wiesen einen durchschnittlichen Deckungsgrad von 9 % auf. Auf stark verbuschten Untersuchungsflächen deckten sie jedoch deutlich weniger. Unter den bestandesbildenden Arten befanden sich *Carex humilis* und *Festuca ovina aggr.* (beide mit Deckungsgraden bis

7 %), weniger stark deckend waren *Anthoxanthum odoratum*, *Dactylis glomerata*, *Briza media* und *Koeleria macrantha*.

Zudem waren zahlreiche Kräuter vorhanden, wobei die einzelnen Arten teilweise nur sehr schwach deckten. Insgesamt ergab sich ein durchschnittlicher Deckungsgrad der Kräuter von 6 %. *Helianthemum nummularium ssp. grandiflorum* als dominanteste Art der Kräuter wies einen Deckungsgrad von 1 bis 3 % auf. *Hieracium peletierianum*, *Helianthemum alpestre*, *Galium pumilum* und *Laserpitium halleri* deckten die Untersuchungsflächen mit 1 bis 2 %. Die weiteren Arten wiesen einen Deckungsgrad von 1 % oder meistens weniger auf und kamen zum Teil nur auf wenigen Untersuchungsflächen vor. Es handelte sich um Arten wie *Campanula scheuchzeri*, *Senecio doronicum*, *Bupleurum ranunculoides ssp. caricinum*, *Plantago serpentina*, *Phyteuma betonicifolium*, *Dianthus sylvestris*, *Rhinanthus glacialis*, *Silene nutans ssp. nutans*, *Centaurea scabiosa ssp. alpestris*, *Pulsatilla halleri*, *Aster alpinus*, *Carduus defloratus ssp. defloratus* und *Biscutella laevigata*.

Schliesslich mischten sich auch wenige Leguminosen in den Bestand. Sie deckten mit einem durchschnittlichen Deckungsgrad von 2 % jedoch schwach. Zu nennen sind Arten wie *Hippocrepis comosa*, *Lotus corniculatus var. hirsutus*, *Trifolium montanum*, *Oxytropis campestris* und *Trifolium pratense ssp. nivale*.

Abgesehen von den klar dominierenden Sträuchern waren auf den beiden Brennflächen A und B somit Pflanzenarten vorhanden, die in den lokalen Alpweiden vorkommen. Viele dieser Arten sind charakteristisch für die artenreichen Trockenwiesen und -weiden, welche direkt an die beiden Brennflächen A und B angrenzen.

Auf den Untersuchungsflächen der beiden Brennflächen C und D war jeweils nur eine Strauchart, nämlich *Juniperus communis ssp. alpina* vorhanden. Auf der Brennfläche E waren auf wenigen Untersuchungsflächen zusätzlich die beiden Straucharten *Arctostaphylos uva-ursi* und *Juniperus sabina* vertreten. Auch auf den drei Brennflächen C, D und E war die Verbuschung der Alpweiden stark fortgeschritten. Die Sträucher wiesen einen hohen durchschnittlichen Deckungsgrad von 84 % auf. Auf einer Untersuchungsfläche erreichten sie sogar einen Deckungsgrad von 97 %.

Die krautige Vegetation auf den Untersuchungsflächen der drei Brennflächen C, D und E wurde hauptsächlich von Grasartigen mit einem durchschnittlichen Deckungsgrad von 7 % gebildet. *Calamagrostis villosa*, *Festuca rubra aggr.* und *Festuca ovina aggr.* mit Deckungsgraden von 1 bis 3 %, vereinzelt sogar höheren, dominierten. Weniger stark deckende Arten waren *Dactylis glomerata*, *Helictotrichon pubescens*, *Anthoxanthum odoratum*, *Sesleria caerulea* und *Poa angustifolia*.

Des Weiteren setzte sich die krautige Vegetation aus Kräutern mit einem durchschnittlichen Deckungsgrad von 5 % zusammen. Als dominanteste Art mit Deckungsgraden bis 3 % ist *Helianthemum nummularium ssp. grandiflorum* zu nennen. Sämtliche weiteren Arten wiesen Deckungsgrade von 1 % oder weniger auf und deckten somit nur schwach. Es handelte sich um

Arten wie *Galium pumilum*, *Silene vulgaris* ssp. *glareosa*, *Carduus defloratus* ssp. *defloratus*, *Campanula scheuchzeri*, *Daphne mezereum*, *Achillea millefolium*, *Bupleurum ranunculoides* ssp. *caricinum*, *Plantago serpentina*, *Euphorbia cyparissias*, *Sanguisorba minor* ssp. *minor*, *Cerastium arvense* ssp. *strictum*, *Thalictrum foetidum*, *Acinos alpinus*, *Thymus praecox* ssp. *polytrichus*, *Silene nutans* ssp. *nutans* und *Rhinanthus glacialis*.

Schliesslich bestand die krautige Vegetation aus einem sehr geringen Anteil an Leguminosen, welche einen durchschnittlichen Deckungsgrad von unter 1 % aufwiesen. Es handelte sich um Arten wie *Trifolium montanum*, *Hippocrepis comosa* und *Lotus corniculatus* var. *hirsutus*.

Auch auf den drei Brennflächen C, D und E waren somit neben den klar dominierenden Sträuchern typische Pflanzenarten der lokalen Alpweiden vorhanden. Einige dieser Arten sind charakteristisch für die artenreichen Trockenwiesen und -weiden, welche in der näheren Umgebung vorhanden sind.

3.3.2.6.3 Vegetation ein Jahr nach dem Abbrennen

Auf den Untersuchungsflächen der beiden Brennflächen A und B waren die direkten Auswirkungen des Feuers vom Vorjahr noch besonders gut sichtbar: verkohltes Totholz der abgebrannten Sträucher, Asche als Bestandteil der Streu auf der Bodenoberfläche sowie teilweise angebrannte Gras- oder Seggenhorste. Mit dem kontrollierten Abbrennen konnten die Sträucher auf den Untersuchungsflächen dieser Brennflächen fast vollständig verbrannt werden. Auf neun von zehn Untersuchungsflächen waren keine lebenden Sträucher mehr vorhanden. Einzig auf einer Untersuchungsfläche wurde eine Restfläche mit *Juniperus communis* ssp. *alpina* nicht abgebrannt. Auf dieser Untersuchungsfläche wies *Juniperus communis* ssp. *alpina* noch einen Deckungsgrad von 10 % auf.

Das auf den Untersuchungsflächen der beiden Brennflächen A und B verbliebene Totholz der beiden *Juniperus*-Arten wies einen durchschnittlichen Deckungsgrad von 27 % auf. Die Streu hatte mit einem durchschnittlichen Deckungsgrad von 31 % im Vergleich zum Ausgangszustand deutlich zugenommen. Auffällig war, dass ein Jahr nach dem kontrollierten Abbrennen auf den meisten Untersuchungsflächen der Brennflächen A und B wenig offener Boden vorhanden war (etwa 10 %). Einzig auf zwei Untersuchungsflächen hatte der offene Boden deutlich zugenommen (45 und 50 %). Die krautige Vegetation wies eine mit dem Ausgangszustand vergleichbare Artenzusammensetzung und Deckung auf. Teilweise hatte die Deckung einzelner Arten jedoch leicht zugenommen.

Auf den drei Brennflächen C, D und E führte das kontrollierte Abbrennen im Vorjahr ebenfalls zu einer fast vollständigen Entbuschung der Untersuchungsflächen. Einzig auf zwei Untersuchungsflächen brannte *Juniperus communis* ssp. *alpina* nicht vollständig ab und wies dort noch einen Deckungsgrad von 40 resp. 50 % auf. Auf einer dieser Untersuchungsflächen sowie auf einer weiteren brannte auch *Arctostaphylos uva-ursi* nicht vollständig ab und hinterliess Restbestände mit 3 resp. 5 % Deckungsgrad. Auf sämtlichen weiteren

Untersuchungsflächen der drei Brennflächen C, D und E verbrannten die Sträucher jedoch vollständig.

Nach dem Abbrennen war auf den Untersuchungsflächen der drei Brennflächen C, D und E sehr wenig offener Boden vorhanden. Drei Untersuchungsflächen wiesen 3, 5 resp. 7 % offenen Boden auf. Die restlichen Untersuchungsflächen waren vollständig mit Totholz, Streu, Steinen sowie krautiger Vegetation bedeckt. Das auf den Untersuchungsflächen der Brennflächen C, D und E verbliebene Totholz wies einen durchschnittlichen Deckungsgrad von 25 % auf. Die auf den abgebrannten Flächen angesammelte Streu bedeckte im Durchschnitt 20 % der Untersuchungsflächen. Erst nach dem kontrollierten Abbrennen wurde sichtbar, dass die Untersuchungsflächen Steine mit einem durchschnittlichen Deckungsgrad von 9 % enthielten.

Auffällig bei den drei Brennflächen C, D und E war die schnelle Regeneration der krautigen Pflanzenbestände nach der Störung durch das Feuer (Abbildung 22). Die Deckung durch die krautige Vegetation hatte sich im Vergleich zum Ausgangszustand vor dem Abbrennen bis verfünffacht. Die Besiedlung der freigebrannten Flächen erfolgte hauptsächlich durch vegetative Vermehrung der bereits auf den Untersuchungsflächen vorhandenen Pflanzen. Das heisst, bodennahe und unterirdische Pflanzenteile der krautigen Vegetation wie beispielsweise Horstbasen, spezielle Überdauerungsorgane sowie Wurzeln hatten das kontrollierte Abbrennen offenbar unbeschadet überlebt. Stark vegetativ vermehrt hatten sich *Calamagrostis villosa* (bis 40 % Deckungsgrad), *Galium pumilum* (bis 10 % Deckungsgrad) sowie *Silene vulgaris ssp. glareosa* (bis 7 % Deckungsgrad). Es war auch ersichtlich, dass einzelne Arten auf dem offenen Boden keimten.

Abbildung 22: Aufwuchs der krautigen Vegetation in der ersten Vegetationsperiode nach dem kontrollierten Abbrennen - Mai (oben) und Juli (unten) auf Brennfläche C.





Die Artenzusammensetzung der krautigen Vegetation war auch auf den Brennflächen C, D und E jeweils vergleichbar mit derjenigen im Ausgangszustand. Auf diesen drei Brennflächen siedelten sich auf dem offenen Boden zusätzlich zwei neue Arten an, welche im Ausgangszustand vor dem Abbrennen nicht vorhanden waren. Es handelte sich um *Verbascum thapsus* ssp. *montanum* und *Galeopsis ladanum*. Diese beiden Pionierarten kommen an Ruderalstandorten, also auf brachliegenden Rohbodenflächen, vor. Sie werden sich vermutlich nur vorübergehend in diesen Pflanzenbeständen halten können.

3.3.2.6.4 Vegetation fünf Jahre nach dem Abbrennen

Fünf Jahre nach dem Abbrennen hatten sich weder *Juniperus communis* ssp. *alpina* noch *Juniperus sabina* auf den Untersuchungsflächen der beiden Brennflächen A und B neu angesiedelt. Der Restbestand von *Juniperus communis* ssp. *alpina* auf einer Untersuchungsfläche wies nach wie vor einen Deckungsgrad von 10 % auf.

Das Totholz der Sträucher wies auch fünf Jahre nach dem Abbrennen einen hohen durchschnittlichen Deckungsgrad von 19 % auf. Auf einigen Untersuchungsflächen deckte das Totholz sogar 25 bis 30 % der Untersuchungsfläche. Auf solchen Flächen war das Totholz nach wie vor aspektbestimmend. Es ist erstaunlich, dass auch fünf Jahre nach dem Abbrennen die Auswirkungen des Feuers anhand des Totholzes noch so deutlich erkennbar waren. Die Streu wurde deutlich abgebaut, sie deckte gerade noch durchschnittlich 8 % der Untersuchungsflächen. Der offene Boden auf den Untersuchungsflächen betrug durchschnittlich 6 %. Die Untersuchungsfläche mit 50 % offenem Boden ein Jahr nach dem Abbrennen wies nun noch 15 % offenen Boden auf.

Fünf Jahre nach dem Abbrennen wiesen die Grasartigen auf den Untersuchungsflächen der beiden Brennflächen A und B einen durchschnittlichen Deckungsgrad von 35 % auf. Auf allen Untersuchungsflächen vorhanden und klar dominierend waren *Carex humilis* und *Festuca ovina* aggr. mit einem durchschnittlichen Deckungsgrad von 13 resp. 11 %. Ebenfalls auf allen Untersuchungsflächen vorhanden war *Anthoxanthum odoratum* mit einem durchschnittlichen Deckungsgrad von 2 %. Es waren zudem folgende Grasartigen vorhanden: *Dactylis glomerata*, *Briza media*, *Festuca rubra* aggr., *Phleum rhaeticum*, *Koeleria macrantha*, *Poa angustifolia*, *Helictotrichon pubescens*, *Festuca violacea* aggr., *Brachypodium pinnatum* aggr. und *Calamagrostis villosa*. Bei einigen dieser Grasartigen handelt es sich um wertvolle Futterpflanzen (*Carex humilis*, *Dactylis glomerata*, *Festuca rubra* aggr., *Phleum rhaeticum*, *Poa angustifolia* und *Festuca violacea* aggr.). *Carex humilis*, welche sich nach dem Abbrennen stark auf den Untersuchungsflächen ausgebreitet hatte, ist im kontinentalen Halbtrockenrasen eine dominante Art, welche das Aussehen des Lebensraums mitprägt. Es handelt sich bei *Carex humilis* somit um eine typische Art der Trockenwiesen und -weiden.

Die Kräuter wiesen einen durchschnittlichen Deckungsgrad von 27 % auf. Am stärksten deckend waren *Euphorbia cyparissias* mit einem durchschnittlichen Deckungsgrad von 4 %, *Galium pumilum*, *Helianthemum nummularium* ssp. *grandiflorum* (je 3 %), *Hieracium peletierianum*, *Silene nutans* ssp. *nutans* und *Plantago serpentina* (je 2 %). *Laserpitium halleri*, *Centaurea scabiosa* ssp. *alpestris*, *Achillea millefolium*, *Antennaria dioica*, *Campanula scheuchzeri*, *Phyteuma betonicifolium*, *Verbascum thapsus* ssp. *montanum*, *Rhinanthus glacialis*, *Bupleurum ranunculoides* ssp. *caricinum* und *Helianthemum alpestre* wiesen einen durchschnittlichen Deckungsgrad von je 1 % auf. Zudem waren zahlreiche weitere Kräuter vorhanden, die einen geringeren Deckungsgrad aufwiesen.

Die Leguminosen wiesen einen durchschnittlichen Deckungsgrad von 3 % auf. Auf sämtlichen Untersuchungsflächen der beiden Brennflächen A und B waren *Lotus corniculatus* var. *hirsutus* und *Hippocrepis comosa* mit einem durchschnittlichen Deckungsgrad von je 1 % vorhanden. Es wurden zudem folgende Leguminosen erfasst: *Oxytropis campestris*, *Trifolium montanum*, *Trifolium pratense* ssp. *nivale*, *Trifolium alpestre* und *Anthyllis vulneraria* ssp. *valesiaca*.

Fünf Jahre nach dem Abbrennen hatten sich auch auf den Untersuchungsflächen der drei Brennflächen C, D und E keine neuen Sträucher etabliert. Die Restbestände von *Juniperus communis* ssp. *alpina* und *Arctostaphylos uva-ursi* auf drei Untersuchungsflächen waren nach wie vor vorhanden, jedoch in zwei Fällen in der Deckung deutlich reduziert.

Auf den Untersuchungsflächen der drei Brennflächen C, D und E war fünf Jahre nach dem Abbrennen kein offener Boden mehr vorhanden. Das Totholz bedeckte durchschnittlich noch 16 % der Untersuchungsflächen, die Streu noch 4 % und die Steine noch 6 %. Insbesondere bei der Streu war eine deutliche Abnahme zu beobachten.

Fünf Jahre nach dem Abbrennen wiesen die Grasartigen einen durchschnittlichen Deckungsgrad von 33 % auf. Auf allen Untersuchungsflächen vorhanden und klar dominierend war *Calamagrostis villosa* mit einem durchschnittlichen Deckungsgrad von 12 %. Zu nennen

sind zudem Arten wie *Festuca rubra* aggr. mit einem durchschnittlichen Deckungsgrad von 5 %, *Poa angustifolia* (4 %), *Festuca ovina* aggr., *Dactylis glomerata* (je 3 %) und *Sesleria caerulea* (2 %). Die restlichen Grasartigen wie *Anthoxanthum odoratum*, *Briza media*, *Helictotrichon pubescens*, *Carex sempervirens*, *Trisetum flavescens*, *Carex flacca* und weitere wiesen einen durchschnittlichen Deckungsgrad von weniger als 1 % auf. Auch unter den Grasartigen auf den Untersuchungsflächen der drei Brennflächen C, D und E waren wertvolle Futterpflanzen enthalten.

Die Kräuter wiesen einen durchschnittlichen Deckungsgrad von 34 % auf. Am stärksten deckend waren *Galium pumilum* mit einem durchschnittlichen Deckungsgrad von 6 %, *Epilobium angustifolium* (5 %), *Achillea millefolium* (4 %), *Helianthemum nummularium* ssp. *grandiflorum*, *Euphorbia cyparissias* (je 3 %), *Carduus defloratus* ssp. *defloratus* und *Silene vulgaris* ssp. *glareosa* (je 2 %). *Rhinanthus glacialis*, *Acinos alpinus*, *Centaurea scabiosa* ssp. *alpestris*, *Campanula scheuchzeri*, *Teucrium montanum*, *Bupleurum ranunculoides* ssp. *caricinum* und *Sanguisorba minor* ssp. *minor* wiesen einen durchschnittlichen Deckungsgrad von je 1 % auf. Zudem waren zahlreiche weitere Kräuter vorhanden, die einen geringeren Deckungsgrad aufwiesen.

Die Leguminosen wiesen einen durchschnittlichen Deckungsgrad von 1 % auf. Nicht auf jeder Untersuchungsfläche der drei Brennflächen C, D und E waren Leguminosen vorhanden. Am stärksten deckend war *Trifolium montanum*, jedoch mit einem durchschnittlichen Deckungsgrad von weniger als 1 %. Es waren zudem folgende Leguminosen vorhanden: *Hippocrepis comosa*, *Trifolium pratense* ssp. *nivale*, *Oxytropis campestris*, *Lotus corniculatus* var. *hirsutus* und *Anthyllis vulneraria* ssp. *valesiaca*.

Die beiden *Juniperus*-Arten hatten sich auf keiner der Untersuchungsflächen der fünf Brennflächen A, B, C, D und E am Südhang auch fünf Jahre nach dem Abbrennen neu etabliert. Dies zeigt, dass das Abbrennen zu einem vollständigen Absterben der Sträucher führte. Eine Neuansiedlung hätte nur über Samen erfolgen können, was innerhalb der fünf Jahre nach dem Abbrennen jedoch nicht der Fall war. Ein solches erneutes Aufkommen der beiden *Juniperus*-Arten über Samen kann durch eine genügend intensive Beweidung verhindert werden.

3.3.2.6.5 Veränderungen in der Artenzusammensetzung der Vegetation

Um die Veränderungen in der Artenzusammensetzung der Vegetation am Südhang nach dem Abbrennen genauer zu untersuchen, wurde das Artenspektrum auf den Untersuchungsflächen der fünf Brennflächen A, B, C, D und E ein Jahr und fünf Jahre nach dem Abbrennen mit dem Ausgangszustand verglichen. Es wurden einerseits diejenigen Pflanzenarten ermittelt, die ein Jahr und fünf Jahre nach dem Abbrennen verglichen mit dem Ausgangszustand neu auf den Untersuchungsflächen vorkommen. Andererseits wurden diejenigen Pflanzenarten ermittelt, die ein Jahr und fünf Jahre nach dem Abbrennen verglichen mit dem Ausgangszustand nicht mehr auf den Untersuchungsflächen vorkommen.

Neue Pflanzenarten ein Jahr nach dem Abbrennen im Vergleich zum Ausgangszustand:

- *Carex atrata ssp. atrata*
- *Galeopsis ladanum*
- *Laserpitium latifolium*
- *Polygala chamaebuxus*
- *Scabiosa lucida*
- *Verbascum thapsus ssp. montanum*
- *Viola calcarata*
- *Trifolium thalii* (fünf Jahre nach dem Abbrennen nicht mehr vorhanden)

Fehlende Pflanzenarten ein Jahr nach dem Abbrennen im Vergleich zum Ausgangszustand:

- *Juniperus sabina*
- *Larix decidua*
- *Phleum rhaeticum* (fünf Jahre nach dem Abbrennen wieder vorhanden)
- *Anthericum liliago* (fünf Jahre nach dem Abbrennen wieder vorhanden)
- *Botrychium lunaria* (fünf Jahre nach dem Abbrennen wieder vorhanden)
- *Campanula barbata* (fünf Jahre nach dem Abbrennen wieder vorhanden)
- *Carum carvi*
- *Gentiana verna* (fünf Jahre nach dem Abbrennen wieder vorhanden)
- *Laserpitium siler* (fünf Jahre nach dem Abbrennen wieder vorhanden)
- *Myosotis alpestris* (fünf Jahre nach dem Abbrennen wieder vorhanden)
- *Phyteuma orbiculare*
- *Polygala alpestris* (fünf Jahre nach dem Abbrennen wieder vorhanden)
- *Urtica dioica*

Neue Pflanzenarten fünf Jahre nach dem Abbrennen im Vergleich zum Ausgangszustand:

- *Carex atrata ssp. atrata*
- *Trisetum distichophyllum*
- *Arabis hirsuta*
- *Carlina acaulis ssp. caulescens*
- *Equisetum arvense*
- *Galeopsis ladanum*
- *Gentiana campestris ssp. campestris*
- *Laserpitium latifolium*
- *Polygala chamaebuxus*
- *Potentilla crantzii*
- *Rumex scutatus*
- *Scabiosa lucida*
- *Sedum atratum*
- *Senecio viscosus*
- *Teucrium montanum*
- *Tragopogon pratensis ssp. orientalis*

- *Verbascum thapsus ssp. montanum*
- *Veronica fruticans*
- *Viola calcarata*

Fehlende Pflanzenarten fünf Jahre nach dem Abbrennen im Vergleich zum Ausgangszustand:

- *Juniperus sabina*
- *Larix decidua*
- *Carum carvi*
- *Phyteuma orbiculare*
- *Urtica dioica*

Ein Jahr nach dem Abbrennen hatten sich 8 Pflanzenarten neu auf den Untersuchungsflächen angesiedelt. Bei den beiden Arten *Galeopsis ladanum* und *Verbascum thapsus ssp. montanum* handelte es sich um ein- bis zweijährige Pionierarten, die auf dem offenen Boden gekeimt hatten. Diese beiden Arten sind atypisch für die lokalen Alpweiden. Die weiteren sechs Arten kommen auf den umliegenden Alpweiden vor. Mit Ausnahme von *Trifolium thalii* konnten sich die neu vorkommenden Arten auf den Untersuchungsflächen halten und waren auch fünf Jahre nach dem Abbrennen vorhanden.

Ein Jahr nach dem Abbrennen fehlten 13 Pflanzenarten auf den Untersuchungsflächen. Es handelte sich um die beiden Straucharten *Juniperus sabina* und *Larix decidua*, deren Absenz nach dem Abbrennen jedoch erwünscht ist. Zudem fehlte *Phleum rhaeticum* sowie eine Reihe an Kräutern. Zu beachten ist, dass 8 dieser fehlenden Arten fünf Jahre nach dem Abbrennen auf den Untersuchungsflächen erneut aufgefunden wurden.

Fünf Jahre nach dem Abbrennen waren im Vergleich zum Ausgangszustand 19 neue Pflanzenarten auf den Untersuchungsflächen vorhanden. Interessant ist, dass sich insgesamt 6 Therophyten unter diesen neuen Arten befanden. Ein Therophyt ist eine nur eine Vegetationsperiode lebende und nur einmal blühende bzw. fruchtende, krautige Pflanze, die keine Überdauerungsknospen bildet und den Winter als Samen oder Rosette überdauert. Es handelte sich um die beiden bereits ein Jahr nach dem Abbrennen vorhandenen Therophyten *Galeopsis ladanum* und *Verbascum thapsus ssp. montanum* sowie um die vier fünf Jahre nach dem Abbrennen neu vorgefundenen Therophyten *Arabis hirsuta*, *Gentiana campestris ssp. campestris*, *Sedum atratum* und *Senecio viscosus*. Daneben hatte sich eine Reihe an weiteren Arten der umliegenden Alpweiden sowie weiterer Lebensräume auf den Untersuchungsflächen angesiedelt.

Fünf Jahre nach dem Abbrennen fehlten im Vergleich zum Ausgangszustand insgesamt nur 5 Pflanzenarten. Bei den fehlenden Arten handelte es sich um die beiden Straucharten *Juniperus sabina* und *Larix decidua*, die sich auch nach fünf Jahren nicht neu auf den Untersuchungsflächen angesiedelt hatten, was erwünscht ist. Zudem handelte es sich um die Arten *Carum carvi*, *Phyteuma orbiculare* und *Urtica dioica*. Diese drei Arten kamen im Ausgangszustand vor dem Abbrennen jeweils nur auf einer Untersuchungsfläche mit sehr geringer Deckung vor. Bei *Urtica dioica* handelt es sich um eine atypische Art in Alpweiden.

Die Störung durch das Feuer führte zu einem geringen kurzfristigen Artenverlust auf den Untersuchungsflächen. Mittelfristig konnten sich jedoch die meisten dieser verschwundenen Arten wieder auf den Untersuchungsflächen ansiedeln. Bereits ein Jahr nach dem Abbrennen hatten sich 8 neue Arten auf den Untersuchungsflächen etabliert. Fünf Jahre nach dem Abbrennen konnten sogar 19 neue Arten auf den Untersuchungsflächen festgestellt werden. Das Abbrennen der verbuschten Alpweiden führte somit mittel- bis langfristig nicht zu einem Artenverlust, sondern ermöglichte die Ansiedlung von zahlreichen neuen Arten und trug somit zu einer Zunahme der pflanzlichen Vielfalt auf den Alpweiden bei.

3.3.2.7 Entwicklung der Gesamtverbuschung

Die mittels Drohnen-Luftbildaufnahmen erfassten Flächenanteile der Verbuschung auf den Brennflächen in den verschiedenen Jahren sind der nachfolgenden Tabelle 7 zu entnehmen.

Tabelle 7: Entwicklung der Gesamtverbuschung auf den Brennflächen (BF) 2018 bis 2025.

BF	Gesamtverbuschung (Verbuschungsgrad) 2018 ein Jahr vor dem Abbrennen	Anteil abgebrannte Verbuschung an Gesamtverbuschung 2020 / 2021 ein Jahr nach dem Abbrennen	Anteil Wiederverbuschung an zuvor abgebrannter Verbuschung 2025 fünf (bzw. sechs) Jahre nach dem Abbrennen
A	67 %	69 %	0.1 %
B	66 %	91 %	0.5 %
C	60 %	80 %	2.8 %
D	65 %	71 %	1.2 %
E	85 %	96 %	1.4 %
F	56 %	8 %	2.0 %
G	60 %	19 %	0.5 %
I	61 %	78 %	0.1 %
J	62 %	60 %	1.2 %

Der Anteil der Wiederverbuschung zeigt an, auf welchen Flächen, die zuvor abgebrannt wurden, sich nach fünf (resp. sechs Jahren) wieder Verbuschung etablieren konnte. Mit Werten zwischen 0.1-2.8 % auf den neun Brennflächen ist dieser Anteil insgesamt sehr gering. Bemerkenswert ist, dass sich nicht die abgebrannten *Juniperus*-Arten (Zwergwacholder oder Stinkwacholder) wieder auf den Flächen etablierten, sondern vereinzelt *Rhododendron ferrugineum*, die rostblättrige Alpenrose, wieder aufkam (Abbildung 23) und mit *Berberis vulgaris*, der Gemeinen Berberitze, vor allem eine neue Strauchart hinzukam (Abbildung 24).

Abbildung 23: Fünf Jahre nach dem kontrollierten Brennen neu aufgekommene rostblättrige Alpenrose (*Rhododendron ferrugineum*), an der Stelle, an der zuvor ein Zwergwacholder (*Juniperus communis* ssp. *alpina*) stand.



Abbildung 24: Fünf Jahre nach dem kontrollierten Brennen neu aufgekommene gemeine Berberitze (*Berberis vulgaris*), an der Stelle, an der zuvor ein Zwergwacholder (*Juniperus communis* ssp. *alpina*) stand.



3.3.3 Zusammenfassung / Schlussfolgerungen

Brandauswirkungen: Mit dem kontrollierten Abbrennen der verbuschten Alpweiden konnten die Sträucher erfolgreich entfernt werden, während die krautige Vegetation nur wenig beeinträchtigt wurde. Folglich wirkte das Feuer sehr selektiv, indem es die Sträucher schädigt und die restliche Vegetation schonte. Die pflanzliche Vielfalt hat auf den Untersuchungsflächen deutlich zugenommen.

Erosionsanfälligkeit: Die Erosionsanfälligkeit der Hänge nach dem kontrollierten Abbrennen wird als niedrig eingestuft. Die sich rasch ausbreitende krautige Vegetation sowie Streu, Totholz und Steine bedecken die Bodenoberfläche. Daher ist auch nach dem Abbrennen der Sträucher wenig offener Boden vorhanden, was die Hangstabilität begünstigt.

Regenerationsfähigkeit der krautigen Vegetation: Die krautige Vegetation hat das Feuer gut überstanden. Bereits in der ersten Vegetationsperiode nach dem Abbrennen erholen sich die krautigen Pflanzenbestände gut. Auf den freigebrannten Flächen herrschen ideale Wachstumsbedingungen: eine vegetationsfreie Fläche für eine Neuansiedlung, viel Licht, eine hohe Nährstoffverfügbarkeit. Entsprechend wird ein üppiger Wuchs der neu etablierten Pflanzen beobachtet. Es bildet sich rasch eine relativ geschlossene Vegetationsdecke.

Wiederherstellung von artenreichen Alpweiden: Das Ziel des kontrollierten Abbrennens von verbuschten Alpweiden in der Praxis ist die Wiederherstellung der ursprünglichen Alpweiden mit ihrer charakteristischen Artenzusammensetzung als Futtergrundlage für die Sömmerungstiere. Die Vegetationsuntersuchungen zeigen, dass nach erfolgreichem Abbrennen die ursprünglichen Alpweiden mit geeigneten Futterpflanzen wiederhergestellt werden konnten.

Teile der Alpweiden im Raum Zermatt sind im Inventar der Trockenwiesen und -weiden von nationaler Bedeutung enthalten. Bei Trockenwiesen und -weiden handelt es sich um landwirtschaftlich genutzte Wiesen- und Weidebestände, welche sehr artenreich sind und abhängig vom jeweiligen Standort eine charakteristische Artenzusammensetzung aufweisen. Vielerorts, und so auch im Raum Zermatt, sind diese schützenswerten Lebensräume durch die zunehmende Verbuschung bedroht.

Die beiden Brennflächen A und B sind fast vollständig von inventarisierten Trockenwiesen und -weiden umschlossen. In der näheren Umgebung der drei Brennflächen C, D und E sind ebenfalls inventarisierte Trockenwiesen und -weiden vorhanden. Die Vegetationsuntersuchungen zeigen, dass auf den fünf Brennflächen am Südhang charakteristische Pflanzenarten der angrenzenden Trockenwiesen und -weiden sowohl vor, wie auch nach dem Brennen vorhanden sind. Nach dem Brennen konnten diese Arten an den genannten Standorten an Vorkommen und Vielfalt deutlich zunehmen. Die Pflanzenbestände haben sich somit über die gesamte Untersuchungsperiode mehrheitlich in Richtung von Trockenwiesen und -weiden entwickelt, auch wenn sich die Vegetation nach fünf Jahren immer noch deutlich von jener der umliegenden Trockenwiesen und -weiden unterscheidet.

3.3.4 Anhang Kapitel Vegetation / Verbuschung

Tabelle 8: Erwähnte Pflanzenarten mit wissenschaftlichem und deutschem Namen.

Wissenschaftlicher Name	Deutscher Name
<i>Achillea millefolium</i>	Gewöhnliche Wiesen-Schafgarbe
<i>Acinos alpinus</i>	Alpen-Steinquendel
<i>Alchemilla pentaphyllea</i>	Schneetälchen-Frauenmantel
<i>Androsace obtusifolia</i>	Stumpfpblättriger Mannsschild
<i>Antennaria dioica</i>	Gemeines Katzenpfötchen
<i>Anthericum liliago</i>	Astlose Graslilie
<i>Anthoxanthum odoratum</i>	Duftendes Ruchgras
<i>Anthyllis vulneraria ssp. valesiaca</i>	Walliser Wundklee
<i>Arabis hirsuta</i>	Gewöhnliche Rauhaar-Gänsekresse
<i>Arctostaphylos uva-ursi</i>	Immergrüne Bärentraube
<i>Arnica montana</i>	Arnika
<i>Artemisia campestris ssp. alpina</i>	Alpen-Feld-Beifuss
<i>Aster alpinus</i>	Alpen-Aster
<i>Berberis vulgaris</i>	Gewöhnliche Berberitze
<i>Biscutella laevigata</i>	Glattes Brillenschötchen
<i>Botrychium lunaria</i>	Echte Mondraute
<i>Brachypodium pinnatum aggr.</i>	Fieder-Zwenke
<i>Briza media</i>	Mittleres Zittergras
<i>Bupleurum ranunculoides ssp. caricinum</i>	Grasblättriges Hahnenfuss-Hasenohr
<i>Calamagrostis villosa</i>	Wolliges Reitgras
<i>Campanula barbata</i>	Bärtige Glockenblume
<i>Campanula cenisia</i>	Mont Cenis-Glockenblume
<i>Campanula scheuchzeri</i>	Scheuchzers Glockenblume
<i>Carduus defloratus ssp. defloratus</i>	Gewöhnliche Berg-Distel
<i>Carex atrata ssp. atrata</i>	Gewöhnliche Trauer-Segge
<i>Carex flacca</i>	Schlaffe Segge
<i>Carex humilis</i>	Niedrige Segge
<i>Carex parviflora</i>	Kleine Trauer-Segge
<i>Carex sempervirens</i>	Immergrüne Segge
<i>Carlina acaulis ssp. caulescens</i>	Silberdistel
<i>Carum carvi</i>	Kümmel
<i>Centaurea scabiosa ssp. alpestris</i>	Alpen-Skabiosen-Flockenblume
<i>Cerastium arvense ssp. strictum</i>	Aufrechtes Acker-Hornkraut
<i>Cotoneaster integerrimus</i>	Kahle Steinmispel
<i>Dactylis glomerata</i>	Wiesen-Knäuelgras
<i>Daphne mezereum</i>	Echter Seidelbast
<i>Dianthus carthusianorum ssp. carthusianorum</i>	Gewöhnliche Kartäuser-Nelke
<i>Dianthus sylvestris</i>	Stein-Nelke
<i>Draba dubia</i>	Gletscher-Felsenblümchen
<i>Dryas octopetala</i>	Silberwurz

<i>Epilobium angustifolium</i>	Wald-Weidenröschen
<i>Equisetum arvense</i>	Acker-Schachtelhalm
<i>Euphorbia cyparissias</i>	Zypressenblättrige Wolfsmilch
<i>Euphrasia minima</i>	Zwerg-Augentrost
<i>Festuca ovina</i> aggr.	Schaf-Schwingel
<i>Festuca rubra</i> aggr.	Rot-Schwingel
<i>Festuca violacea</i> aggr.	Violetter Schwingel
<i>Galeopsis ladanum</i>	Acker-Hohlzahn
<i>Galium pumilum</i>	Niedriges Labkraut
<i>Gentiana campestris</i> ssp. <i>campestris</i>	Feld-Enzian
<i>Gentiana verna</i>	Frühlings-Enzian
<i>Geranium rivulare</i>	Blassblütiger Storchschnabel
<i>Globularia cordifolia</i>	Herzblättrige Kugelblume
<i>Gnaphalium norvegicum</i>	Norwegisches Ruhrkraut
<i>Helianthemum alpestre</i>	Alpen-Sonnenröschen
<i>Helianthemum nummularium</i> ssp. <i>grandiflorum</i>	Grossblütiges Sonnenröschen
<i>Helictotrichon pubescens</i>	Flaum-Wiesenhafer
<i>Hieracium peletierianum</i>	Lepeletiers Habichtskraut
<i>Hippocrepis comosa</i>	Schopfiger Hufeisenklee
<i>Juncus jacquinii</i>	Jacquins Binse
<i>Juniperus communis</i> ssp. <i>alpina</i>	Zwergwacholder
<i>Juniperus sabina</i>	Stinkwacholder
<i>Koeleria macrantha</i>	Grossblütige Pyramiden-Kammschmiele
<i>Larix decidua</i>	Europäische Lärche
<i>Laserpitium halleri</i>	Hallers Laserkraut
<i>Laserpitium latifolium</i>	Breitblättriges Laserkraut
<i>Laserpitium siler</i>	Berg-Laserkraut
<i>Loiseleuria procumbens</i>	Alpenazalee
<i>Lotus corniculatus</i> var. <i>hirsutus</i>	Behaarter Gewöhnlicher Hornklee
<i>Minuartia recurva</i>	Krummblättrige Miere
<i>Molinia caerulea</i>	Blaues Pfeifengras
<i>Myosotis alpestris</i>	Alpen-Vergissmeinnicht
<i>Nardus stricta</i>	Borstgras
<i>Nigritella rhellicani</i>	Schwarzes Männertreu
<i>Oxytropis campestris</i>	Alpen-Spitzkiel
<i>Phleum rhaeticum</i>	Rätisches Alpen-Lieschgras
<i>Phyteuma betonicifolium</i>	Betonienblättrige Rapunzel
<i>Phyteuma orbiculare</i>	Rundköpfige Rapunzel
<i>Pinus cembra</i>	Arve
<i>Plantago serpentina</i>	Schlangen-Wegerich
<i>Poa angustifolia</i>	Schmalblättriges Wiesen-Rispengras
<i>Polygala alpestris</i>	Voralpen-Kreuzblume
<i>Polygala chamaebuxus</i>	Buchsblättrige Kreuzblume
<i>Potentilla crantzii</i>	Crantz' Fingerkraut

<i>Pulsatilla halleri</i>	Hallers Anemone
<i>Pyrola minor</i>	Kleines Wintergrün
<i>Rhinanthus glacialis</i>	Grannen-Klappertopf
<i>Rhododendron ferrugineum</i>	Rostblättrige Alpenrose
<i>Rumex scutatus</i>	Schildblättriger Ampfer
<i>Salix herbacea</i>	Kraut-Weide
<i>Salix retusa</i>	Stumpfblättrige Weide
<i>Salix serpyllifolia</i>	Quendelblättrige Weide
<i>Sanguisorba minor ssp. minor</i>	Gewöhnlicher Kleiner Wiesenknopf
<i>Saxifraga bryoides</i>	Moosartiger Steinbrech
<i>Saxifraga exarata ssp. exarata</i>	Gefurchter Steinbrech
<i>Saxifraga paniculata</i>	Trauben-Steinbrech
<i>Scabiosa lucida</i>	Glänzende Skabiose
<i>Sedum atratum</i>	Dunkler Mauerpfeffer
<i>Selaginella selaginoides</i>	Dorniger Moosfarn
<i>Senecio doricum</i>	Gämswurz-Greiskraut
<i>Senecio viscosus</i>	Klebriges Greiskraut
<i>Sesleria caerulea</i>	Kalk-Blaugras
<i>Silene nutans ssp. nutans</i>	Gewöhnliches Nickendes Leimkraut
<i>Silene vulgaris ssp. glareosa</i>	Alpen-Klatschnelke
<i>Solidago virgaurea ssp. minuta</i>	Alpen-Goldrute
<i>Teucrium montanum</i>	Berg-Gamander
<i>Thalictrum foetidum</i>	Stinkende Wiesenraute
<i>Thesium alpinum</i>	Alpen-Bergflachs
<i>Thymus praecox ssp. polytrichus</i>	Gebirgs-Feld-Thymian
<i>Tragopogon pratensis ssp. orientalis</i>	Östlicher Wiesen-Bocksbart
<i>Trifolium alpestre</i>	Hügel-Klee
<i>Trifolium montanum</i>	Berg-Klee
<i>Trifolium pratense ssp. nivale</i>	Schnee-Rot-Klee
<i>Trifolium thalii</i>	Thals Klee
<i>Trisetum distichophyllum</i>	Zweizeiliger Goldhafer
<i>Trisetum flavescens</i>	Wiesen-Goldhafer
<i>Urtica dioica</i>	Grosse Brennnessel
<i>Vaccinium gaultherioides</i>	Kleinblättrige Rauschbeere
<i>Vaccinium vitis-idaea</i>	Preiselbeere
<i>Verbascum thapsus ssp. montanum</i>	Dickblättrige Kleinblütige Königskerze
<i>Veronica fruticans</i>	Felsen-Ehrenpreis
<i>Viola calcarata</i>	Langsporniges Stiefmütterchen

3.4 Brutvögel

Verfasst von Dr. Alain Jacot¹, Emmanuel Revaz¹

¹Schweizerische Vogelwarte

Als separater Bericht vorhanden (Jacot und Revaz, 2026)

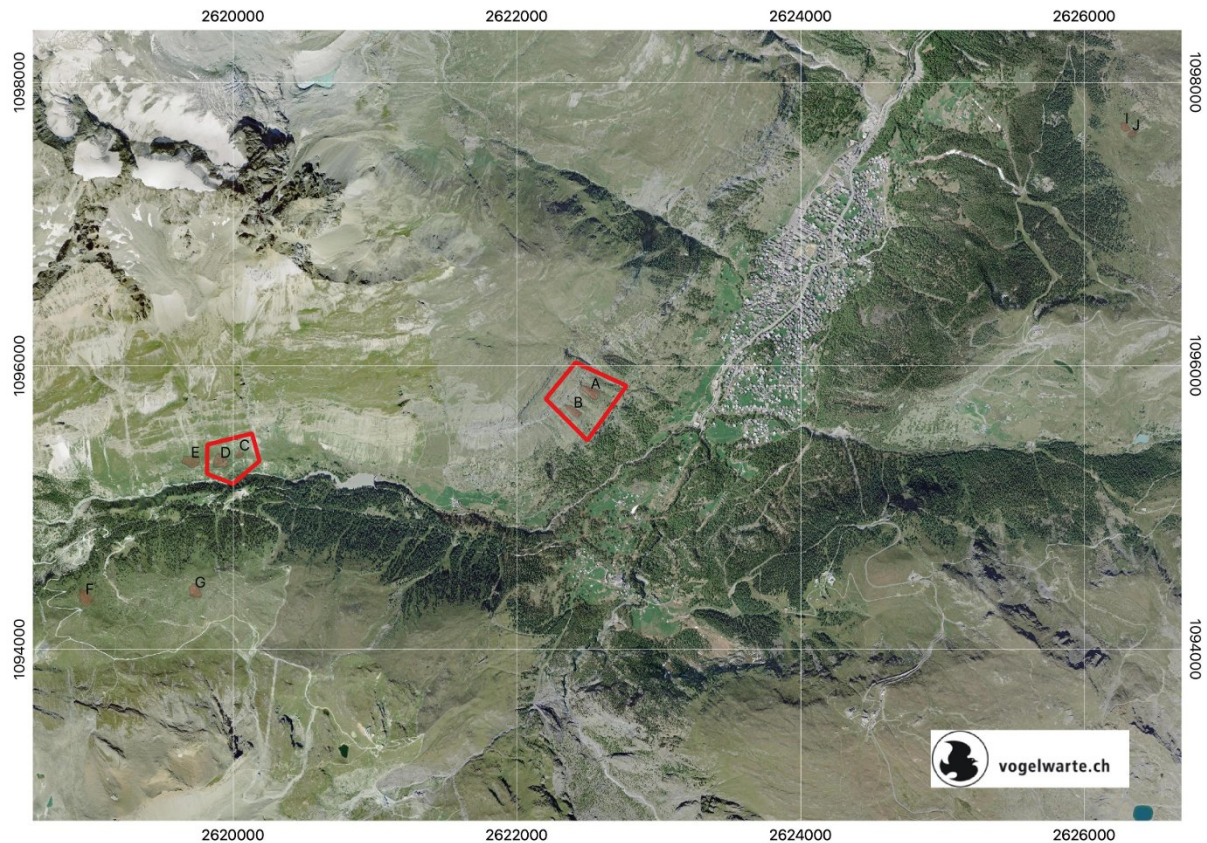
Jacot und Revaz (2018 und 2021) wurden ebenfalls im Rahmen des Projektes bereits publiziert

Ziel der Brutvogeluntersuchungen war es, kurz- bis mittelfristige Veränderungen der Avifauna in abgebrannten Flächen und deren unmittelbarer Umgebung zu dokumentieren und diese Resultate hinsichtlich ihrer Relevanz für den Arten- und Lebensraumschutz einzuordnen.

3.4.1 Material und Methode

Die Bestandsaufnahmen der Brutvögel wurden in den Jahren 2018 (11./12. Juni), 2020 (11./12. Juni) und 2023 (8. & 20. Juni) durch Alain Jacot und Emmanuel Revaz durchgeführt. Im Vergleich zu traditionellen Methoden, in welchen vordefinierte Transekte begangen werden (z.B. Monitoring Häufige Brutvögel MHB, Schmid et al., 2004), wählten wir für diese Studie vordefinierte Beobachtungspunkte am Rande der Brennflächen. Von diesen Punkten aus wurden alle Vogelarten während jeweils 10 Minuten akustisch und optisch punktgenau erfasst, und dies sowohl innerhalb als auch in unmittelbarer Nähe der Brennflächen. Die Revierausscheidung erfolgte anhand der Methodik, welche im «Monitoring Häufige Brutvögel» der Schweizerischen Vogelwarte angewendet wird (Schmid et al., 2004). Im Jahr 2018 wurden 10 potentielle Brennflächen kartiert. Im Jahr 2019 wurden die Brennflächen A, B, C und D abgebrannt. Im Jahr 2020 wurden die Brennflächen E, F, G, I und J abgebrannt. Das Monitoring im Jahr 2020 wurde lediglich in den Flächen A-D durchgeführt. Im Jahr 2023 wurde die Brutvögel in 7 Flächen (A-G) aufgenommen, die vorliegenden Resultate beziehen sich allerdings auf die Flächen A bis E, da die Flächen F und G zu wenig Beobachtungsdaten für aussagekräftige Resultate geliefert haben.

Abbildung 25: Perimeter der Untersuchungsflächen im Raum Zermatt (braune Polygone). Im Jahr 2019 wurden die Flächen A, B, C und D abgebrannt (rote Polygone). Die Flächen E, F, G, I und J wurden im Jahr 2020 abgebrannt. SWISSIMAGE © swisstopo.



3.4.2 Resultate und Diskussion

In den untersuchten Teilflächen wurden im Rahmen der Brutvogelkartierungen verschiedene Brutvogelarten nachgewiesen. Aufgrund der begrenzten Untersuchungsflächen, der insgesamt geringen Brutvogeldichten im subalpinen Raum sowie natürlicher interannueller Bestandsschwankungen ist eine abschliessende Bewertung der gesamten Artengemeinschaft jedoch nur eingeschränkt möglich. Der Schwerpunkt der nachfolgenden Auswertung liegt daher nicht auf einer vollständigen Artenliste, sondern auf ausgewählten Brutvogelarten, die als potenzielle Indikatoren für die Auswirkungen eines kontrollierten Brennens auf den Lebensraum gelten.

Berücksichtigt werden Arten, deren Habitatansprüche eng mit strukturellen Elementen wie Zwergsträuchern, offenen Bodenstellen, Übergangszonen sowie vertikalen Strukturen verknüpft sind oder die in ähnlichen Lebensräumen sensitiv auf Veränderungen der Habitatstruktur reagieren. Dazu zählen das Braunkehlchen (*Saxicola rubetra*), die Klappergrasmücke (*Curruca curruca*), das Steinhuhn (*Alectoris graeca*), der Baumpieper (*Anthus trivialis*), der Bergpieper (*Anthus spinoletta*), der Steinschmätzer (*Oenanthe oenanthe*), der Bluthänfling (*Linaria cannabina*), die Zaunammer (*Emberiza cia*), die Heckenbraunelle

(*Prunella modularis*) sowie der Neuntöter (*Lanius collurio*). Das Birkhuhn (*Tetrao tetrix*) würde grundsätzlich auch als Zielart dieses Projekts gelten, konnte in den Untersuchungsgebieten aber nicht nachgewiesen werden.

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Brutvogelerhebungen aus dem Jahr 2018 (Referenzzustand vor dem Abbrennen) jenen der Erhebungen von 2020 und 2023 gegenübergestellt, um mögliche Veränderungen der Habitatnutzung im zeitlichen Verlauf nach dem kontrollierten Abbrennen zu beurteilen (Tabelle 9).

Tabelle 9: Anzahl ausgeschiedener Reviere in und in unmittelbarer Nähe der jeweiligen Brennflächen in den Jahren 2018, 2020 und 2023. Arten in kursiv stellen Prioritätsarten für die Artenförderung im Wallis dar. Die zwei gelb markierten Spalten widerspiegeln die summierten Brenneffekte der Brennflächen A, B, C, D und E zwischen 2018 und 2023. Die Flächen E wurde erst im Herbst 2020 gebrannt und es fand daher keine Brutvogelkartierungen im 2020 statt.

Vogelart	Brenneffekt			A			B			C			D			E		
	2018	2020	2023	2018	2020	2023	2018	2020	2023	2018	2020	2023	2018	2020	2023	2018	2020	2023
<i>Steinhuhn</i>	0-1	0	0	0	0	0	0-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0
Bergpieper	2	4	2	0	2	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	-	0
Baumpieper	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0
Steinschmätzer	0	0-1	0	0	0-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0
Heckenbraunelle	0-1	0-1	0	0-1	0-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0
<i>Braunkehlchen</i>	6-7	5-7	6-7	2	2	1-2	2	1-2	2	1	1	0	1-2	1-2	1	2	-	2
Klappergrasmücke	4	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	-	0
Zilpzalp	0-1	0	0	0-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0
Alpenmeise	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0-1	-	0
Neuntöter	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0
Bluthänfling	0	0-1	1-2	0	0	0	0	0-1	1	0	0	0	0	0	1	1	-	0
Zippammer	2	2-4	3-4	1	1	1	1	0	1	0	0-1	1	0	1	1	1	-	1

3.4.2.1 Steinhuhn *Alectoris graeca*

Das Steinhuhn besiedelt im Alpenraum vorwiegend südexponierte Hänge oberhalb der Waldgrenze, die durch mosaikartige Strukturen aus Zwergsträuchern, offenen Bodenstellen und Blockfeldern gekennzeichnet sind. In tieferen Lagen konnte für diese Art nach grossflächigen Waldbränden im Wallis eine positive Reaktion festgestellt werden (Rey und Jacot, 2018), was grundsätzlich auf ein gewisses Potenzial von Störungsereignissen für die Habitatqualität hinweist.

Für die untersuchten Brennflächen wurde daher ein eher positiver Effekt des kontrollierten Abbrennens erwartet, vorausgesetzt, dass ein strukturreiches, mosaikartiges Landschaftsbild erhalten bleibt.

Im Rahmen der Brutvogelerhebungen konnte das Steinhuhn jedoch lediglich im Jahr 2018 einmalig in der Brandfläche B nachgewiesen werden. In den Folgejahren 2020 und 2023 gelangen keine Nachweise. Aufgrund der geringen Entdeckungswahrscheinlichkeit dieser schwer erfassbaren Art sowie des einzelnen Nachweises ist eine Beurteilung der Auswirkungen des kontrollierten Abbrennens auf das Steinhuhn nicht möglich. Aus den vorliegenden Daten lassen sich daher weder positive noch negative Effekte der Massnahme für diese Art ableiten.

3.4.2.2 Bergpieper *Anthus spinoletta*

Der Bergpieper ist eine charakteristische Brutvogelart der alpinen und subalpinen Stufe und zeigt eine enge Bindung an offene, kurzrasige Flächen. Entsprechend konzentrierten sich die Reviere auf den Untersuchungsflächen vor allem auf offene Bereiche innerhalb und im Umfeld der Brennflächen. Eine direkte Nutzung dichter Zwergstrauchbestände konnte kaum beobachtet werden.

Für das kontrollierte Abbrennen wurden daher überwiegend positive Effekte erwartet, da die Art von offenen Vegetationsstrukturen und der Zurückdrängung der Verbuschung profitieren kann.

Im Jahr 2018 wurde der Bergpieper mit jeweils einem Revier in den Brennflächen B und C nachgewiesen. Im Jahr 2020 waren diese Reviere erneut besetzt; zusätzlich wurden zwei weitere Reviere innerhalb der Brennfläche A sowie weitere Reviere in unmittelbarer Nähe der Brennflächen festgestellt. Im Jahr 2023 konnte lediglich in Fläche B maximal 1 Brutrevier ausgeschieden werden. Damit ergibt sich über den gesamten Untersuchungszeitraum ein wechselhaftes Bild mit einem kurzfristigen Anstieg nach dem Brennen und anschliessender Abnahme.

Trotz dieser Dynamik ergeben sich keine Hinweise auf langfristig negative Auswirkungen des kontrollierten Abbrennens auf den Bergpieper. Die Ergebnisse deuten vielmehr darauf hin, dass die Art von der durch Feuer und Beweidung geförderten Offenhaltung der Vegetation profitieren kann, sofern ausreichend grössere Offenflächen erhalten bleiben. Aufgrund

natürlicher jährlicher Schwankungen der Bestände und der begrenzten Stichprobengrösse ist eine eindeutige Zuordnung der beobachteten Veränderungen zum Abbrennen schwierig.

3.4.2.3 Baumpieper *Anthus trivialis*

Der Baumpieper brütet in der Schweiz vor allem in locker mit Nadelbäumen bestandenen, extensiv genutzten Weiden und Wiesen der hochmontanen bis subalpinen Stufe. Der Schwerpunkt der Verbreitung liegt in einem Höhenband zwischen rund 900 und 2100 m ü. M. Charakteristisch für geeignete Brutlebensräume ist eine strukturreiche Vegetation mit offenen Bodenstellen sowie einzelnen Bäumen oder Sträuchern, die als Singwarten genutzt werden. Entsprechend wurde für das kontrollierte Abbrennen ein potenziell positiver Effekt erwartet, sofern eine mosaikartige Vegetationsstruktur erhalten bleibt und einzelne Bäume als vertikale Strukturelemente weiterhin vorhanden sind. Im Jahr 2018 konnte der Baumpieper im Untersuchungsgebiet nicht nachgewiesen werden. Im Rahmen der Erhebung 2020 wurden zwei Reviere im Umfeld der Brennflächen A und B festgestellt: Ein singendes, d. h. territoriales Individuum wurde innerhalb der Fläche A registriert, ein weiteres singendes Tier unterhalb der Fläche B. Im Jahr 2023 gelangen hingegen keine Nachweise der Art. Aufgrund der geringen Anzahl von Beobachtungen sowie des fehlenden Nachweises im Jahr 2023 lässt sich keine verlässliche Aussage zu den Auswirkungen des kontrollierten Abbrennens auf den Baumpieper treffen. Die vorliegenden Daten erlauben weder eine Bestätigung eines positiven Effekts noch den Nachweis negativer Auswirkungen der Massnahme auf diese Art.

3.4.2.4 Steinschmätzer *Oenanthe oenanthe*

Der Steinschmätzer bevorzugt kurzrasige Wiesen und Weiden mit offenen Bodenstellen sowie eingestreuten Felsblöcken. Lockere Zwergstrauchbestände werden toleriert, während geschlossene Strauchbestände gemieden werden. Die Art gilt damit als typisch für offene, strukturreiche alpine Lebensräume.

Für das kontrollierte Abbrennen wurde grundsätzlich ein eher positiver Effekt erwartet, sofern eine mosaikartige Vegetationsstruktur mit ausreichend offenen Bereichen erhalten bleibt.

Im Untersuchungsgebiet wurde der Steinschmätzer vor dem Abbrennen im Jahr 2018 nicht nachgewiesen. Erst im Jahr 2020 konnte ein einzelnes Revier knapp ausserhalb einer Brennfläche festgestellt werden. In den Folgejahren lagen keine weiteren gesicherten Brutnachweise vor.

Aufgrund der sehr geringen Anzahl von Beobachtungen lassen sich keine verlässlichen Aussagen zu den Auswirkungen des kontrollierten Abbrennens auf den Steinschmätzer treffen. Der Einzelnachweis im Jahr 2020 ist zwar von Interesse, erlaubt jedoch keine Schlussfolgerung hinsichtlich eines möglichen Effekts der Massnahme.

3.4.2.5 Heckenbraunelle *Prunella modularis*

Die Heckenbraunelle besiedelt in höheren Lagen vor allem strukturreiche Lebensräume mit dichter Boden- und Strauchvegetation. In subalpinen Gebieten ist sie insbesondere an Zwergsträucher und gut entwickelte, geschlossene Vegetationsstrukturen gebunden, die sowohl Deckung als auch geeignete Brutplätze bieten.

Für das kontrollierte Abbrennen wurde daher kein positiver Effekt erwartet, da die Art auf dichte, lebende Strauch- und Bodendeckung angewiesen ist und offene oder stark ausgedünnte Strukturen meidet.

Die Ergebnisse der Erhebungen deuten auf eine negative Tendenz für die Heckenbraunelle in den gebrannten Flächen hin. Nach dem Abbrennen konnte die Art nur noch eingeschränkt oder gar nicht mehr im direkten Bereich der Brennflächen nachgewiesen werden. Diese Entwicklung ist gut nachvollziehbar, da auch verbliebene oder abgestorbene Zwergsträucher offenbar nicht die für die Art notwendigen dichten Versteck- und Brutstrukturen bieten.

Aufgrund der geringen Anzahl von Nachweisen und der insgesamt kleinen Stichprobe sind die Aussagen jedoch mit Vorsicht zu interpretieren. Dennoch weisen die Beobachtungen darauf hin, dass das kontrollierte Abbrennen für stark strauchgebundene Arten wie die Heckenbraunelle mit einem Verlust geeigneter Habitatstrukturen verbunden sein kann und der Erhalt dichter Zwergstrauchbestände in diesen Lebensräumen von zentraler Bedeutung ist.

3.4.2.6 Braunkehlchen *Saxicola rubetra*

Das Braunkehlchen ist eine prioritäre Zielart der Artenförderung der Schweiz und im Kanton Wallis und stellt eine typische Brutvogelart strukturreicher alpiner Offenlandschaften dar. Entsprechend wurde der Fokus der avifaunistischen Beurteilung besonders auf diese Art gelegt.

Vier Jahre nach dem kontrollierten Abbrennen sind Braunkehlchen weiterhin regelmässig auf den untersuchten Flächen nachgewiesen worden. Die Art nutzt sowohl die Brennflächen selbst als auch angrenzende, nicht abgebrannte Bereiche. Besonders häufig wurden Reviere dort festgestellt, wo kleinräumig offene Wiesenflächen mit verbliebenen Zwergsträuchern und einzelnen aufrechten Strukturen kombiniert sind.

Die Beobachtungen bestätigen, dass Braunkehlchen weder vollständig offene noch grossflächig verbuschte Lebensräume bevorzugen. Vielmehr scheint die Art von der durch das Brennen geschaffenen Strukturvielfalt zu profitieren, sofern ausreichend Singwarten und Deckungselemente vorhanden bleiben. Verkohlte, aber noch aufrecht stehende Äste der abgebrannten Zwergwacholder wurden regelmässig als Singwarten genutzt.

Hinweise auf negative Effekte des kontrollierten Abbrennens auf die Brutplatzwahl oder Revierstabilität des Braunkehlchens ergaben sich nicht wirklich. Obwohl eher eine Tendenz zu weniger Revieren vorliegt, legen die Resultate nahe, dass das kontrollierte Abbrennen, in

Kombination mit einer extensiven Beweidung, zur Erhaltung geeigneter Brutlebensräume für diese Art beitragen kann.

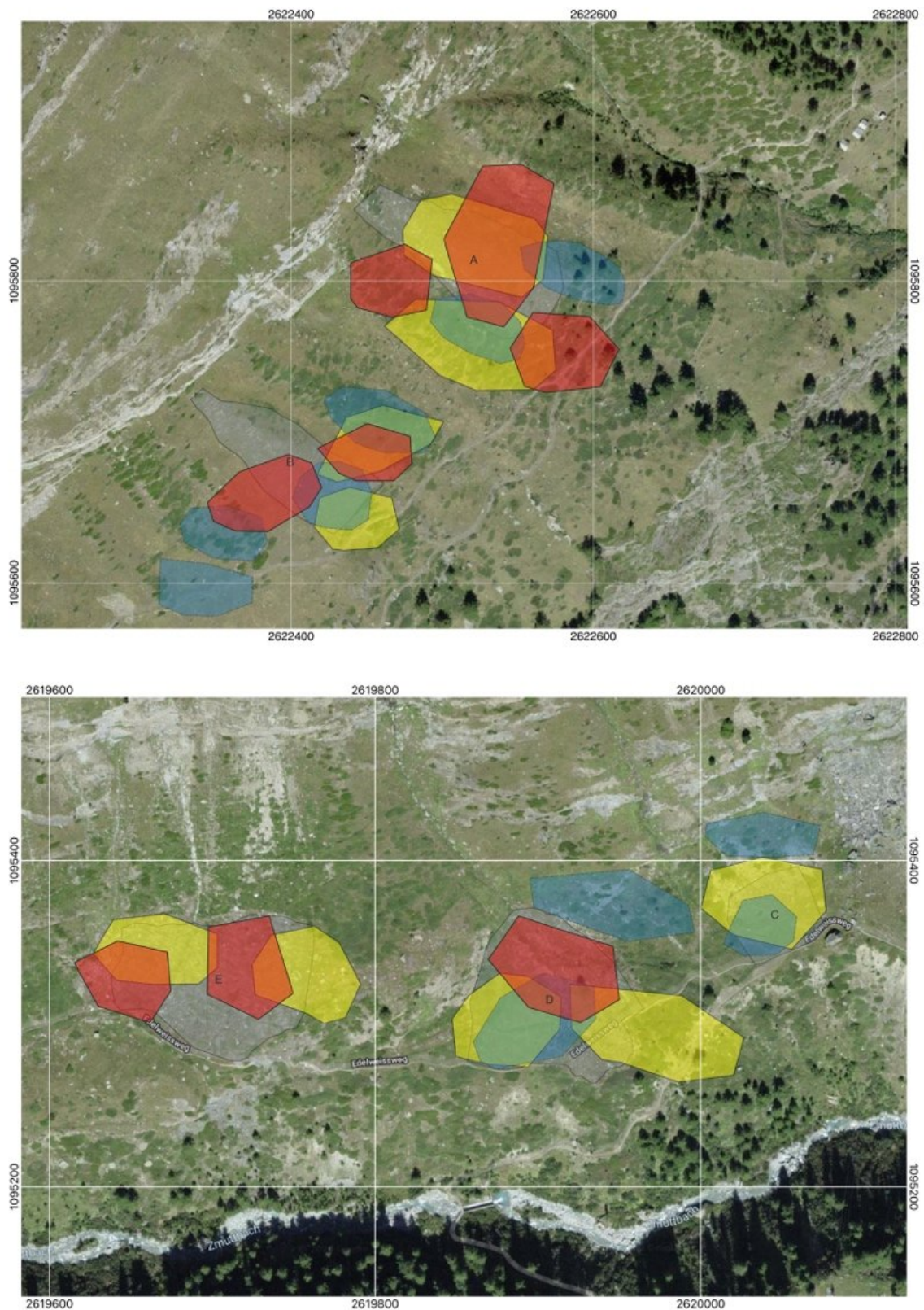


Abbildung 26: Reviere des Braunkehlchens *Saxicola rubetra* in den Jahren 2018 (gelb), 2020 (blau) und 2023 (rot) in den abgebrannten Flächen A, B (oben), C und D (unten) (Brennflächen = hellgraue Polygone). SWISSIMAGE © swisstopo.

3.4.2.7 Klappergrasmücke *Sylvia curruca*

Die Klappergrasmücke besiedelt in alpinen und subalpinen Lagen vor allem offene bis halboffene Landschaften mit gut entwickelten, lebenden Zwergstrauchbeständen. Charakteristisch für geeignete Lebensräume sind dichte, strukturreiche Büsche, die sowohl als Brutstandort wie auch als Deckung und Nahrungsraum genutzt werden. Oberhalb der Waldgrenze kommt der Art eine besondere Bedeutung zu, da ihr Hauptlebensraum dort fast ausschliesslich aus Zwergsträuchern besteht.

Aufgrund dieser ausgeprägten Bindung an intakte Strauchstrukturen wurde für das kontrollierte Abbrennen ein negativer Effekt erwartet. Zwar kann eine mosaikartige Öffnung der Vegetation für viele Arten vorteilhaft sein, für buschabhängige Arten wie die Klappergrasmücke ist der Erhalt dichter, lebender Zwergsträucher jedoch eine zentrale Voraussetzung.

Die Ergebnisse der Erhebungen deuten auf eine negative Tendenz für diese Art in den gebrannten Flächen hin (2018: 4 Reviere, 2020 & 2023: 1 Revier). Die Klappergrasmücke konnte nach dem Abbrennen nicht mehr oder nur noch sehr eingeschränkt in den betroffenen Bereichen nachgewiesen werden. Dabei zeigt sich, dass auch abgestorbene oder stark ausgedünnte Zwergsträucher offenbar nicht als gleichwertiger Ersatz für lebende, dichte Büsche akzeptiert werden.

Die beobachtete Entwicklung ist ökologisch gut erklärbar und steht im Einklang mit den bekannten Habitatansprüchen der Art. Als Langstreckenzieher gehört die Klappergrasmücke zudem zu einer Vogelgruppe, die insgesamt stark unter Druck steht. Auch wenn die Art in der Schweiz aktuell keine klare Abnahme erkennen lässt, weist die negative Reaktion auf das Abbrennen auf eine hohe Sensitivität gegenüber Strukturverlusten hin.

Aus naturschutzfachlicher Sicht unterstreichen diese Resultate die Bedeutung intakter Zwergstrauchbestände in alpinen Offenlandschaften. Insbesondere in Habitaten oberhalb der Waldgrenze sollte bei Massnahmen zur Offenhaltung oder Entbuschung gezielt darauf geachtet werden, ausreichend dichte, lebende Strauchstrukturen zu erhalten. Für die Klappergrasmücke, und andere strauchgebundene Arten, stellen diese Strukturen eine unverzichtbare Habitatkomponente dar.

3.4.2.8 Neuntöter *Lanius collurio*

Der Neuntöter ist in der Schweiz vorwiegend ein Brutvogel tieferer und mittlerer Lagen, wo er als Charakterart strukturreicher Offenlandschaften mit niedrigen, dichten Dornhecken, Gebüsch und offenen Jagdflächen auftritt. Typisch sind mosaikartige Lebensräume mit einem Wechsel von Sträuchern, Einzelbäumen und kurzrasigen Wiesen oder Trockenrasen.

In den untersuchten alpinen Brennflächen wurde für diese Art grundsätzlich kein negativer Effekt des kontrollierten Abbrennens erwartet. Im Gegenteil könnte eine kleinräumig strukturierte Landschaft mit einzelnen Strauchgruppen und offenen Bereichen potenziell

geeignete Habitatbedingungen bieten, sofern ausreichend Deckungs- und Sitzwarten vorhanden sind.

Der einmalige Nachweis eines Neuntöters im Jahr 2018 in der Brennfläche D ist bemerkenswert und stellt einen der höchsten Brutzeitnachweise dieser Art in der Schweiz dar. In den Folgejahren 2020 und 2023 konnte der Neuntöter im Untersuchungsgebiet nicht mehr festgestellt werden.

Aufgrund dieses einzelnen Nachweises und der fehlenden Beobachtungen in den Folgejahren lassen sich keine belastbaren Aussagen zu den Auswirkungen des kontrollierten Abbrennens auf diese Art ableiten. Der Befund ist dennoch von Interesse, da er auf das potenzielle Nutzungsspektrum mosaikartiger, strukturreicher Flächen in höheren Lagen hinweist.

Vor dem Hintergrund des Klimawandels und der für zahlreiche Vogelarten dokumentierten Höhenverschiebungen kann nicht ausgeschlossen werden, dass der Neuntöter künftig vermehrt auch subalpine Lebensräume nutzt, sofern geeignete Strukturen vorhanden sind. Aus methodischer Sicht bleibt der vorliegende Nachweis jedoch ein Einzelbefund ohne Aussagekraft für eine Bewertung der Massnahme.

3.4.2.9 Bluthänfling *Linaria cannabina*

In höheren Lagen besiedelt der Bluthänfling verschiedene offene bis halboffene Lebensräume, insbesondere mit Zwergsträuchern durchsetzte Trockenhänge sowie Übergangsbereiche zwischen Wald und Zwergstrauchvegetation. Wie viele Arten der offenen Kulturlandschaft ist der Bluthänfling von der fortschreitenden Intensivierung der Landwirtschaft betroffen, was auch in montanen und subalpinen Lagen zu Bestandsrückgängen geführt hat.

Für das kontrollierte Abbrennen wurde erwartet, dass eine mosaikartige Vegetationsstruktur mit offenen Bereichen und Zwergsträuchern grundsätzlich geeignete Bedingungen für die Art schaffen könnte.

Während vor dem Brennen keine Brutnachweise vorlagen, konnten in den Folgejahren bis zu zwei Brutpaare im Umfeld der Brennflächen festgestellt werden. Dies deutet auf eine zumindest lokal positive Entwicklung, respektive Akzeptanz der abgebrannten Flächen hin. Die Interpretation dieser Beobachtungen ist jedoch mit Vorsicht vorzunehmen, da der Bluthänfling eine relativ hohe Mobilität aufweist, sehr kleine Reviere besitzt und während der Brutzeit oft umherstreift, was die Kartierbarkeit einschränkt.

Insgesamt deuten die Ergebnisse dennoch darauf hin, dass die durch das kontrollierte Abbrennen geschaffenen, strukturreichen Mosaike von der Art genutzt werden und zumindest keine negativen Effekte auf den Bluthänfling zu erwarten sind.

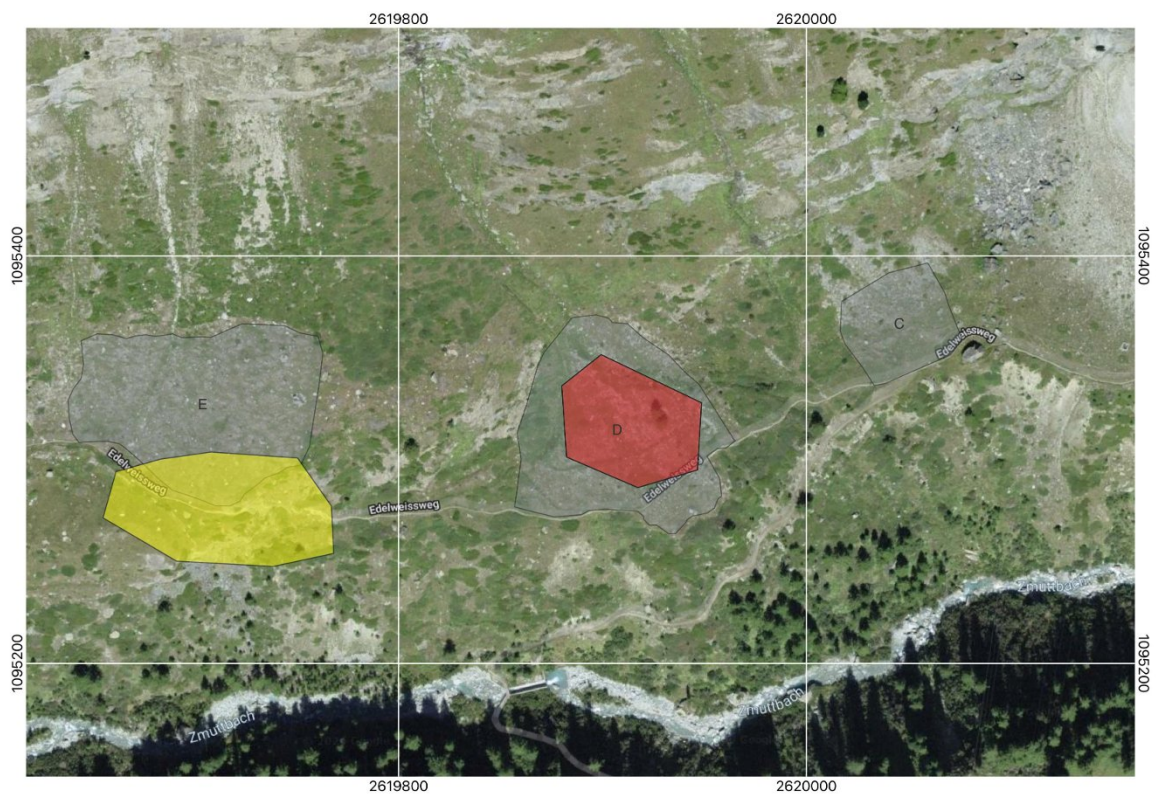
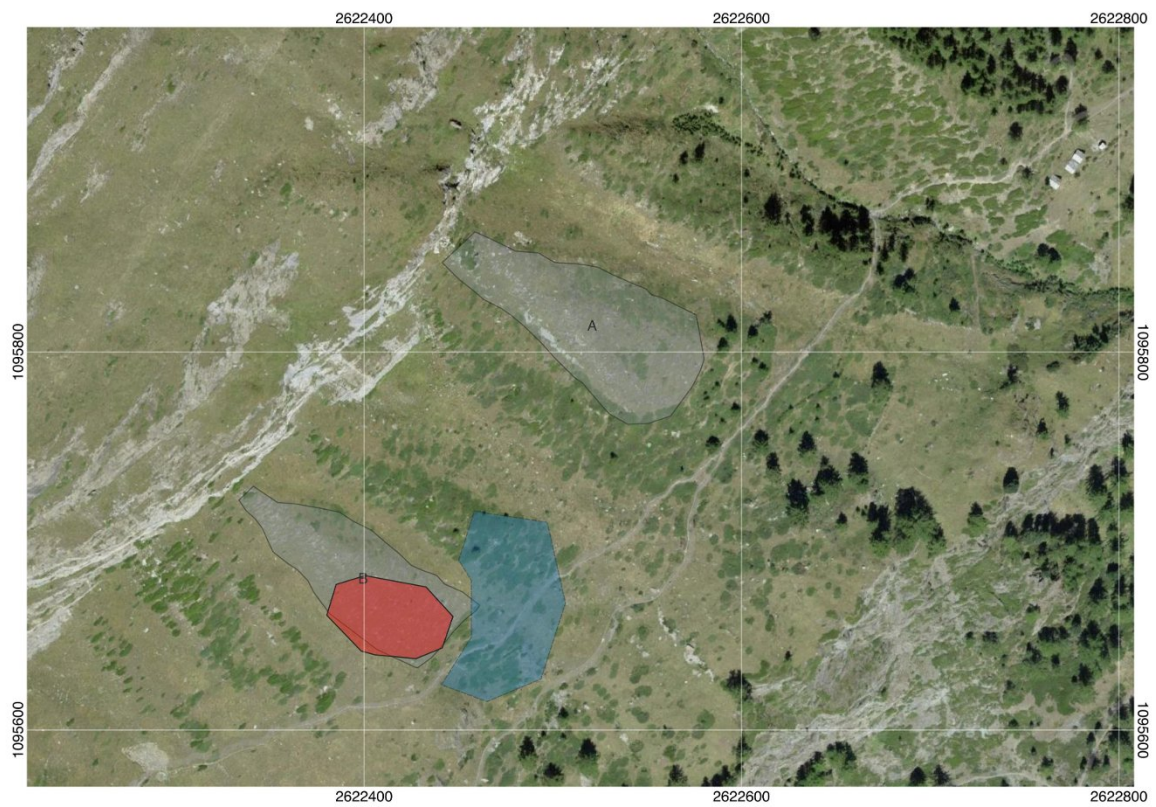


Abbildung 27: Reviere des Bluthänflings *Linaria cannabina* in den Jahren 2018 (gelb), 2020 (blau) und 2023 (rot) in den Brennfläche A und B (oben), C und D und E (unten) (Brennflächen = hellgraue Polygone). SWISSIMAGE © swisstopo.

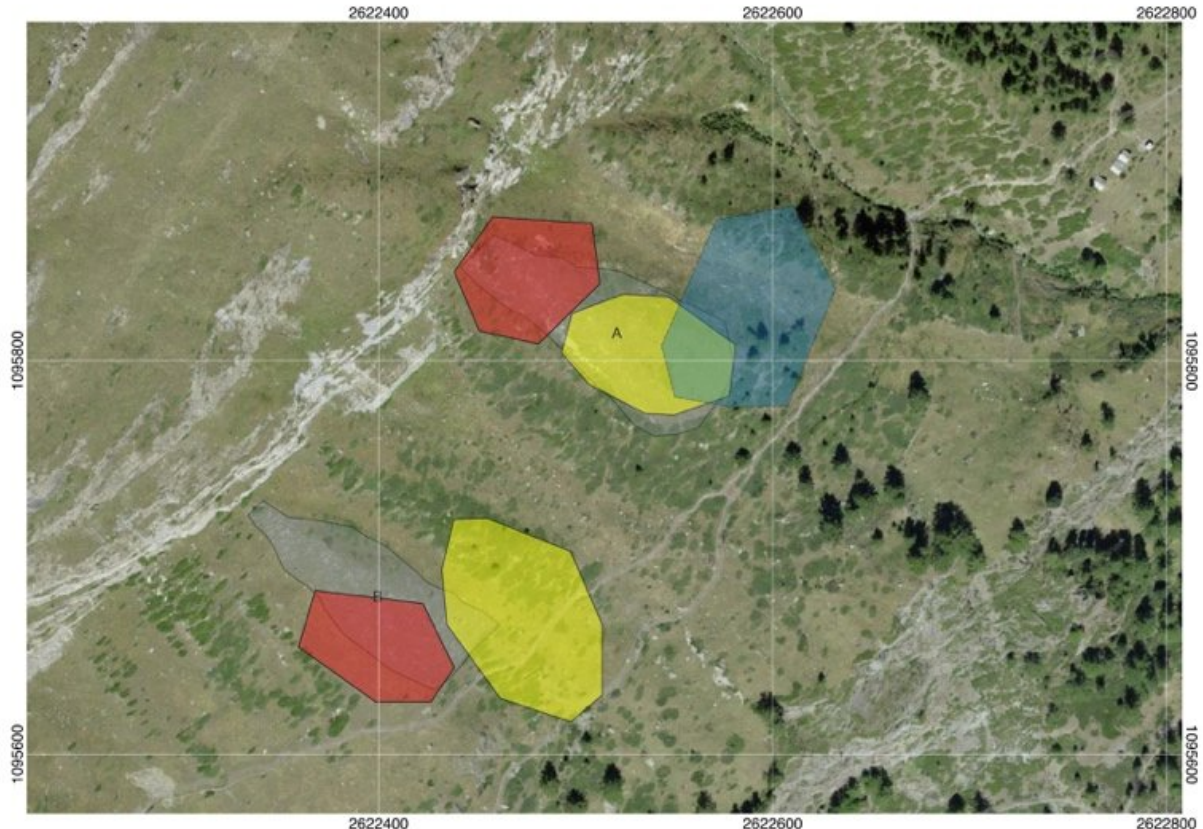
3.4.2.10 Zippammer *Emberiza cia*

Die Schweiz liegt am nördlichen Rand des Brutareals der wärmeliebenden Zippammer. Die Art besiedelt bevorzugt felsige, südexponierte und spärlich bewachsene Trockenhänge und ist eine Prioritätsart der Artenförderung im Kanton Wallis. Eine hohe Verfügbarkeit von Singwarten stellt ein zentrales Habitatmerkmal dar.

Entsprechend wurde erwartet, dass eine mosaikartige Vegetationsstruktur mit offenen Bereichen und einzelnen vertikalen Strukturen für die Art geeignet ist.

Die Ergebnisse der Kartierungen zeigen, dass die Zippammer die gebrannten Flächen auch nach dem kontrollierten Abbrennen weiterhin nutzt. Die bestehenden Reviere blieben über die Jahre hinweg besetzt, zudem wurden in späteren Erhebungen zusätzliche Reviere in oder in unmittelbarer Nähe weiterer Brennflächen festgestellt. Insgesamt blieb der Bestand stabil oder zeigte sogar eine leichte Zunahme.

Die Beobachtungen deuten darauf hin, dass das kontrollierte Abbrennen – sofern Singwarten und strukturreiche Elemente erhalten bleiben, keine negativen Auswirkungen auf die Zippammer hat und geeignete Habitatbedingungen für diese Art schaffen kann.



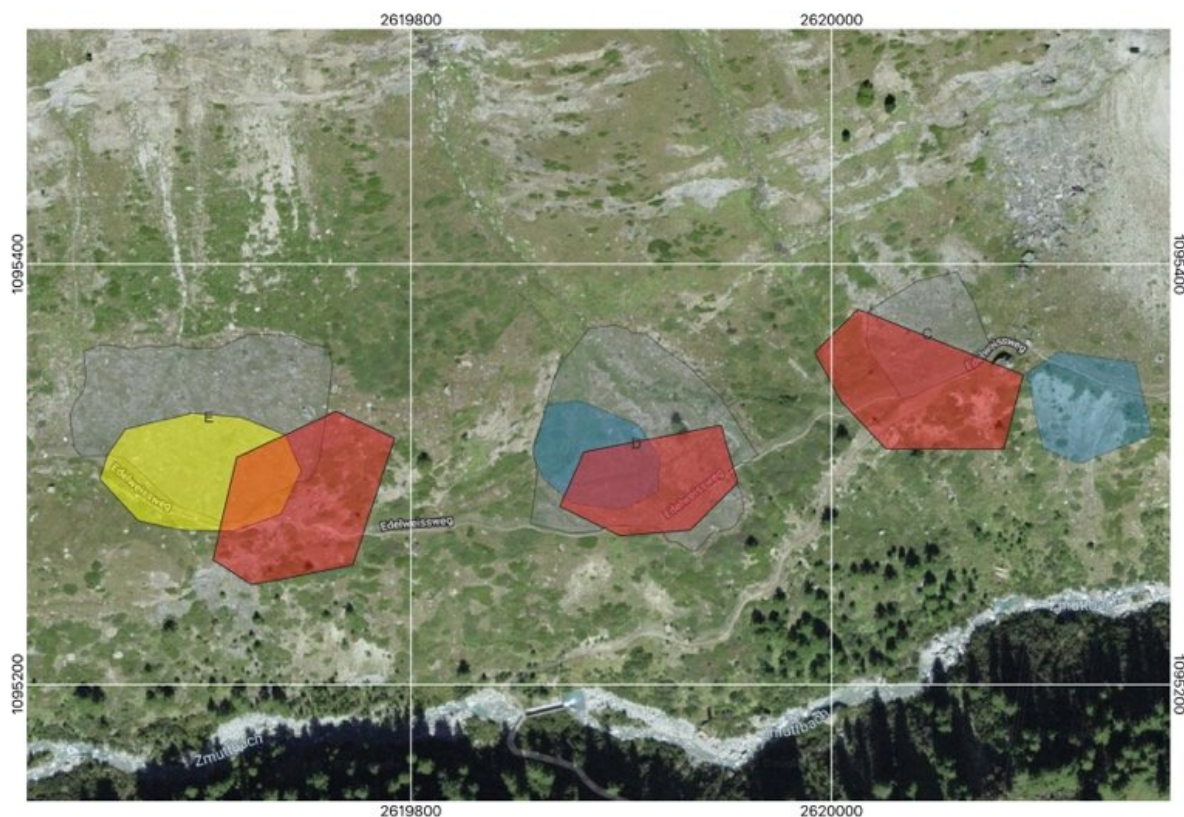


Abbildung 28: Reviere der Zippammer *Emberiza cia* in den Jahren 2018 (gelb), 2020 (blau) und 2023 (rot) in den abgebrannten Flächen A, B (oben) und C, D und E (unten) (Brennflächen = hellgraue Polygone). SWISSIMAGE © swisstopo.

3.4.3 Schlussbemerkung

Die vorliegenden Ergebnisse deuten darauf hin, dass die aus dem Abbrennen hervorgehende Habitatstruktur entscheidend ist für die Nutzung durch Brutvögel. Zahlreiche Arten der subalpinen Stufe, insbesondere prioritäre Zielarten wie das Braunkehlchen, sind auf ein feinräumiges Mosaik aus kurzrasigen Bereichen, einzelnen Zwergsträuchern sowie vertikalen Strukturen angewiesen. Grossflächig homogene Bestände, unabhängig davon, ob sie stark verbuscht oder vollständig offen sind, weisen demgegenüber häufig ein geringeres Potenzial für artenreiche Brutvogelgemeinschaften auf.

Rolle des kontrollierten Abbrennens

Das kontrollierte Abbrennen erwies sich als potenziell geeignetes Instrument zur Öffnung stark verbuschter Alpweiden. Vier Jahre nach dem Brennen ist erkennbar, dass die Massnahme zur Förderung kleinräumiger Strukturvielfalt beitragen kann. Gleichzeitig zeigen die Resultate, dass der ökologische Nutzen des Feuers stark vom Ausmass sowie von der räumlichen Ausgestaltung des Brandes abhängt. Ein zu hoher Anteil vollständig abgebrannter Zwergstrauchbestände kann kurzfristig zu einem Mangel an Singwarten und Deckungsstrukturen führen. Dies war bei der überwiegend vorkommenden Zwergwacholderverbuschung aber nie der Fall. Vielmehr blieben immer die verkohlten Äste des Zwergwacholders nach dem kontrollierten Abbrennen als vertikale Struktur stehen.

Bedeutung verbleibender Zwergsträucher

Die Nutzung der verkohlten und abgestorbenen, aber weiterhin aufrecht stehender Zwergstrauchäste durch mehrere Brutvogelarten verdeutlicht die funktionale Bedeutung solcher Strukturen. Sie dienen als wichtige Singwarten, Warten bei der Nahrungssuche und möglicherweise auch als essentielle Struktur zum Bau des Nests. Beim Zwergwacholder ergeben sich diese wertvollen Strukturen nach dem Abbrennen ganz von selbst. Aus naturschutzfachlicher Sicht ist es zentral, dass diese noch bestehenden, verkohlten Äste der abgebrannten Zwergsträucher nach dem Feuer nicht vollständig entfernt werden, sondern soweit möglich mit einem Mindestdeckungsgrad von rund 20 % im Gelände verbleiben.

Wechselwirkung der Brutvögel mit der Beweidung

Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass eine extensive Beweidung grundsätzlich mit den Habitatansprüchen der untersuchten Brutvogelarten vereinbar ist. Die meisten festgestellten Arten, einschliesslich des Braunkehlchens, legen ihre Nester bevorzugt in strukturreicher Randvegetation, im vorliegenden Fall wahrscheinlich in Zwergsträuchern, an und sind daher vermutlich nur eingeschränkt direkt von der Beweidung betroffen. Entscheidend ist eine Bewirtschaftungsform, welche die entstandene Strukturvielfalt langfristig erhält und einer erneuten flächigen Verbuschung entgegenwirkt. Durch eine zeitliche Staffelung der Beweidung könnte der Druck auf Bodenbrüter eventuell reduziert werden, so dass die Nester nicht von Weidetieren zertrampelt werden.

Schlussbewertung, Limitierung der Aussagekraft und Ausblick

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass das kontrollierte Abbrennen ein wirksames, ergänzendes Instrument zur Bekämpfung der Verbuschung darstellen kann, sofern es in ein integrales Bewirtschaftungskonzept, insbesondere in Kombination mit der Beweidung, eingebettet ist. Das Ziel besteht nicht in der vollständigen Entfernung von Gehölzen, sondern in der Wiederherstellung und Erhaltung strukturreicher Mosaiklandschaften. Die Interpretation der Resultate ist allerdings durch mehrere Faktoren eingeschränkt. Dazu zählen die geringe Anzahl untersuchter Brennflächen, die geringe Grösse der Brennflächen, die insgesamt niedrige Dichte von Brutvögeln im subalpinen Raum sowie natürliche jährliche Bestandsschwankungen.

Aufgrund der Komplexität der Massnahme und der potenziellen Risiken sollte das kontrollierte Abbrennen ausschliesslich durch entsprechend ausgebildete Fachpersonen geplant und durchgeführt werden. Eine sorgfältige Standortbeurteilung sowie eine klare Zieldefinition sind dabei unerlässlich.

Um belastbarere Aussagen zu mittel- und langfristigen Effekten treffen zu können, sind zusätzliche Daten erforderlich. Insbesondere angewandte Forschungsprojekte mit grösserer Flächenabdeckung und längeren Beobachtungszeiträumen könnten wesentlich dazu beitragen, die Rolle des Feuers im Management alpiner Lebensräume fundierter zu beurteilen.

4 Synthese

Der mehrjährige Versuch zum kontrollierten Abbrennen von verbuschten Alpweiden in Zermatt zeigt auf, dass Verbuschung auf Alpweiden mit einem hohen Anteil von Zwergwacholder **erfolgreich reguliert** werden kann und das ohne mehrfaches Anzünden oder zusätzliche Brennhilfsmittel. Nach dem kontrollierten Abbrennen entwickelten sich **struktureiche Alpweiden**, die sich durch eine deutlich **reduzierte Verbuschung**, eine **erhöhte Futterquantität und -qualität**, eine **erhöhte Artenvielfalt** und damit **attraktivere Lebensraumbedingungen** für verschiedene Arten auszeichnet.

Diese aus alpwirtschaftlicher, sowie aus natur- und artenschutzfachlicher Sicht sehr erfreuliche Entwicklung liegt darin begründet, dass der Zwergwacholder durch das kontrollierte Brennen nachhaltig Schaden nimmt, während die sogenannte «krautige Vegetation», also auch die Futterpflanzen das Brennen in Form ihrer Überdauerungsorgane im Boden überstehen, resp. sich durch noch vorhandene Samen im Boden wieder etablieren können. Die verkohlen und abgestorbenen Äste des Zwergwacholders sind anfangs zwar noch sehr elastisch, sie werden mit den Jahren aber immer spröder und es findet kein erneuter Austrieb aus den Ästen statt. Stattdessen dienen sie bestimmten Vogelarten als wertvolle Sing- und Sitzwarten.

Mit dem kontrollierten Abbrennen können sowohl grossflächige Verbuschung, als auch einzelne Büsche oder kleinere, zusammenhängende Verbuschungsstrukturen reguliert werden. Bei grossflächiger Verbuschung und passendem Standort kann in kurzer Zeit viel Fläche von Verbuschung befreit werden. Der Arbeitsaufwand hängt dabei vor allem von der Flächenvorbereitung in Bezug auf die Sicherheit und von allfälligen Sicherheitsvorkehrungen ab. Die kurzfristigen Auswirkungen in Bezug auf die Natur sind bei grossflächiger Verbuschung entsprechend grösser als bei Einzelbüschen und kleineren zusammenhängenden Verbuschungsstrukturen.

Das kontrollierte Abbrennen wurde **fachgerecht durchgeführt** unter Beachtung von Standort, Zeitpunkt, Brennmethode und Sicherheitsvorkehrungen. Damit wurden mögliche negative Auswirkungen so gering wie möglich gehalten, während die positiven Auswirkungen bestmöglich gebündelt wurden und die Sicherheit gewährleistet blieb.

Was die Luftbelastung während dem Brennen angeht, so wurde der Feinstaub(PM10)-Tagesgrenzwert von $50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ zu keiner Zeit an keiner der Messstationen überschritten und auch im Dorf Zermatt kam es zu keiner Zeit zu einer Feinstaubbelastung, die auf das Abbrennen zurückzuführen war.

Es kann **geschlussfolgert** werden, dass das kontrollierte Abbrennen auf passenden Standorten und bei fachgerechter Durchführung mit hohem Brennerfolg funktioniert und mit der Wiederherstellung struktureicher Alpweiden nicht nur die Alpwirtschaft durch die Produktionsgrundlage für die Sömmerungstiere profitieren kann, sondern in besonderem

Ausmass auch der Natur- und Artenschutz durch ökologisch wertvolle Mosaike und Lebensräume für viele Pflanzen- und Tierarten. Im Vergleich zum Mulchen lassen sich die Bodenbedingungen durch das kontrollierte Abbrennen für die anschliessende Wiederbegrünung verbessern, weil keine zusätzliche Biomasse auf der Fläche zurückbleibt, die in alpinen Höhenlagen in der Regel zu langsam zersetzt wird und dadurch eher wachstumshemmend auf die Wiederbegrünung wirkt. Die Feinstaubbelastungen lassen sich bei fachgerechter Durchführung mit passendem Brennwetter, stabiler Hochdruckwetterlage und oberflächlich gut abgetrocknetem Brennmaterial dabei wohl in einem «nicht übermässigen Rahmen» halten. Somit kann unter Berücksichtigung aller untersuchten Bereiche eine insgesamt **positive Gesamtbilanz** gezogen werden.

5 Empfehlungen für Entscheidungsträger

Abschliessender Teil des Projektes ist es, aus den gemachten Untersuchungen Empfehlungen für Entscheidungsträger abzuleiten in Bezug auf den möglichen Einsatz des kontrollierten Brennens als Regulierungsmassnahme gegen die schweizweit zunehmende Verbuschung im Sömmerungsgebiet.

Damit das kontrollierte Abbrennen eine nachhaltige Regulierungs- bzw. Pflegemassnahme gegen die Verbuschung auf Alpweiden sein kann, ist es essentiell, dass der Rahmen und die Voraussetzungen für die Anwendung einer solchen Massnahme klar abgesteckt werden. Dazu benötigt es auch die entsprechenden rechtlichen Grundlagen.

Aus Sicht des Büro Alpe müssen bei einem Einsatz des kontrollierten Brennens zur Regulierung von Verbuschung auf Alpweiden nachfolgende Vorgaben zwingend erfüllt sein:

- Die zukünftige Bewirtschaftung der Weide muss mit angepassten Tierkategorien, geeignetem Weidesystem und passendem Tierbesatz gewährleistet sein, damit die Verbuschung nicht zurückkommt und die Regulierung nachhaltig ist.
- Die Fläche muss sich für das kontrollierte Brennen eignen, was sich an der zusammenhängenden Verbuschung mit vorwiegend Zwergwachholder (auch Zwergwachholder Einzelbüsche) ableiten lässt.
- Die Flächen müssen mit der Brennmethode der «kalten Mitwindfeuer» abgebrannt werden, bei der das Feuer mit der Thermik von unten nach oben getragen wird und sich dadurch eine kurze Verweildauer des Feuers auf der Fläche ergibt. Damit das Feuer dabei aber nicht zu viel Geschwindigkeit aufnimmt, sollten die Brennflächen mit grösserer Höhenamplitude in zwei oder mehrere Bereiche resp. Streifen aufgeteilt werden und die Methode schrittweise zur Anwendung kommen, beginnend am unteren Ende des obersten Bereiches. (Videolink unter anderem zur Brennmethode: <https://www.youtube.com/watch?v=qe-0s2Wpon0>)
- Grössere Flächen dürfen nicht ganz flach sein, sondern müssen eine gewisse Hangneigung aufweisen.

- Das kontrollierte Brennen sollte im Zeitraum von Oktober bis Dezember, jedenfalls frühestens nach den ersten Bodenfrösten durchgeführt werden.
- Der Zielbestand ist immer eine strukturreiche Weide. Diese muss nach der Regulierung Anteile an Strukturen wie Restverbuschung und / oder verkohlte und abgestorbene Zwergwacholderäste aufweisen.
- Es muss ein Sicherheitskonzept erstellt werden.
- Die Haftungsfrage muss geklärt sein.

Werden diese Vorgaben eingehalten, ist das kontrollierte Brennen von Zwergsträuchern eine sinnvolle und nachhaltige Massnahme zur Verbuschungsregulierung auf Alpweiden. Damit diese Massnahme von allen Akteuren inklusive der Bevölkerung nachhaltig akzeptiert wird, empfehlen wir folgende zwei Punkte zu berücksichtigen:

1. Die durch kontrolliertes Abbrennen regulierte Fläche soll administrativ begrenzt werden, sodass pro politische Einheit (z. B. Gemeinde, Bezirk oder Kanton) jährlich eine maximale Fläche mit Verbuschung abgebrannt werden kann.
2. Die Methode der (schrittweisen) kalten Mitwindfeuer soll national und regional bekannt gemacht werden. Bei einer Anwendung vor Ort soll die lokale Bevölkerung adäquat informiert werden.

Für den Vollzug empfehlen wir den Einsatz von kantonalen Bewilligungen (z. B. angelehnt an jene für das Verbrennen von Asthaufen in gewissen Kantonen oder für das Mulchen auf Sömmerungsflächen).

6 Literatur

- Agripedia, 2026. Verbuschung und Problempflanzen auf der Alp.
<https://themes.agripedia.ch/verbuschung-und-problempflanzen-auf-der-alp/> (abgerufen am 03.05.2026)
- BAFU, Bundesamt für Umwelt, 2021. Massnahmen zur Luftreinhaltung bei Feuerungen. Richtiges Feuern im Freien.
<https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/luft/fachinformationen/massnahmen-zur-luftreinhaltung/massnahmen-zur-luftreinhaltung-bei-feuerungen.html> (abgerufen am 02.04.2021)
- BAZL, Bundesamt für Zivilluftfahrt, 2020. Anleitung zur Abschätzung von Helikopteremissionen.
<https://www.bazl.admin.ch/bazl/de/home/fachleute/regulation-und-grundlagen/umwelt/schadstoffemissionen/triebwerkemissionen/anleitung-zur-abschaetzung-von-helikopteremissionen.html> (abgerufen am 10.12.2020)
- Brändli, U.-B., 2012. Landesforsinventar LFI, Spezialauswertung der Inventuren LFI2, LFI3 und LFI4a. Persönliche Mitteilung vom 8.6.2012. Birmensdorf, Eidg. Forschungsanstalt WSL.
- BV, Bundesverfassung, 1999. Bundesverfassung der Schweizerischen Eidgenossenschaft vom 18. April 1999. Stand am 01. Januar 2016.
- Dietl, W., Jorquera, M., 2007. Wiesen- und Alpenpflanzen Erkennen an den Blättern Freuen an den Blüten. Österreichischer Agrarverlag, Wien; Forschungsanstalt Agroscope, Zürich.
- Goldammer, J.G., Page, H., Prüter, J., 1997. Feuereinsatz im Naturschutz in Mitteleuropa. Ein Positionspapier. NNA-Berichte 10, Heft 5, 1-16.
- Hofer, G., Junge, X., Koch, B., Schüpbach, B., 2013. Einzigartige Kulturlandschaft und Artenvielfalt im Sömmerungsgebiet. In: Zukunft der Schweizer Alpwirtschaft. Fakten, Analysen und Denkanstösse aus dem Forschungsprogramm AlpFUTUR. (Lauber, S., Herzog, F., Seidl, I., Böni, R., Bürgi, M., Gmür, P., Hofer, G., Mann, S., Raaflaub, M., Schick, M., Schneider, M., Wunderli, R., Hrsg.), Birmensdorf, Eidg. Forschungsanstalt WSL; Zürich-Reckenholz, Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, 150-165.
- Jacot, A., Revaz, E., 2018. Brutvogelbestand 2018 in den für das kontrollierte Abbrennen vorgesehenen Flächen im Raum Zermatt. Projekt „Kontrolliertes Abbrennen von mit Zwergsträuchern verbuschten Alpweiden im Kanton Wallis / Raum Zermatt“. Schweizerische Vogelwarte, Aussenstelle Wallis, Sion. 23 S.
- Jacot, A., Revaz, E., 2021. Brutvogelbestand 2020 – Ein Jahr nach dem Brennen. Projekt „Kontrolliertes Abbrennen von mit Zwergsträuchern verbuschten Alpweiden im Kanton Wallis / Raum Zermatt“. Schweizerische Vogelwarte, Aussenstelle Wallis, Sion. 18 S.
- Jacot, A., Revaz, E., 2026. Kurz- und mittelfristige Effekte auf die Brutvögel - Projekt „Kontrolliertes Abbrennen von mit Zwergsträuchern verbuschten Alpweiden im Kanton Wallis / Raum Zermatt“. Schweizerische Vogelwarte, Sempach. 15 S.
- JSG (Jagdgesetz) SR 922.0 Bundesgesetz vom 20. Juni 1986 über die Jagd und den Schutz wildlebender Säugetiere und Vögel (Jagdgesetz, JSG), aktuelle Fassung vom 01.02.2025

- Kerschbaumer, N., 2007. Über alpine Brandwirtschaft in Kärnten. In: Bergwelt im Wandel (Merlin, W., Hellebart, S., Machatschek, M., Hrsg.) Festschrift Erika Hubatschek zum 90. Geburtstag, Verlag des Kärntner Landesarchivs, 141-148.
- Koch, B., Hofer, G., Walter, T., Edwards, P.J., Blankenhorn, W.U., 2013. Artenvielfalt auf verbuschten Alpweiden – Empfehlungen zur Bewirtschaftung von artenreichen Alpweiden mit Verbuschungsproblem. Zürich-Reckenholz, Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, ART-Bericht 769, 1-16.
- Lichtenegger, E., 1998. Brandrodung auf Almweiden aus ökologischer und wirtschaftlicher Sicht. Der Alm- und Bergbauer, 5, 153-159.
- LRV (Luftreinhalteverordnung) SR 814.318.142.1 Luftreinhalteverordnung vom 16. Dezember 1985, aktuelle Fassung vom 01.01.2026
- Mayr, S., Hacke, U., Schmid, P., Schwenbacher, F., Gruber, A., 2006. Frost drought in conifers at the alpine timberline: xylem dysfunction and adaptations. Ecology, 87, 12, 3175-3185.
- Meier, M., Schnidrig, N., Rausch, J., 2020. Luftqualitätsmessungen im Rahmen des Forschungsprojektes kontrolliertes Brennen von verbuschten Alpweiden in Zermatt. Particle Vision, 13 pp.
- Rey, L., Jacot, A., 2018. Die Entwicklung der Brutvögel in der Waldbrandfläche bei Leuk. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen. 169 (5): 299–307. doi: 10.3188/szf.2018.0299
- Schmid H., Zbinden, N., Keller, V., 2004. Überwachung der Bestandsentwicklung häufiger Brutvögel in der Schweiz. Sempach: Schweizerische Vogelwarte.
- Schreiber, K-F., Brauckmann, H-J., Broll, G., Krebs, S., Poschold, P., 2009. Artenreiches Grünland in der Kulturlandschaft – 35 Jahre Offenhaltungsversuche Baden-Württemberg. Verlag Regionalkultur.
- Strahler, A.H., Strahler, A.N., 2009. Physische Geographie. UTB, ISBN 978-3-8252-8159-5, Abschnitt „Insolation“, S. 73–76, 107.
- USG (Umweltschutzgesetz) SR 814.01 Bundesgesetz vom 7. Oktober 1983 über den Umweltschutz (Umweltschutzgesetz, USG), aktuelle Fassung vom 01.04.2026
- Willems, H., Werder, C., 2016. Gesuchstellung und Projektskizze Forschungsprojekt kontrolliertes Brennen von mit Zwergsträuchern verbuschten Alpweiden im Kanton Wallis / Raum Zermatt – Einfluss von Standortfaktoren und Auswirkungen auf Vegetation, Verbuschung und Luftqualität, Büro Alpe, 48 pp.